



Estudio de factibilidad de las construcciones balneológicas en las localidades Cajamarca y Churín

Draft parte 1



Noviembre 2006

Índice de materias	Página
1. Recapitulación	3
2. Historia y estado actual del proyecto	5
3. Análisis del mercado y la concepción del marketing	11
4. Entregas del material para el funcionamiento del proyecto	12
5. Localidad Cajamarca	13
5.1. Descripción detallada de la localidad	13
5.2. Condiciones hidrometeorológicas	16
5.3. Condiciones geológicas	19
5.3.1. Geología regional	19
5.3.2. Estructura geológica del área	22
5.3.3. Relación del marco estructural observado y las condiciones hidrogeológicas	31
5.4. Condiciones hidrogeológicas	32
5.4.1. Clasificación hidrogeológica	32
5.4.2. Modelo hidrogeológico conceptual	41
5.4.3. Propiedades hidráulicas de las rocas	43
5.4.3. Pruebas de infiltración	43
5.5. Modelo hidráulico del flujo	45
5.5.1. Preparación del modelo hidráulico	46
5.5.2. Condiciones de borde	49
5.5.3. Área del modelo de la estructura termal de Cajamarca	50
5.5.4. Resultados de la simulación	52
5.6. Hidroquímica, química isotópica y geotermometría de las fuentes termales	55
5.6.1. Muestreo, mediciones y análisis	55
5.6.2. Resultados de los análisis químicos del agua	56
5.6.3. Interpretación genética de los análisis químicos	60
5.6.4. Equilibrio carbonático	63
5.6.5. Isótopos estables del carbono, azufre y óxido sulfúrico en las aguas termales	65
5.6.6. Composición isotópica del oxígeno en las moléculas de H ₂ O	69
5.6.7. Composición química e isotópica del gas que escapa de algunas aguas termales	70
5.6.8. Los geotermómetros para la estimación de la temperatura del origen de las aguas	72
5.6.9. Discusión de los resultados	77
5.6.10. Conclusiones hidrogeoquímicas	80
5.7. Característica balneológica	81
5.7.1. Captación de las aguas termales	81
5.7.2. Uso actual de las aguas termales	82
5.7.3. Propuesta del aprovechamiento	82
5.7.4. Protección legislativa	84
5.7.5. Protección de aguas termales y propuesta de las zonas de protección	85
6. Solución técnica – localidad Cajamarca	87
6.1. Perforación de captación	87
6.2. Propuesta de la solución urbanístico-arquitectónica	87
6.2.1. Área termal de deportes y recreación Baños del Inca	88
6.2.2. Área curativa Los Eucaliptos	92
6.2.3. Área Laguna Seca	95
6.3. Principios del futuro desarrollo	95
6.3.1. Realización del proyecto	96

7. Localidad Churín	98
7.1. Descripción detallada	98
7.2. Condiciones hidrometeorológicas	103
7.3. Geología	107
7.3.1. Geología de la región	107
7.3.2. Geología de la cuenca del Río Huaura y de las cercanías de Churín	109
7.3.3. Geología estructural	116
7.3.4. Relación del marco estructural observado y las propiedades hidrogeológicas	118
7.4. Condiciones hidrogeológicas	120
7.4.1. Clasificación hidrogeológica	120
7.4.2. Modelo hidrogeológico conceptual	129
7.4.3. Propiedades hidráulicas de las rocas	130
7.4.4. Pruebas de infiltración	131
7.5. Modelo hidráulico del flujo del agua	132
7.6. Hidroquímica, geotermometría y química isotópica de las aguas termales	132
7.7. Característica balneológica	132
7.7.1. Captación del agua termal	132
7.7.2. Estado actual del aprovechamiento de las fuentes termales de Churín y alrededores	134
7.7.3. Propuesta del aprovechamiento	134
7.7.4. Protección legislativa de aguas termales	138
7.7.5. Parámetros físico-químicos y químicos de las fuentes	138
7.7.6. Protección del agua termal y propuesta de las zonas de protección	139
8. Solución técnica – localidad Churín	141
8.1. Propuesta de la solución urbanística y arquitectónica	142
8.1.1. Estructura urbanístico-arquitectónica de la ciudad	142
8.1.2. Solución urbanística y de comunicaciones	144
8.1.3. Solución de la construcción arquitectónica de los objetos balneológicos	144

Anexos:

1. Resultados de las mediciones en el campo y de los análisis químicos
2. Mapa geológico de la localidad Cajamarca 1 : 50 000
3. Mapa geológico de la localidad Churín 1 : 50 000
4. Mapa hidrogeológico de la localidad Cajamarca 1 : 50 000
5. Mapa hidrogeológico de la localidad Churín 1 : 50 000

1. Recapitulación

Este informe resume las actividades del proyecto peruano-checo „Desarrollo de las aguas termales y minerales en el Perú“, realizadas en los años 2005 – 2006. Los responsables para la realización son por parte checa AQUATEST a.s. y ČGS (Česká geologická služba - Servicio geológico checo) junto con algunos expertos independientes, y por parte peruana INGEMMET – Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. El objetivo principal del estudio es la creación de las condiciones para el desarrollo de las aguas termales y minerales, balneología y balneoterapia. Los trabajos tocan las dos localidades seleccionadas – Cajamarca y Churín. Los resultados de ellos tendrán la forma de un estudio de factibilidad de la construcción de los establecimientos balneológicos. Las actividades incluyeron las visitas prolongadas de las localidades, durante las que tenían lugar las actividades como el mapeo geológico y hidrogeológico, las mediciones y muestreo de las aguas y gases de las fuentes termales y minerales, y también las negociaciones con las autoridades locales y colección de los datos técnicos y administrativos *in situ* y en Lima. Todos los datos han sido estudiados en detalle y se realizó la evaluación hidrogeológica y terapéutica, así como una propuesta arquitectónica de los establecimientos balneológicos, incluyendo la estimación de los costos de inversión y los costos eventuales provocados. Los resultados fueron presentados y discutidos en el marco de un workshop de dos días. El workshop fue organizado en la colaboración con el MINCETUR (Ministerio de Comercio Exterior y Turismo).

Para la creación del informe se utilizó la estructura del estudio de factibilidad recomendada por PHARE para los proyectos con el costo más alto de 300 000 EUR. Para cumplir con esta estructura, se podían aprovechar los resultados de los trabajos que cubren los capítulos 2 hasta 6, mientras las otras partes (pero también las partes de los capítulos mencionados, concernientes el análisis del mercado y la concepción del marketing) serán suplementados en la fase V. Las dos localidades Cajamarca y Churín son evaluadas independientemente.

Todas las entradas serán sometidas a un análisis financiero y económico en la primera parte del año 2007, y el estudio de factibilidad completo será ofrecido para la realización a los inversionistas potenciales en un workshop que tendrá lugar en otoño del mismo año.

Equipo del proyecto

Nombre	Institución	Modo de participación
RNDr. Jiri Sima	AQUATEST a.s.	Jefe del proyecto por parte checa, mapeo hidrogeológico e interpretaciones hidrogeológicas, redacción de los informes
RNDr. Vladimír Plesinger	AQUATEST a.s.	Hidrogeología, coordinación del proyecto, contacto con los especialistas e instituciones locales, redacción de los informes
RNDr. Ing. Miroslav Cernik	AQUATEST a.s.	Hidrología, hidráulica y modelado del flujo de las aguas subterráneas
Lenka Baratoux PhD	CGS	Geología estructural y mapeo geológico
Mgr. Veronika Kopacková	CGS	Interpretaciones geológicas e hidrogeológicas, SIG y database del proyecto
Prof. RNDr. Tomas Paces	CGS	Hidroquímica de las aguas minerales y termales
Ing. Lionel Fídel Smoll	INGEMMET	Jefe del proyecto por parte peruana, organización de los trabajos y viajes al campo por los medios de INGEMMET
Ing. Fluquer Peña Laureano	INGEMMET	Hidrogeología a hidroquímica
Ing. Antonio Guzmán	INGEMMET	Hidrogeología e infraestructura
RNDr. Tomas Vylita	NRL (MZd)	Evaluación balneológica – contratante
Ing. arch. Tomas Santavy	Projektový ateliér	Propuesta arquitectónica – contratante
Prof. Jiri Maryska	TU Liberec	Hidráulica del flujo subterráneo – contratante
Ing. Otto Severýn	TU Liberec	Modelo del flujo subterráneo – contratante
MUDr. Vladimír Vurm	Bristol a.s.	Evaluación terapéutica de las aguas minerales - contratante
Mudr. Ladislav Spisak	Bristol a.s.	Evaluación terapéutica de las aguas minerales - contratante

2. Historia y el estado actual del proyecto

Existe una rica tradición del aprovechamiento de las fuentes de agua termal y mineral en el Perú así como en la República Checa. Hay localidades con aguas termales que se han convertido en partes integrantes de la historia de nuestros países. La ciudad peruana de Cajamarca es mundialmente conocida por la suerte dramática del gran rey de los Incas, mientras que la ciudad checa Karlovy Vary debe su nombre al monarca medieval más importante de su tiempo, quien la fundó.

Balnearios curativos desempeñan un papel importante en el sistema de sanidad, turismo y economía. Ellos atraen la clientela local y extranjera no solo para la estadía curativa, sino también como destinos turísticos. Por ejemplo, Karlovy Vary es la ciudad más visitada de la República Checa después de la capital Praga. En el año 2005, llegaron allí más de 400 mil personas y se alojaron 200 mil personas. Con la duración promedio de la estancia más de 13 días Karlovy Vary ocupa uno de los primeros lugares entre los baños curativos de toda Europa.

En el año 2002, los ministros de las relaciones exteriores del Perú y de la República Checa firmaron Memorandum de Entendimiento, relativo a la cooperación en materia de termalismo y balneología. Luego la parte peruana presentó el deseo de que el objetivo de un proyecto fuera estudio de hidrogeología y balneología de las aguas termales y minerales, suplementado por la capacitación de los profesionales en forma de workshop. En la República Checa se aprobó el modo de financiamiento del proyecto, en el que trabajaran juntos los expertos checos y peruanos. La primera fase del proyecto comenzó en el año 2005. La realización está en manos de los expertos de AQUATEST a.s. y Servicio Geológico Checo (CGS) por la parte checa, y de los expertos del Instituto geológico, minero y metalúrgico (INGEMMET) por la parte peruana. El Ministerio del Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) es el receptor del producto.

MINCETUR e INGEMMET originalmente propusieron cuatro localidades para la investigación: eran Cajamarca, Churín, Chivay y Candarave. Todas fueron visitadas y en todas se realizaron los trabajos hidrogeológicos, tales como colección de los datos conocidos, mediciones en el campo y muestreo, seguido por los análisis físico-químicos. No solo se estudiaron las fuentes en las mismas localidades, sino también las fuentes de aguas termales y minerales en sus alrededores, así que el número de las muestras tomadas fue considerablemente elevado. Para la documentación detallada, se confirmaron también las coordenadas por la medición en dos unidades de GPS. En el mismo tiempo, se midió el pH, la conductividad eléctrica, la temperatura, y se describieron generalmente todos los fenómenos importantes (como el color, el olor, la existencia o ausencia de sínter etc.).

Para la selección de las localidades más apropiadas se utilizó el sistema FODA, en el cual se consideran las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de cada localidad.

Los criterios más importantes son los siguientes:

- características naturales (descarga, temperatura, química, clima, riesgos geológicos,
- existencia o ausencia del monitoreo

- experiencia con las propiedades curativas (incluyendo tradición),
- distancia para usuarios (mercado potencial),
- infraestructura existente (hoteles, aeropuertos, carreteras),
- cooperación con autoridades locales (para desarrollo y protección),
- posibilidades de la protección del agua / protección del área

FODA para Churín

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • descarga (20 l/s), temperatura (35-50°C), altitud (media) • recomendado para usos curativos • Lima (corta distancia) (conexión con buses) • autoridades apoyando desarrollo y protección – uso del suelo (venta) 	<ul style="list-style-type: none"> • TDS bajo (variación dentro del grupo) • falta monitoreo
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • construcción de hoteles • edificios de baños y piscinas • desarrollo de área tradicional y conocida • embotellamiento posible 	<ul style="list-style-type: none"> • carreteras (60 km en afirmado en mal estado, muy frecuentado por los camiones – peligroso)

FODA para Cajamarca

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • descarga (200 l/s), temperatura (35-50°C), altura (media) • recomendado para uso curativo (tradición - Incas) • aeropuerto – conexión con bus • autoridades apoyando desarrollo y protección – uso de tierra (venta) 	<ul style="list-style-type: none"> • TDS bajo (400) • contenido de arsénico • falta de monitoreo • distancia (1000 km Lima – avión)
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • construcción de hoteles • edificios de baños y piscinas • desarrollo del área conocida y con grande tradición • suministro de recreación para mineros • embotellamiento posible 	<ul style="list-style-type: none"> • uso de agua y construcciones ilegales en la proximidad de las fuentes

FODA para Chivay

Fortaleza	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • TDS alto (3000), temperatura alta (68°C), • atracción turística (Cañon del Colca) 	<ul style="list-style-type: none"> • descarga (6 l/s), altura (alta - 3700) • Falta de monitoreo • distancia (1000km de Lima – 200 km del aeropuerto en Arequipa, carretera mala 70 km) • autoridades no conocidas
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • construcción de hoteles • edificios de baños y piscinas • desarrollo del sitio, muy conocido por turismo 	<ul style="list-style-type: none"> • área remota

FODA para Candarave

Fortaleza	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • descarga – concentrada (50 l/s), • TDS alto (3000), temperatura (85°C), • autoridades no conocidas 	<ul style="list-style-type: none"> • altitud (alta – 3000 msnm) • falta de monitoreo • distancia (1500 km de Lima), 150 km del aeropuerto de Tacna
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • construcción de planta geotermal • edificios de baños y piscinas 	<ul style="list-style-type: none"> • área remota



SUMARIO del FODA

Utilización Localidad	Balneología	Agua embotellada	Planta eléctrica geotermal
Churín	****	***	
Cajamarca	****	***	
Chivay	***		
Candarave			***

Evaluación en base a FODA:

- 1 - 2. Cajamarca y Churín
Potencialidad para el desarrollo de la balneología y del embotellamiento de agua
3. Chivay
Potencialidad para el desarrollo de la balneología
4. Candarave
Potencialidad para el desarrollo de la energía geotermal

Tomando en cuenta la recomendación del MINCETUR y los resultados del FODA, la selección fue reducida a dos localidades - Cajamarca y Churín. En éstas los expertos hicieron en el año 2006 trabajos más detallados.

Los recursos de las aguas termales y minerales son únicos y en el cuadro del sistema hidrogeológico son los más vulnerables. Las intervenciones desconsideradas pueden destruirlos irremediamente. Para asegurar la inversión de los establecimientos balnearios, es necesario crear buenas condiciones para el aprovechamiento y la protección de estos recursos, y eso es posible solamente a base del conocimiento detallado de las fuentes. Queda claro que el estudio de factibilidad requiere las expertizas no solo en el campo de geología e hidrogeología, sino también en otras disciplinas. Es la razón para la que fue establecido en el año 2006 un equipo relativamente numeroso de expertos de varias especialidades, como son geología, hidrogeología, geografía, balneología, informática, arquitectura y medicina. Los especialistas han hecho estudios detallados de las dos localidades - Cajamarca y Churín. Los resultados del mapeo geológico e hidrogeológico fueron aprovechados para la confección de los mapas actualizados en el ambiente de SIG (Sistema de información geográfica). Otro modo del aprovechamiento de los mapas y de los datos hidrometeorológicos es la creación del modelo hidráulico del flujo de las aguas subterráneas. En las fuentes fueron tomadas muestras del agua y de los gases y analizadas en los laboratorios de INGEMMET y CGS.

La interpretación de los resultados de los análisis (contenido de los iones principales y de los metales pesados, composición de los gases, composición isotópica de las aguas y gases) fue utilizada no solo para las conclusiones hidrogeológicas, sino también como una información básica para la evaluación de las propiedades terapéuticas del agua. El aprovechamiento actual y futuro de las localidades fue estudiado también desde el punto de vista balneológico y arquitectónico.

Uno de los resultados de la evaluación balneológica es la propuesta de las zonas de protección de las aguas termales y minerales. Estas zonas y otras medidas de protección propuestas deben servir como garantía para el futuro inversionista, que sus recursos no serán depreciados por las intervenciones impropias o por la contaminación. Todos los resultados fueron utilizados para una propuesta de un nuevo establecimiento balneológico en los Baños de Inca y para una reconstrucción del complejo existente en Churín.

Los trabajos del año 2006 permiten así estimar las inversiones directas e inducidas, así como el precio de los costos operacionales, en la próxima fase del proyecto.

3. Análisis del mercado y la concepción del marketing

El análisis detallado será objeto de los trabajos de las fases del proyecto del año 2007. MINCETUR ha elaborado un material amplio sobre el desarrollo del turismo en el Perú. En la actualidad se pone un acento al desarrollo en el llamado círculo de norte. La razón es que la mayoría de los turistas coge rumbo a la región de Cusco y Machu Picchu y las otras localidades, aunque muy atractivas, no son aprovechadas suficientemente. El apoyo del MINCETUR a los proyectos balneológicos tiene como objetivo la combinación del turismo de conocimiento con las estancias curativas y recreacionales en los baños.

El nivel de los precios en el Perú es oscilante, y es difícil hallar todos los precios en el mercado, especialmente diferencias entre las regiones y la capital de Lima.

En Baños del Inca y en Churín, los precios son similares:

Tipo de procedura	Duración en minutos	Precio en Nuevos Soles
Recepción	15	30
Tratamiento de pies	15	30
Hidromasaje	20	30
Duchas especiales	20	30
Masajes terapéuticos	15	20
Sauna		10
Pozas termales		2-5

www.inkathermas.com.pe

Precio del alojamiento

Sitio	Carácter del alojamiento	Precio en Nuevos Soles
Baños de Inca	bungalow	120
Laguna Seca	cuarto	60
Cajamarca	cuarto	20- 60
Churín	cuarto en el hotel	40

4. Entregas del material para el funcionamiento del proyecto

Entregas del material para la aseguración del funcionamiento serán propuestas en la próxima parte del proyecto. Se trata de la parte balneológica – establecimiento de la propuesta del equipamiento interno, y de la parte balneotécnica y arquitectónica (entregas del material, confirmación de los precios para el interior – hall de entrada, consultorios y cuartos). Los precios serán primero en Coronas checas, siguiendo la preciación en los Nuevos Soles.

5. Localidad de Cajamarca

La posición de Cajamarca y sus alrededores en un valle de los Andes bastante elevado garantiza un clima favorable a pesar de una latitud baja, no muy distante del ecuador terrestre. Otros atractivos de la localidad son su historia y prehistoria. La combinación de estos factores con la presencia de las fuentes termales hace posible considerar una extensión de los establecimientos balneológicos que tendría impacto al desarrollo de toda la región de Cajamarca y Baños del Inca.

La existencia del aeropuerto y la carretera asfaltada que une la parte norte de la Panamericana con Cajamarca (Pacasmayo – Cajamarca, aprox. 200 km) son otros positivos. No obstante, el aeropuerto no es apropiado para los aviones grandes, y el estado de la carretera no es óptimo. De hecho se puede considerar, tomando en cuenta frecuentes derrumbes en el período de las lluvias, como uno de los riesgos del proyecto. Dos fenómenos igualmente importantes para el futuro desarrollo de la región son la existencia del hotel moderno Laguna Seca y su área recreativa en los Baños del Inca, y la proximidad de la mina de oro Yanacocha, una de las más productivas del mundo.



Panorama de Cajamarca y Baños del Inca

5.1. Descripción detallada de la localidad

La ciudad de Cajamarca, capital del departamento del mismo nombre, se ubica en la cadena occidental de los Andes en la parte septentrional del Perú en la cruce del paralelo 7° 15' de latitud sur y del meridiano 77° 30' de longitud oeste. La altitud de la ciudad es de 2750 msnm. El valle, en el que se encuentra la ciudad, es ancho y llano, y las montañas que lo entornan no tienen una morfología tan dramática como es común en los Andes, aunque las más altas sobrepasan 4000 msnm.

A unos 6 km de la ciudad de Cajamarca en la misma altura se encuentran los Baños del Inca, una población ubicada cerca de las famosas fuentes termales. En la actualidad no se trata solamente de baños y hoteles, sino de una pequeña ciudad que, según parece, tiene cada vez más la tendencia unirse con Cajamarca. Sin embargo, la independencia se proclama en el hecho de que los Baños del Inca son el centro administrativo de un distrito, mientras la ciudad de Cajamarca es el centro administrativo de un otro distrito. Cajamarca y Baños del Inca tienen juntos una población de más de 160 000 habitantes.

Otra zona con aguas termales en la región de Cajamarca se ubica en el área de La Grama y El Chorro. Allí se llega por la carretera asfaltada de 59 km, que sale de Cajamarca en la dirección SE y continúa a la ciudad de San Marcos, de donde se sigue por una carretera afirmada de unos 70 km hasta llegar a la ciudad de Cojabamba.

Un elemento de gran importancia para la región es la mina de oro Yanacocha, una de las más modernas y más productivas del mundo, cuyas concesiones ocupan más de 30,000 Has a 20 kms al norte de Cajamarca en las alturas de 3700 a 4100 msnm.

Para llegar a Cajamarca existen vías terrestres y aéreas. La distancia de Lima por la carretera es 865 km. Varias líneas de transporte por autobús parten desde Lima, Trujillo, Chiclayo y otras ciudades. El viaje de Lima se hace por la carretera Panamericana Norte que bordea el litoral del Océano Pacífico. Después de 685 km se llega a la ciudad de Pacasmayo, y se sigue por otra carretera asfaltada de rumbo Oeste-Este unos 180 km de recorrido por la cordillera hasta Cajamarca.

El aeropuerto de Cajamarca no tiene una superficie suficientemente grande para que pueda recibir aviones grandes. Dos o tres líneas aéreas peruanas aseguran el transporte por aviones de medio tamaño.

El valle de Cajamarca tiene una red fluvial complicada. Los pequeños ríos como Mashcón (que pasa a través de la ciudad), Porcón o Chonta vienen de varias direcciones desde la montaña al valle, donde se echan en el río localmente más importante – Cajamarca, que corre en la dirección SE hacia el río Condebamba y después al río Crisnejos. Siendo éste un afluente del río Marañón, una de las fuentes del gran Amazonas, queda claro que toda la hoya de Cajamarca pertenece al sistema atlántico, aunque el Océano Atlántico se encuentra cien veces más lejos que el Pacífico.

La pluviometría del valle de Cajamarca es bastante rica, por lo menos si se compara con las regiones vecinas. El promedio anual de las precipitaciones es más de 700 mm, los más húmedos siendo los meses de febrero y marzo y los más secos julio y agosto. La temperatura media en julio es 10,3° C, en enero 15,3° C. Los extremos pueden ir a más de 30° C o de otro lado hasta -3° C, pero generalmente se trata de un clima bastante agradable.

Geologicamente, la parte de los Andes Occidentales, en la que se encuentran Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, es predominantemente sedimentaria. Al sur de Cajamarca yacen potentes estratos de sedimentos del Cretáceo Inferior (areniscas, cuarcitas, lutitas y calizas del Grupo Goyllarisquizga), mientras en el rumbo Norte, la superficie es más joven – terciaria, de naturaleza volcánica. Todos los complejos son afectados por procesos tectónicos, cuyos rumbos son principalmente andinos (NO-SE).

Las fuentes termales de Baños del Inca son las más conocidas de todo el Perú por su caudal y su calidad terapéutica, así como por su historia. Se utilizan balneológicamente en dos sitios, Los Perolitos (o Baños del Inca s.s., aprovechamiento municipal) y Tragadero (con el hotel Laguna Seca). La temperatura es un poco más alta en Tragadero (70° C) que en Los Perolitos (hasta 68° C), pero es cierto que ambas fuentes tienen el mismo origen. El contenido mineral no es muy alto – de hecho se encuentra muy por debajo de los límites para clasificarlas como aguas minerales. Sin embargo, eso no las desclasifica como aguas curativas.

La combinación de la presencia de aguas termales con poder curativo, del paisaje bello y de una historia dramática de los últimos cuatro mil años, todo eso hace de Cajamarca un sitio cuya atracción e importancia excede el marco nacional.

El asunto que más afamó Cajamarca es ciertamente la muerte del emperador inca Atahualpa en 1533, que abrió paso al conquistador Francisco Pizarro en su marcha al interior del Perú y de hecho fue decisivo para la historia moderna de este país. Las fuentes termales cajamarquinas eran entonces la razón de la estancia del emperador, porque él y su ejército pararon aquí para tomar descanso en una campaña militar. Contra 5000 soldados indios, Pizarro y sus 168 hombres aparentemente no tuvieron mucha esperanza de sobrevivir en una

batalla, aunque tenían caballos y armas más modernas que indios. Por astucia los españoles mataron en un asalto imprevisto centenares de indios y apresaron Atahualpa, haciéndolo rehén que garantizó sus vidas. El Inca ofreció por su libertad el rescate más cuantioso que la historia recuerde – prometió llenar de oro y después dos veces por plata el cuarto en que sufría cautivero. Al fin, los Españoles mataron al Inca, aunque les hizo posible apoderarse de un botín increíblemente cuantioso.



Centro de Cajamarca



Atahualpa prometiendo llenar el cuarto de oro y plata

La Casa de Rescate, en la que se desarrolló el drama de Atahualpa, está ubicada en el centro de la ciudad y sirve hoy como un museo. No es el único vestigio de la era incaica, pero los otros son menos llamativos. Se trata por ejemplo de numerosas paredes de factura inca que han servido de base para edificar conventos y viviendas diversas, así como de los restos de construcciones en el sitio de afloramientos de las fuentes en Baños del Inca.

Otros atractivos de Cajamarca y alrededores tienen su origen en otros tiempos. Se trata sobre todo de obras que corresponden a la era en la que se propagó la influencia del culto de Chavín (denominado según el templo Chavín de Huantar en el departamento de Ancash) que se había desarrollado en el primer milenio antes de nuestra era, entonces hasta 2500 años antes de los Incas. Un ejemplo más conocido se encuentra a 20 km al SO de la ciudad, en el distrito de San Pablo. Se llama Complejo Arqueológico de Cumbemayo y está formado de una parte por naturaleza - un gigantesco bosque de piedras con caprichosas formas de torres de piedra, y de otra parte por hombre - un acueducto debajo de las torres de piedra y altares ceremoniales, ubicados en el trayecto del acueducto.

En el distrito de Baños del Inca a unos 8 km al NE de la ciudad de Cajamarca se encuentran “ventanillas de Otuzco”. Consisten en una serie de nichos cavados en paredes rocosas y se consideran testimonio de una modalidad sepulcral de la Cajamarca prehispánica.

En los siglos XVII y XVIII se construyeron los edificios representativos de la era colonial – la catedral, la iglesia de San Francisco y el Conjunto monumental Belén, compuesto de un templo en roca volcánica y de los hospitales de varones y de mujeres, que han sido habilitados como el Museo arqueológico y etnográfico.



Complejo de rocas Cumbemayo



Ventanillas de Otuzco

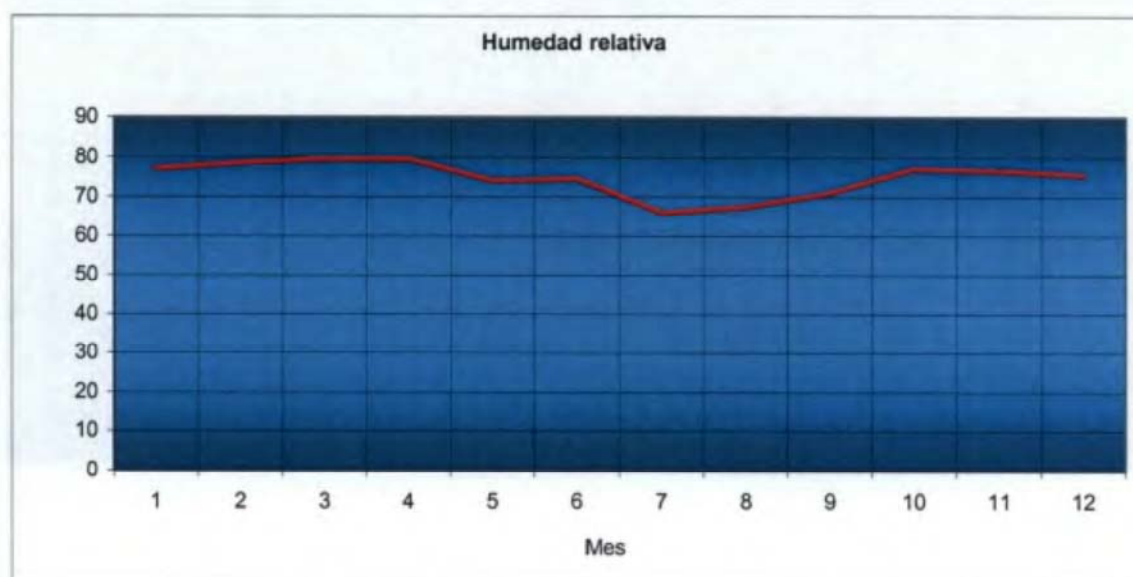
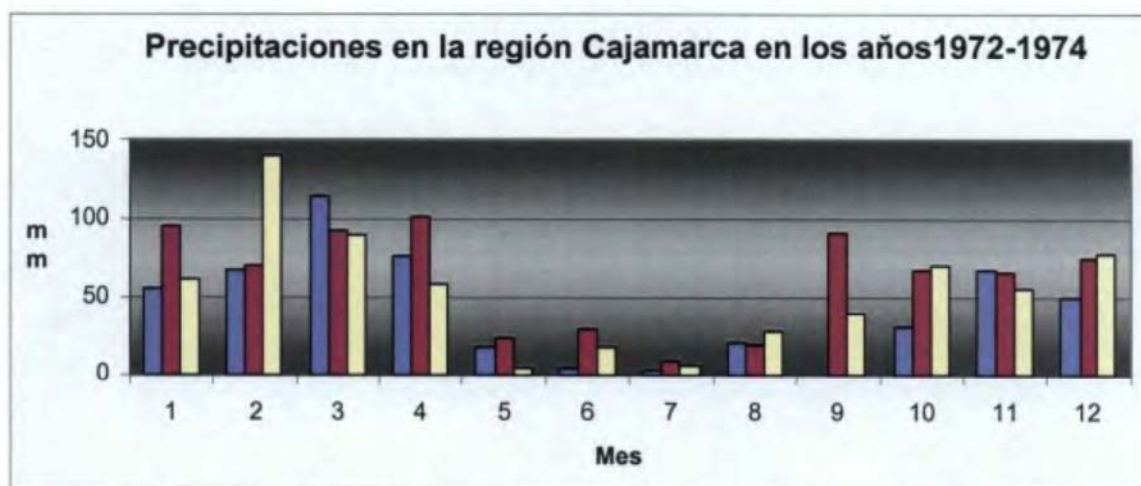
De la era actual, la construcción más moderna es el hotel Laguna Seca en los Baños del Inca que aprovecha la fuente termal de Tragadero.

5.2. Condiciones hidrometeorológicas

En la región de Cajamarca están a la disposición los datos sobre las precipitaciones y sobre la humedad relativa media en varios años, pero las series de las observaciones no son muy largas. Los datos utilizables serán aprovechados en la verificación del modelo. Las dos estaciones que se pueden aprovechar aparecen en la tabla:

Nombre de la estación	Coordenadas	Altitud sobre el nivel del mar
Augusto Weberbeuer	7°10 S 78° 30 O	2536 m
Namora	7° 12 S 78° 20 O	2670 m

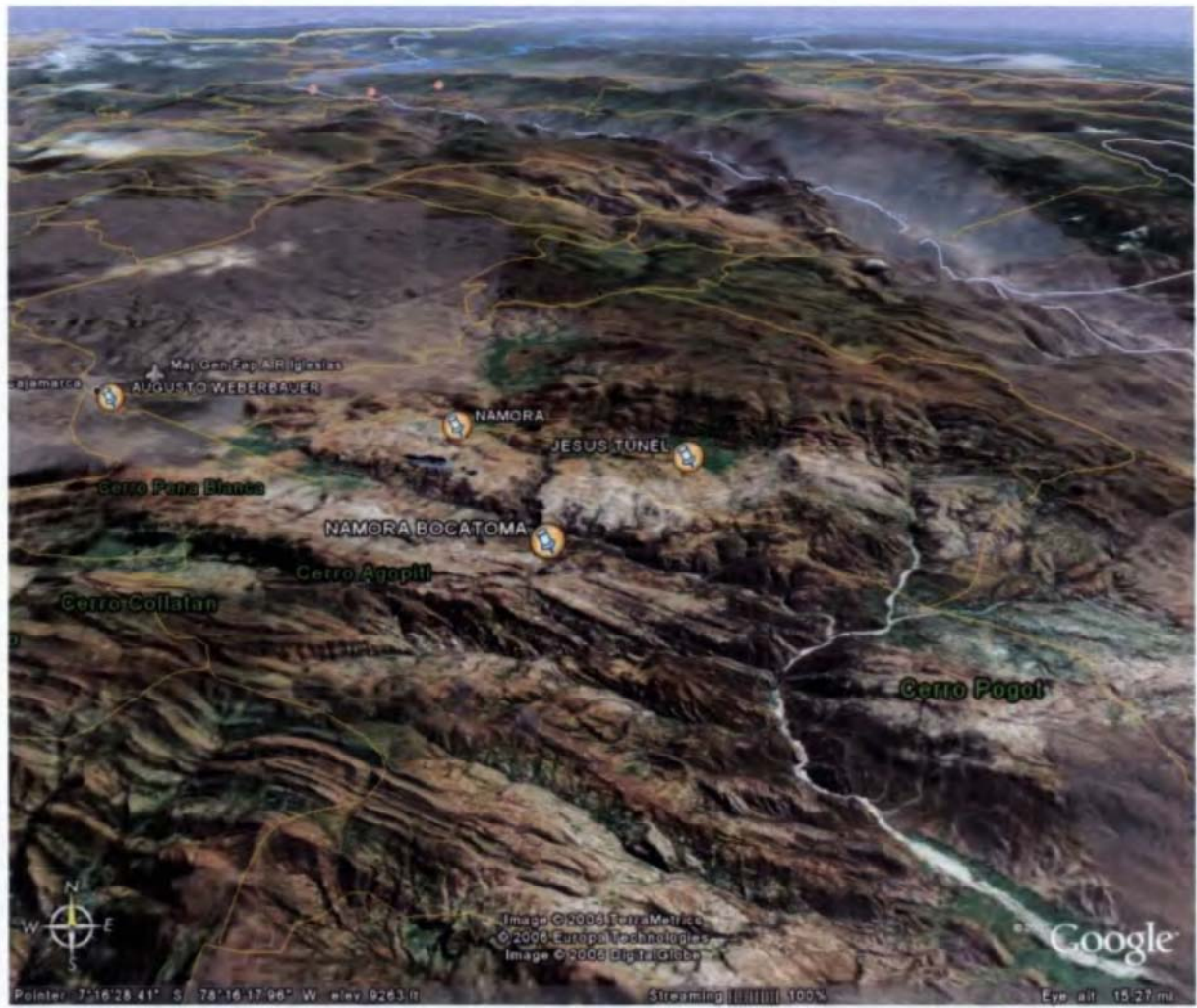
Gráficos de las precipitaciones mensuales y de la humedad relativa anual:



La red fluvial en el valle de Cajamarca es muy complicada y difícil para las mediciones hidrológicas. Las dos estaciones que sirvieron en el establecimiento del modelo aparecen en la tabla siguiente.

Nombre de la estación	Coordenadas	Altitud sobre el nivel del mar
Namora	07° 17 S	2499 m
Botacoma	78° 17 O	
Jesus Tunal	07° 14 S	2545 m
	78° 14 O	

La localización de las estaciones pluviométricas e hidrológicas:



5.3. Condiciones geológicas

La geología de la región es bastante complicada. Existe un amplio espectro de las rocas sedimentarias así que intrusivas, a menudo tectónicamente alteradas.

5.3.1. Geología regional de Cajamarca y los alrededores

La geología del área circunstante de Cajamarca está ilustrada en tres hojas del mapa geológico a escala 1 : 100 000 (Boletín No. 31 Série A Carta Geológica Nacional, Geología de Los Cuadrangulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-f), Ingemmet, Febrero 1980, Lima, Perú). La identificación de los mapas aparece en la tabla:

Nombre de hoja	Indicación	Coordenadas
CAJAMARCA	15-f	7°00 – 7°30 79°00 – 78°30
SAN MARCOS	15-g	7°00 – 7°30 78°30 – 78°00
CAJABAMBA	16-g	7°30 – 8°00 78°30 – 78°00

El basamento de los alrededores de Cajamarca está formado por los sedimentos Triásicos y Jurásicos. Las litologías mayores están representadas por secuencias plegadas de sedimentos del Cretácico inferior y superior. El Terciario superior e inferior es representado por rocas sedimentarias y sobre todo rocas volcánicas. En el mapa geológico regional se encuentran también rocas intrusivas y subvolcánicas (dioritas, granodioritas, tonalitas, andesitas y dacitas) de edad Terciario Inferior. Los sedimentos cuaternarios de la cuenca de Cajamarca alcanzan 30-60 m en espesor. La tabla siguiente contiene la descripción de los grupos particulares:

Nombre de formación/símbolo	Descripción y litología	Espesor
Paleozóico		
Grupo Mitú (Ps-m)	Sobreyace con discordancia angular complejo del Marañón, aflora en el NO de la hoja San Marcos. Areniscas, lutitas y conglomerados rojizas, bien estratificados	300 m
Triásico		
Grupo Pucará (TrJi-pu)	Sobreyace con moderada discordancia angular al Grupo Mitú. Calizas pardas algo azuladas, bien estratificada, macizas en la parte superior, resistentes a la erosión, contienen sílice y nódulos silíceos.	700-800 m
Jurásico		
Formación Chicama (Js-chic)	Sobreyace con moderada discordancia angular al Grupo Pucará. Lutitas negras laminares, deleznable, con intercalaciones de areniscas grises, abundantes nódulos negros piritosos.	800-1000 m

Cretácico inferior		
Formación Chimú (Ki-chi)	Alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y cuarcitas blancas, en bancos gruesos en la parte superior	600 m
Formación Santa (Ki-sa)	Con suave discordancia (disc. paralela) sobre la Fm. Chimú Intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras.	100-150 m
Formación Carhuaz (Ki-ca)	Con suave discordancia sobre la Fm. Santa Alternancias de areniscas con lutitas grises. Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas	500 m
Formación Farrat (Ki-f)	Yace con concordancia sobre la Fm. Carhuaz Cuarцитas y areniscas blancas de grano medio a grueso	500 m
Formación Inca (Ki-in)	Yace con concordancia sobre la Fm. Farrat Areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas de coloración rojiza o amarilla naranjado	max.100 m
Formación Chúlec (Ki-chu)	Yace con concordancia sobre la Fm. Inca Calizas arenosas fosilíferos, lutitas calcáreas y margas de color crema-amarillento	200-250 m
Formación Pariatambo (Ki-pa)	Yace con concordancia sobre la Fm. Chúlec. Lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos y dolomíticos	150-200 m
Cretácico superior		
Grupo Pullicana Formación Yumagual (Ks-yu)	Suprayace a la Fm. Pariatambo. Secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes, localmente fósiles y microfósiles, nodulaciones calcáreas.	700 m
Formación Quilquiñan (Ks-qm) Formación Mujarrun (Ks-qm)	Yace con concordancia sobre la Fm. Yumagual. Calizas nodulares macizas, seguidos de intercalación de lutitas amatillentas, continúa por delgados lechos de alizas nodulares con margas pardo-amarillentas fosilíferas. En la parte superior bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas.	500 m
Formación Cajamarca (Ks-ca)	Sobreyace con discordancia paralela la Fm. Quilquiñan. Calizas gris oscuras o azuladas macizas con delgados lechos de lutitas y margas de los mismos colores. Ocurren en bancos gruesos y duros con topografía kárstica	600-700 m
Formación Celendín (Ks-ce)	Yace con concordancia sobre la Fm. Cajamarca. Intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema, generalmente bastante fosilífera	200 m

Formación Chota (Ks-cho)	Yace con concordancia sobre la Fm Celendín. Conglomerado calcáreo gris parduzco en el sector occidental y areniscas rojizas intercaladas con bancos de arenas tobáceas de colores claros, vedrosos y violáceos en la parte oriental	300 m
Terciario inferior		
Grupo Calipuy Formación Huaylas (Ti-hu)	Secuencia conglomerádica constituida por intercalaciones de areniscas y lutitas rojizas	200 m
Volcánico Grupo Calipuy (Ti-vea)	Tobas riolíticas	
Volcánico Tembladera (Ti-vt)	Con discordancia angular sobre la secuencia Cretácica de la misma naturaleza, con matices gris-verdoso, hacia las partes superiores abundan tobas blanquecinas estratificadas en capas delgadas, alternantes con delgado lechos de areniscas y lutitas tobáceas	cca 1000 m
Volcánico Chilete (Ti-vch)	Con discordancia angular sobre los sedimentos cretácicos Tobas, areniscas tobáceas, conglomerados lenticulares y materiales volcánicos retrabajados, mayormente andesíticos, bien estratificados	800 m
Volcánico San Pablo (Ti-vsp)	Con suave discordancia erosional sobre el volcánico Chilete Gruesos bancos de rocas volcánicas, intercaladas en la base con areniscas rojizas y en la parte superior una espesa secuencia de aglomerados y piroclásticos bien estratificados	900 m
Terciario superior		
Volcánico Huambo (Ts-vh)	Con discordancia angular sobre sedimentos Cretácicos y volcánico San Pablo. Depósitos subhorizontales de tobas andesíticas y traquíticas, de color blanco amarillento	300 m
Volcánico Cajabamba (Ts-cj)	Con discordancia angular sobre los sedimentos Cretácicos Secuencia de lutitas lacustres, lodolitas y areniscas finas de color blanco-amarillento	200 m
Volcánico Condebamba (Ts-co)	Con discordancia angular sobre el volcánico Cajabamba. En la base consiste de areniscas gruesas, arcillosas, rojizas y conglomerado fino. hacia arriba, está formado por un conglomerado grueso con elementos redondeados de cuarcitas en matriz arenosa	150 m

Rocas Intrusivas		
Dioritas y tonalitas (Ti-di/to)		
Granodioritas (Ti-gd)		
Dacitas (Ti-da)		

5.3.2. Estructura geológica del área

La estructura dominante del área de estudio está representada por pliegues de edad post-Cretácica que se desarrollaron durante la fase orogénica Incaica afectando prácticamente todos los sedimentos Cretácicos en Perú. Los ejes de pliegues y numerosas fallas de cabalgamiento están del rumbo principal, denominado "andino", mostrando el rumbo ONO-ESE en toda el área de estudio. Otras estructuras significativas son fallas normales o cizallas del rumbo "anteandino" (N-S) que son sub-perpendiculares a las estructuras arriba mencionadas. Estas fallas se desarrollaron durante la fase compresiva, sin embargo, en algunos casos podrían reactivarse fallas profundas pre-existentes. Las fallas normales se reactivaron también después de la terminación de la fase compresiva.

Durante el Terciario inferior ocurrió una erosión intensa y planación de las secuencias cretácicas plegadas. El relieve de erosión sobreyace con discordancia angular rocas volcánicas de edad Terciario Inferior y Superior (flujos piroclásticos, tobas, flujos de debris de Grupo Calipuy, San Pablo, Huambo). Las rocas volcánicas no muestran señas de deformación compresiva, sólo localmente fueron re-activadas las fallas normales y cizallas de rumbo N-S.

La geología de los alrededores de la ciudad Cajamarca es el resultado de la combinación de estructura de pliegues con rumbo de ejes ONO-ESE que son afectados por fallas normales del rumbo N-S. Fallas normales resultan en el desarrollo de la cuenca de Cajamarca y la limitan del oeste, este y probablemente también del sur.

Tres cortes geológicos fueron construidos en base a las observaciones del campo: dos transversales N-S y un longitudinal NO-SE. Estos cortes son mostrados en el mapa geológico descubierto.

El corte N-S, el sector Este

El corte N-S del sector Este (Fig. XX) muestra de norte a sur, tres estructuras principales:

1) Falla de cabalgamiento que va por el valle del Río Chonta (pueblo Llacanora); 2) Anticlinal Baños de Inca; 3) Sinclinal de Otuzco.

1) Falla de cabalgamiento dirigida hacia el norte, está localizada en la Formación Carhuaz formada por areniscas de grano fino, lutitas y limolitas fácilmente deformados que sobreyacen areniscas cuarzosas de la Formación Farrat. Gracias a esta falla de cabalgamiento podrían ser en contacto las cuarcitas Chimú y las areniscas Farrat en la profundidad. Así podría ser engrandecida el área de infiltración incluyendo también el flanco sur del anticlinal Baños de Inca. El buzamiento de las areniscas de Farrat de la parte baja así como los de la parte alta repetido por la tectónica está orientado hacia el sur mientras que el buzamiento de los sedimentos de la Formación Carhuaz en la proximidad de la falla de cabalgamiento es opuesto – dirigido al norte. La prolongación de esta estructura al sur está cubierta por los depósitos cuaternarios. Sin embargo, según los afloramientos de calizas de la Formación Chúlec (más al este) podemos deducir que la estructura continúa como un sinclinal con el lago San Nicolás en el centro. Finalmente, en el sur se encuentra el anticlinal Yumagual donde

aflora la Formación la más antigua del Cretácico, Fm. Chimú, igualmente cubierta por los depósitos cuaternarios en la valle del Río Cajamarca. Este valle es paralelo al rumbo principal "andino" NO-SE y es probablemente establecido sobre una falla que aparece en el mapa geológico, más al este.

2) La estructura del anticlinal Baños de Inca es conocida por trabajos anteriores (Informe Baños de Inca, 2004). Los flancos del anticlinal están formados por capas morfológicamente marcadas de areniscas cuarzosas de la Formación Farrat mientras que en el eje se encuentran las lutitas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz más antiguas y menos resistentes a la erosión. El buzamiento del flanco norte de anticlinal Baños de Inca acaba con ángulos moderados (30-40°) mientras que los ángulos del flanco sur son más de mayor pendiente (hasta 70°) demostrando el carácter asimétrico de este anticlinal. En los estudios precedentes (Informe Baños de Inca, 2004) se mencionan también las fallas de cabalgamiento, reactivadas como normales dando por el eje de anticlinal afectando la Formación Carhuaz. Sin embargo, tales fallas no fueron observadas en el campo porque la Formación Carhuaz está fuertemente erosionada y cubierta por gravas aluviales de gran potencia, pero se asegura que es la formación de diaclasas relacionadas al plegamiento que son paralelas al eje de anticlinal y tienen un buzamiento sub-perpendicular a la estratificación sedimentaria. Este tipo de diaclasas fue observado en areniscas cuarzosas de la Formación Farrat y se supone su presencia en todas las formaciones hacia el basamento del Jurásico.

3) El anticlinal Baños de Inca se va convirtiendo hacia el norte en el sinclinal Otuzco. Se puede observar toda la secuencia de formaciones Inca, Chúlec, Pariatambo, Yumagual, Quilquiñan-Majarrun, Cajamarca y Celendín en el eje de sinclinal. La mayoría de los sedimentos son calizas con intercalaciones de margas y lutitas más o menos resistentes a la erosión. Una falla paralela al eje se observa por el centro de sinclinal.

El corte N-S, el sector Oeste

El perfil N-S del sector Oeste empieza en el anticlinal de Yumagual, en el sur (4) continuando hacia el norte por un sinclinal, anticlinal y sinclinal arriba de Cajamarca (5) terminando en una falla de cabalgamiento dirigida hacia el norte (6) representando la continuación de la misma estructura en el lado opuesto de la cuenca de Cajamarca (7) (véase a la estructura No. 1, Río Chonta). La presencia más al norte de sedimentos Cretácicos cubiertos con una discordancia angular por rocas volcánicas es un anticlinal que corresponde al anticlinal Baños de Inca.

4) El centro de anticlinal de Yumagual está formado por la Formación Cretácica la más antigua - Chimú - que ocurre en el altitud 3000-3500 msnm. Está compuesto de areniscas y lutitas cuarzosas y cuarcitas que son muy compactos y resistentes a la erosión pero en zonas de afectación tectónica desarrollan brechas y zonas de alteración hidrotermal que son preferencialmente erosionadas. Las sistemas de diaclasas relacionadas al plegamiento se encuentran bien desarrollados en estas rocas. Visto que las rocas son compuestas principalmente de cuarzo y casi no contienen otros minerales, las diaclasas no están rellenas por ningunos productos de meteorización y son muy permeables para la circulación del agua. Es aparente del mapa geológico que la estructura continua hacia el este pero en la valle del Río Cajamarca ya está erosionada y cubierta por los depósitos cuaternarios.

5) El anticlinal de Yumagual se va convirtiendo en el sinclinal hacia el norte. En la ladera arriba de la depresión de Cajamarca sucesivamente afloran los sedimentos de formaciones Santa, Carhuaz, Farrat, Inca, Chúlec y Pariatambo que forma el centro del sinclinal. La secuencia sedimentaria continua más al oeste hasta las calizas más jóvenes de la Formación Cajamarca que se ubican en el centro de sinclinal. El sinclinal cambia continuamente en anticlinal formado por capas de areniscas resistentes. En el mapa geológico del INGEMMET parece como la Formación Chimú pero en base a su posición geológica y

observaciones petrológicas revalorizamos la información del mapa geológico sobre estas areniscas y las adscribimos como la Formación Farrat. Las areniscas de la Fm. Farrat continúan al norte donde forman un sinclinal que permite aflorar a los sedimentos de formaciones Farrat hasta Cajamarca, más al oeste. Arriba de Cajamarca los sedimentos se encuentran cubiertos por flujos piroclásticos y tobas de Grupo Huambo. Estas rocas volcánicas están muy meteorizadas y poco afectadas por la deformación tectónica. Sólo diaclasas localizadas sin sistema dominante son aparentes.



6) El buzamiento del flanco norte de anticlinal tiene dirección al suroeste con ángulos medios y sobreyace las areniscas Farrat a través de una falla de cabalgamiento localizada en lutitas y limolitas de la Formación Carhuaz.



7) Análogicamente al anticlinal de Baños de Inca, la estructura continua hacia el norte por un anticlinal mostrando areniscas morfológicamente resistentes de la Formación Farrat. El centro de anticlinal está erosionado y relleno por los depósitos fluviales cuaternarios con sedimentos de la Formación Carhuaz. Este anticlinal representa la última presencia de Cretácico. Más al norte son sedimentos cretácicos cubiertos por secuencias potentes de rocas volcánicas (flujos piroclásticos, lahares, tobas) de grupos Huambo y San Pablo. Estas rocas son bastante compactas, poco afectadas por la deformación tectónica y semi permeables a la circulación del agua.



El corte NO-SE



El corte NO-SE, llevando por la falla de cabalgamiento al sur del anticlinal Baños de Inca, muestra fallas normales que limita la depresión de Cajamarca del este y también del oeste. Estas fallas continúan al norte en rocas volcánicas así como al sur hasta las cuarcitas de la Formación Chimú. En la depresión son cubiertas por sedimentos cuaternarios pero probablemente se trata de un sistema de fallas y fisuras paralelas que son muy permeables al agua en areniscas y cuarcitas (Fm. Chimú y Farrat) pero menos permeables en la Fm. Carhuaz.



En la tabla siguiente están resumidos los tipos litológicos mayores que afloran en la cuenca de Cajamarca y sus alrededores. La descripción y valores estructurales medidas son válidas para el afloramiento o desfile particular. Las observaciones del campo fueron usadas por la construcción del mapa geológico descubierto (sin sedimentos cuaternarios) así como para los tres cortes geológicos.

ID	Coordenadas	Formación / Símbolo	Descripción de afloramiento, litología y rumbo y buzamiento de estratificación (S) y fallas (F)	Fotodocumentación
25	N9198557 W779305	Formación Chimú (Ki-chi)	Afloramiento a lo largo de la carretera, con algunas canteras y deslizamientos. Cuarzitas blancas compactas. S=296/60	
4		Formación Santa (Ki-sa)	Valle de la quebrada en el centro del anticlinal Yumagual. Lutitas negras con intercalaciones de areniscas. S=215/50	

<p>21 N9204767 W783351</p>	<p>Formación Carhuaz (Ki-ca)</p>	<p>Roca al lado de la carretera a Llacanora. Limolitas amarillas hasta gris, lutitas y areniscas de grano fino, fuertemente meteorizados y tectonizados. S=38/59</p>	
<p>11 N9207888 W782502</p>	<p>Formación Farrat (Ki-f)</p>	<p>Afloramientos en la cresta encima del anticlinal Baños de Inca. Areniscas cuarcíticas de grano fino hasta medio. S=28/37</p>	

<p>16 N9209460 W781913</p>	<p>Formación Pariatambo (Ki-pa)</p>	<p>Afloramiento al lado de un camino, a bajo del Cerro Coñopunta. Lutitas gris con laminación delgada, intercalaciones de capas gris oscuro de calizas de tamaño 20 m. S=12/60</p>	
<p>17 N9210672 W781934</p>	<p>Formación Yumagual (Ks-yu) Formación Quilquiñan- Mujarrun (Ks-qm)</p>	<p>Afloramientos en la ladera y en la quebrada al norte de Cerro Coñopunta. Calizas gris nodulares de la Formación Yumagual cambiando en la parte superior en calizas laminadas de la Formación, intercalaciones de margas. S=46/54</p>	

18	N9210839 W781864	Formación Cajamarca (Ks-Ca)	Afloramientos en la ladera al norte de Otuzco. Calizas masivas puras de color gris-beige, fosilíferos, venas de calcita. S=22/85	
19	N9211198 W782399	Formación Celendin (Ks-cc)	Borde derecho del Río (Campanarume). Calizas gris impuras con intercalaciones de areniscas y lutitas. S=210/68	

48		Volcanitas San Pablo (Ti-vsp)	<p>Roca en la carretera a Yanacocha. Secuencia de flujos piroclásticos con líticos de la composición andesítica de tamaño hasta 20 cm, lahares con bloques de volcanitas de la composición variable. (1,5 m)</p>	
47	N9213400 W781918	Volcanitas Huambo (Ts-vh)	<p>Rocas en la carretera al oeste de Otuzco. Flujos piroclásticos lijaramente soldados, líticos 3-5 cm, fuertemente meteorizadas.</p>	

5.3.3. Relación del marco estructural observado a las condiciones hidrogeológicas

Según la descripción geológica se puede concluir que los acuíferos más importantes están representados por las secuencias sedimentarias cuarzosas Chimú (600 m de espesor) y Farrat (500 m). Entre estas capas yacen estratos de lutitas, limolitas y esquistos alcanzando 650 m que son casi impermeables a la circulación y almacenamiento del agua. Al sur del área estudiada afloran las cuarcitas Chimú y es el centro de anticlinal con mucha probabilidad de que sea la zona de infiltración de aguas en este colector. El área de infiltración podría ser agrandada del flanco sur de anticlinal Baños de Inca que sea en contacto con acuífero mayor Chimú por la falla de cabalgamiento en la profundidad (véase Fig. XX). Más al norte se hallan las cuarcitas Chimú en la profundidad más importante gracias a la estructura de sinclinal. Supuesto que la mayoría de la depresión de Cajamarca está formada por areniscas Farrat o capas Carhuaz len base a Chimú (contacto con sedimentos impermeables de Chicama, Jurásico) se halla en la profundidad de 1,000 m o más debajo de la superficie. A partir de la línea donde se conecta el anticlinal Baños de Inca con su parte opuesta; hacia el norte en base a Chimú está en profundidades aún más grandes puesto que en la superficie afloran sedimentos del Cretácico superior. Estos sedimentos Cretácicos son intesectados por rocas volcánicas que parecen impermeables lo que impide la circulación de agua subterránea en este dirrección.

Importante por el ascenso de aguas termales es el sistema de fallas N-S que atraviesa todo el valle desde anticlinal Yumagual (cuarcitas Chimú) al sur hasta las rocas volcánicas al norte. Además de facilitar de manera importante la circulación del agua subterránea, esta falla sirve también como estructura aferente a la formación de los gases y calor de los centros volcánicos. El sistema N-S en combinación con diaclasas NO-SE en el eje de anticlinal sirve como el trayecto de ascenso de aguas termales de las dos fuentes; Perolitos y Tragadero.

5.4. Condiciones hidrogeológicas

5.4.1. Clasificación hidrogeológica

En la cuenca de Cajamarca y sus alrededores afloran formaciones plegadas del Cretáceo inferior (Ki) y del Cretáceo superior (Ks). La clasificación hidrogeológica de ellas se presenta en la tabla siguiente:

Formación	Descripción de la unidad geológica / espesor	Clasificación hidrogeológica
Chimú (Ki-chi)	En la parte inferior secuencia de areniscas, cuarcitas y lutitas, en la parte superior gruesos bancos de cuarcitas blancas / 600 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Santa (Ki-sa)	Secuencias de lutitas, calizas margosas y areniscas gris oscuras / 100-150 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Carhuaz (Ki-ca)	Secuencias de areniscas rojas y verdosas y lutitas grises / 500 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Farrat (Ki-f)	Cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso / 500 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal pequeño)
Inca (Ki-in)	Areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y estratos de cuarcitas / max.100 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Chúlec (Ki-chu)	Calizas arenosas fosilíferas, lutitas calcáreas y margas marrón beige / 200-250 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Pariatambo (Ki-pa)	Lutitas con calizas negras bituminosas de estratificación delgada, en algunos sitios con nódulos de chert y dolomita / 150-200 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Grupo Pullicana Formación Yumagual (Ks-yu)	Secuencia de margas y calizas grises con intercalaciones fosilíferas locales y nódulos de caliza / 700 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Quilquiñan (Ks-qm) y Majarrun (Ks-qm)	Calizas nodulares masivas con intercalaciones de margas y lutitas amarillas. Sobre ellas secuencias de calizas nodulares y margas en capas delgadas, y en la parte superior bancos de calizas claras con lutitas y margas arenosas con abundantes fósiles / 500 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Cajamarca (Ks-ca)	Masivas calizas gris a azulinas con intercalaciones finas de lutitas y margas del mismo color. Crean bancos de morfología acentuada y flancos con fenómenos kársticos / 600-700 m	Acuífero en rocas fracturadas y cársticas (no ha sido estudiado)
Celendín (Ks-ce)	Secuencias de lutitas, margas e intercalaciones finas de calizas claras / 200 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Chota (Ks-cho)	Conglomerados calcáreos grises en el oeste, areniscas rojas y arenas tobáceas en el este / 300 m	?

Esta clasificación de las rocas y el modelo conceptual hidrogeológico básico, descrito en el próximo texto, fueron utilizados para la construcción de un mapa hidrogeológico en la escala 1 : 50 000. El mapa respeta los principios recomendados para este tipo de mapas y su leyenda para la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (W. Struckmeier, J. Margat, Volume 17, 1995, Verlag Heinz Heise).

El mapa hidrogeológico muestra:

- en color verde oscuro – los acuíferos en los que el agua se mueve en una red de las fracturas regulares y por las cavernas kársticas en las rocas sólidas (calizas de la formación Cajamarca)
- en color verde – los acuíferos en los que el agua se mueve en una red de las fracturas regulares (areniscas, cuarcitas de las formaciones Chimú y Farrat)
- en color marrón – acuicludes sin flujo del agua subterránea (arcillitas, lutitas, margas de las formaciones Santa y Carhuaz)
- en color azul – acuíferos en los que corre el agua en los poros de las rocas no consolidadas (sedimentos fluviales y coluviales)
- en color rojo marrón – acuíferos en los que el agua se mueve en una red irregular de las fracturas en las rocas sólidas (rocas volcánicas e intrusivas).

Para la clasificación cuantitativa, no teníamos suficientes datos. Por eso utilizamos el método de analogía, elaborado por prof. Krásný de la República Checa.

Color	Característica (definición)
Azul oscuro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y altamente productivo ($T > 100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q > 1 \text{ l/sm}$, $Q > 5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) con flujo de agua predominante en los poros
Azul claro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y mediamente productivo ($T = 10\text{-}100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,1\text{-}1 \text{ l/sm}$, $Q = 1\text{-}5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) o acuífero poco extenso ($< 100 \text{ km}^2$) pero altamente productivo con flujo de agua predominante en los poros
Verde oscuro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y altamente productivo ($T > 100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q > 1 \text{ l/sm}$, $Q > 5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) en el que el agua se mueve en una red de las fracturas regulares y por las cavernas kársticas
Verde claro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y mediamente productivo ($T = 10\text{-}100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,1\text{-}1 \text{ l/sm}$, $Q = 1\text{-}5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) o acuífero poco extenso ($< 100 \text{ km}^2$) pero altamente productivo ($< 100 \text{ km}^2$) en el que el agua corre predominantemente por las fracturas
Rojo marrón	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) de poca productividad ($T = 1\text{-}10 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,01\text{-}0,1 \text{ l/sm}$, $Q = 0,5\text{-}1 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) en el que el agua se mueve predominantemente en las facturas en las rocas intrusivas o metamórficas meteorizadas, o en una red irregular de las fracturas en las rocas volcánicas
Marrón claro	Acuitardo en el que se pueden acumular localmente pequeñas cantidades del agua subterránea ($T = 0,1\text{-}1 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,001\text{-}0,1 \text{ l/sm}$, $Q = 0,05 - 0,5 \text{ l/s}$)
Marrón oscuro	Acuicludo en el que casi no hay agua subterránea ($T < 0,1 \text{ m}^2/\text{d}$, $q < 0,001 \text{ l/sm}$, $Q < 0,05 \text{ l/s}$)

Las areniscas y cuarcitas de la formación Chimú tienen un espesor de 600m. Forman el acuífero basal en rocas fracturadas del Cretáceo, que yace sobre un acuitardo formado por lutitas laminadas negras con intercalaciones de areniscas grises y abundantes nódulos negros con pírta, perteneciente al Jurásico (formación Chicama, 700 – 800 mde espesor).



El colector de base está cubierto por margas y limolitas de poca permeabilidad de la formación Santa (100-150 m) y por areniscas y lutitas de colores variados de la formación Carhuaz (500 m). Este Acuitardo tiene espesor de 600 – 650 m y separa acuífero basal del acuífero medio, formado en la rocas fracturadas (cuarcitas y areniscas) de la formación Farrat. El acuífero medio tiene espesor de 500 m.



Una secuencia gruesa (1 650 – 1 750 m) de lutitas y margas de poca permeabilidad con intercalaciones de areniscas y calizas separa el acuífero medio del acuífero superior, formado por las calizas cársticas de la formación Cajamarca. Este acuífero de espesor 600 – 700 m tiene carácter fracturado-kárstico. Aflora al NE de la cuenca de Cajamarca y no ha sido objeto del estudio.

Encima del acuífero superior del Cretáceo se encuentran los sedimentos del Cretáceo superior, así como los sedimentos y volcánicos de Cenozoico.

Además de los acuíferos fracturados existe en la cuenca de Cajamarca un acuífero en los sedimentos fluviales y coluviales de Cuaternario. En este colector ocurre la mezcladura de las penetrantes aguas termales con las aguas subterráneas frías de la circulación de poca profundidad.



En el área de Cajamarca y alrededores, hay varias fuentes termales. La siguiente tabla contiene la identificación de las fuentes más importantes, incluyendo las características físico-químicas que han sido estudiadas en el marco de este proyecto.



ID	Nombre/ Coorde-nadas	Descripción de afloramiento	Características físicas y químicas	Fotodocumentación
A1	Yumagual No. 1 E774219 N9198358 2609	<p>Un grupo pequeño de las fuentes se encuentra aproximadamente 100 m encima del edificio de los baños que dejaron de existir hace 20 años. Dos pequeñas fuentes directamente en la margen de la quebrada. Las aguas de la quebrada se mezclan durante las épocas de lluvia con las aguas de las fuentes.</p> <p>Las fuentes afloran entre los estratos y desde las fracturas de las cuarcitas de la formación Chimú. Las cuarcitas tienen en el sitio de las fuentes buzamiento abrupto, formando el cierre del anticlinal (que puede ser alterado por una falla transversal). Sobre las cuarcitas yacen las arcillitas y lutitas de la formación Santa con unos pequeños mantos de antracita.</p>	<p>T = 51 °C (mayo 2005) T = 50.9 °C (6.4.2006)</p> <p>CE = 94 μS/cm (mayo 2005) CE = 94 μS/cm (6.4.2006)</p> <p>pH – 6.25 (mayo 2005)</p> <p>Q = 0.5 l/s</p>	
A2	Yumagual No. 2 E774219 N9198358 2611	<p>Las fuentes del agua no mineral que afloran en el flanco del anticlinal son frías (13 °C) y tienen baja conductividad (14 μS/cm). En el afloramiento no se observó gas.</p>	<p>T = 50 °C (Mayo 2005) T = 48.5 °C (6.4.2006)</p> <p>CE = 99 μS/cm (Mayo 2005) CE = 91 μS/cm (6.4.2006)</p> <p>pH – 6.3 (Mayo 2005)</p> <p>Q = 0.1 l/s</p>	

<p>A3</p>	<p>Tragadero No.1 E780804 N9207267 2695</p>	<p>Grupo de fuentes que emanan gas en el hotel Laguna Seca. Dos fuentes principales se encuentran en la parte superior del área, mientras una con caudal mas bajo (Q = 2 l/s) se encuentra en frente del comedor bajo la oficina de la recepción. Las fuentes forman un grupo independiente (más alto que el grupo Perolitos) y afloran desde los aluviones, próximos al pie de la vertiente que marca el borde de la cuenca de Cajamarca. Para la formación de las fuentes, la significación principal tiene la falla de rumbo N-S, que pasa por toda la cuenca. Esta falla se cruza en el sitio del afloramiento con el eje del anticlinal de Baños del Inca (Shaullo Chico /Grande). En los flancos del anticlinal afloran las rocas de la formación Farrat, mientras en el valle que pasa por el eje del anticlinal aparecen rocas de la formación Carhuaz, profundamente erosionadas. La flexión del anticlinal abrió probablemente los caminos para el agua desde la subyacente formación Chimú, la que es el acuífero probable en el que las aguas termales se forman. Las aguas no minerales de los alrededores tienen conductividad eléctrica de 50-600 $\mu\text{S/cm}$.</p>	<p>T = 71 °C (Mayo 2005) T = 70.7 °C (6.4.2006) CE = 686 $\mu\text{S/cm}$ (Mayo 2005) CE = 681 $\mu\text{S/cm}$ (6.4.2006) pH – 6.43 (Mayo 2005) Q = 15 l/s</p>	
<p>A4</p>	<p>Tragadero No.2 E780804 N9207267 2695</p>	<p>Grupo de fuentes que emanan gas en el hotel Laguna Seca. Dos fuentes principales se encuentran en la parte superior del área, mientras una con caudal mas bajo (Q = 2 l/s) se encuentra en frente del comedor bajo la oficina de la recepción. Las fuentes forman un grupo independiente (más alto que el grupo Perolitos) y afloran desde los aluviones, próximos al pie de la vertiente que marca el borde de la cuenca de Cajamarca. Para la formación de las fuentes, la significación principal tiene la falla de rumbo N-S, que pasa por toda la cuenca. Esta falla se cruza en el sitio del afloramiento con el eje del anticlinal de Baños del Inca (Shaullo Chico /Grande). En los flancos del anticlinal afloran las rocas de la formación Farrat, mientras en el valle que pasa por el eje del anticlinal aparecen rocas de la formación Carhuaz, profundamente erosionadas. La flexión del anticlinal abrió probablemente los caminos para el agua desde la subyacente formación Chimú, la que es el acuífero probable en el que las aguas termales se forman. Las aguas no minerales de los alrededores tienen conductividad eléctrica de 50-600 $\mu\text{S/cm}$.</p>	<p>T = 69 °C (Mayo 2005) T = 69.7 °C (6.4.2006) CE = 691 $\mu\text{S/cm}$ (Mayo 2005) CE = 689 $\mu\text{S/cm}$ (6.4.2006) pH – 6.24 (Mayo 2005) Q = 15 l/s</p>	

A11	<p>Perolitos No.1 E780146 N9207508 2689</p>	<p>Grupo de fuentes que emanan gas en el centro del complejo turístico Baños del Inca. Las fuentes están captadas por un sistema de las pozas de refrigeración, desde las que las aguas son conducidas hacia el complejo de baños termales y piscinas recreativas como también para el uso de cada casa. Las fuentes forman un grupo independiente y afloran desde los aluviones, próximos al río Chonta. Para la formación de las fuentes, la significación principal tiene la falla de rumbo N-S, que pasa por toda la cuenca. Esta falla se cruza en el sitio del afloramiento con el eje del anticlinal de Baños del Inca (Shaullo Chico /Grande). En los flancos del anticlinal afloran las rocas de la formación Farrat, mientras que en el valle que pasa por el eje del anticlinal aparecen rocas de la formación Carhuaz, profundamente erosionadas. La flexión del anticlinal abrió probablemente los caminos para el agua desde la subyacente formación Chimú, la que es el acuífero probable en el que las aguas termales se forman. Las aguas no minerales de los alrededores tienen la conductividad eléctrica de 50-600 $\mu\text{S/cm}$.</p>	<p>T = 61 °C (Mayo 2005) T = 61 °C (6.4.2006) CE = 708 $\mu\text{S/cm}$ (Mayo 2005) CE = 690 $\mu\text{S/cm}$ (6.4.2006) pH - 7.2 (Mayo 2005)</p>	
A12	<p>Perolitos No.2 E780146 N9207508 2689</p>	<p>Grupo de fuentes que emanan gas en el centro del complejo turístico Baños del Inca. Las fuentes están captadas por un sistema de las pozas de refrigeración, desde las que las aguas son conducidas hacia el complejo de baños termales y piscinas recreativas como también para el uso de cada casa. Las fuentes forman un grupo independiente y afloran desde los aluviones, próximos al río Chonta. Para la formación de las fuentes, la significación principal tiene la falla de rumbo N-S, que pasa por toda la cuenca. Esta falla se cruza en el sitio del afloramiento con el eje del anticlinal de Baños del Inca (Shaullo Chico /Grande). En los flancos del anticlinal afloran las rocas de la formación Farrat, mientras que en el valle que pasa por el eje del anticlinal aparecen rocas de la formación Carhuaz, profundamente erosionadas. La flexión del anticlinal abrió probablemente los caminos para el agua desde la subyacente formación Chimú, la que es el acuífero probable en el que las aguas termales se forman. Las aguas no minerales de los alrededores tienen la conductividad eléctrica de 50-600 $\mu\text{S/cm}$.</p>	<p>T = 68 °C (Mayo 2005) T = 66 °C (6.4.2006) CE = 698 $\mu\text{S/cm}$ (Mayo 2005) CE = 700 $\mu\text{S/cm}$ (6.4.2006) pH - 7.1 (Mayo 2005) Grupo entero Q = 50 l/s</p>	

A5	<p>La Grama E818201 N9174220 2006</p>	<p>Grupo de fuentes que se encuentran en la ribera del río Crisnejas. El grupo es formado por dos surgencias de fuentes (con afloramiento de gas) y algunos manantiales que han sido aplazados por los sedimentos coluviales bajo de la carretera. Las fuentes salen de los afloramientos de las cuarcitas de la formación Chimú encima de los aluviones del río Crisnejas). Bajo de las cuarcitas yacen poco permeables sedimentos de la formación jurásica Chicama. Se ve el drenaje total de la formación Chimú que aflora en NO de las fuentes.</p>	<p>T = 45 °C (Mayo 2005) T = 45.6 °C (5.4.2006) CE = 924 µS/cm (Mayo 2005) CE = 928 µS/cm (5.4.2006) pH = 5.73 (Mayo 2005) Grupo entero Q = 100 l/s</p>	
A6	<p>Oscol No. 1 E817087 N9171415 2027</p>	<p>Un par de fuentes pequeñas bajo la carretera La Grama – Chorros. Las fuentes salen de los afloramientos de las cuarcitas de la formación Chimú encima de los aluviones del río Condebamba). Bajo estas rocas yacen poco permeables sedimentos de la formación jurásica Chicama. Se trata del drenaje total de la formación Chimú que aflora en NO de las fuentes. Es el más alto de los dos manantiales.</p>	<p>T = 35 °C (Mayo 2005) T = 35.3 °C (5.4.2006) CE = 830 µS/cm (Mayo 2005) CE = 865 µS/cm (5.4.2006) pH = 6.96 (Mayo 2005) Q = 0.3 l/s</p>	

A7	Oscol No. 2 E817100 N9171439 2026	El más bajo del par de manantiales. Ambas fuentes tienen el contenido bajo de gases.	<p>T = 31 °C (Mayo 2005) T = 31.5 °C (5.4.2006)</p> <p>CE = 1 586 µS/cm (Mayo 2005) CE = 1 596 µS/cm (5.4.2006)</p> <p>pH – 6.8 (Mayo 2005)</p> <p>Q = 0.5 l/s</p>	
A8	Chorro No.1	No era localizado en el año 2006 (en la foto se ve la ribera del río Condebamba, en el que salen las fuentes del grupo Chorro)	<p>T = 49 °C (Mayo 2005)</p> <p>CE = 578 µS/cm (Mayo 2005)</p> <p>pH – 6.2 (Mayo 2005)</p>	

A9	Chorro No.2	<p>Grupo de fuentes con bajo contenido de gas en la ribera del río Condebamba. Las fuentes salen de los afloramientos de las cuarcitas de la formación Chimú encima de los aluviones del río Condebamba. Bajo de las cuarcitas yacen sedimentos poco permeables de la formación jurásica Chicama. (Se trata del drenaje total de la formación Chimú que aflora en NO de las fuentes.) El caudal depende del nivel de agua en el río. En varios sitios se ven los afloramientos de agua en el cauce, que pueden ser más caudalosos que las fuentes observadas. Chorro 2 se encuentra aguas abajo del Chorro 3.</p>	<p>T = 51 °C (Mayo 2005) T = 51.2 °C (5.4.2006) CE = 572 μS/cm (Mayo 2005) CE = 592 μS/cm (5.4.2006) pH – 6.12 (Mayo 2005)</p>	
A10	Chorro No.3		<p>T = 47 °C (Mayo 2005) T = 51.1 °C (5.4.2006) CE = 589 μS/cm (Mayo 2005) CE = 400 μS/cm (5.4.2006) pH – 6.74 (Mayo 2005) Grupo entero Q = 100 l/s</p>	

5.4.2. Modelo hidrogeológico conceptual

Los afloramientos del agua termal y mineral en la región de los Baños del Inca forman una fuente singular y deben ser considerados en un futuro para su desarrollo. Las fuentes forman dos grupos independientes, Tragadero, cuya altitud es ligeramente más elevada (2695 msnm), y Perolitos un poco más baja (2689 msnm). Ambos grupos salen de los sedimentos aluviales colocados entre el pie de la vertiente, que forma el borde de la cuenca, y el río Chonta. La importancia principal para la constitución de las fuentes debe ser atribuida a la falla del rumbo N-S, que pasa por toda la cuenca, y que se cruza en el sitio de los afloramientos de agua con el eje del anticlinal Banos de Inca (Shaullo Chico /Grande).

Las cuarcitas de la formación Chimú son consideradas como acuífero, en el que se forman las aguas de ambos grupos de fuentes. Como se ve en el perfil geológico, las cuarcitas de la formación Chimú afloran en el borde sur de la cuenca de Cajamarca, donde se produce la infiltración en la altitud de 3000 – 3500 msnm (anticlinal en la zona de Yumagual). El área de los afloramientos de la formación Chimú es aproximadamente 30 km². Las rocas de la formación son formadas con alto contenido de cuarzo y un mínimo de otros minerales, y por eso las fracturas en ellas no son rellenadas por material meteorizado. Así se explica su muy buena permeabilidad. El agua infiltrada baja por las fracturas hasta el fondo del acuífero, que es formado por los estratos muy poco permeables de la formación jurásica Chicama. Después de alcanzar la base del acuífero, el agua subterránea continua en movimiento en dirección de la inclinación de los estratos hacia norte en el centro de la cuenca de Cajamarca. En la vertiente de la cuenca yacen continuamente sobre el acuífero de la formación Chimú las limonitas y areniscas desintegradas de las formaciones Santa y Carhuas, que forman el techo impermeable del acuífero. Encima de ellas yacen las areniscas de la formación Farrat que forman parte principal del fondo de la cuenca de Cajamarca, ya que tienen posición subhorizontal. Las areniscas de la formación Farrat forman un acuífero independiente en la parte superior de la secuencia sedimentaria. El fondo de la cuenca se encuentra en la altitud de 2650 – 2670 msnm. Dado que el espesor de la formación Farrat es 500 m, el de la formación Santa 500 m, de la formación Carhuaz 100 – 150 m, y de la formación Chimú 600 m, la base del acuífero se encuentra en la altitud de 900 a 1000 msnm, es decir aproximadamente 1500 m bajo de la superficie de la cuenca de Cajamarca. En aquella profundidad, la acumulación del agua del acuífero es cautiva.

En el área de los Baños del Inca, las secuencias mencionadas forman un anticlinal. En los flancos de esta estructural afloran las rocas de la formación Farrat, mientras que en el eje de ella, en el valle, se encuentran rocas profundamente erosionadas de las formaciones Santa y Carhuaz. Así en base al acuífero de las rocas de la formación Chimú se halla elevada de 500 a 1000 m. La flexión del anticlinal abrió probablemente los caminos al agua del acuífero basal, cautivo, ya que encima de las cuarcitas sólidas, los estratos se estiraron y fueron sometidos a fracturación. Detrás del anticlinal, los estratos más viejos se hunden debajo de las secuencias espesas de los sedimentos más jóvenes y de las rocas del origen volcánico. Así se anula la posibilidad del drenaje (comunicación con la superficie) del acuífero basal, formado en las cuarcitas de la formación Chimú.

Los afloramientos de las aguas termales de los grupos Tragadero y Perolitos se originaron gracias a la intersección de los dos elementos estructurales importantes – el anticlinal Baños del Inca con la falla del rumbo N – S. Aquella falla afecta las rocas de la formación Chimú en el borde sur de la cuenca. Una faja triturada fue descrita en la silla, que es aprovechada por la carretera Cajamarca – Pacasmayo, también son afectadas las rocas volcánicas en la parte norte de la cuenca. Se supone que la falla es profunda y que había sido activa antes del plegamiento, que dio el carácter a la región, y que queda activa hasta hoy. La actividad reciente se manifiesta considerablemente por el flujo térmico elevado, por el conducto del gas de la profundidad, y también por el aporte de las soluciones clóricas, que hacen metamorfosis de la composición química de las aguas normales y poco mineralizadas del acuífero en las cuarcitas de la formación Chimú. Los procesos físico-químicos en la falla N-S, y la circulación del agua relativamente profunda en el acuífero cautivo, hacen posible el origen del sifón termal. Aguas de alta temperatura bajo la presión alta penetran el techo de acuífero y después del paso por los aluviones forman dos grupos de fuentes termales. Los aluviones tienen espesor considerable (aproximadamente 30 m) y su propia agua subterránea, con la que se mezcla el agua termal.

En la foto siguiente se ven los elementos estructurales (falla profunda N-S y el eje del anticlinal de Baños de Inca), que tienen impacto principal a la creación de las fuentes termales.



5.4.3. Propiedades hidráulicas de las rocas

Las propiedades hidráulicas han sido estudiadas solamente por los métodos indirectos, basados en la elaboración estadística de las mediciones de las fracturas y las pruebas de infiltración. La medición de la frecuencia de las fracturas fue realizada en dos afloramientos: uno en la formación Farrat en la proximidad del hotel Laguna Seca y segundo en la formación Chimú cerca de la carretera Cajamarca – Trujillo.



Medición de las fracturas en la formación Chimú



Medición de las fracturas en la formación Farrat

5.4.4. Pruebas de infiltración

Las pruebas de infiltración se realizaron en tres afloramientos de los acuíferos supuestos: uno representó la formación Farrat en la proximidad del hotel Laguna Seca, el otro la formación Chimú cerca de la carretera Cajamarca – Trujillo. La tercera prueba tuvo lugar en el afloramiento de las rocas volcánicas al norte de Cajamarca.



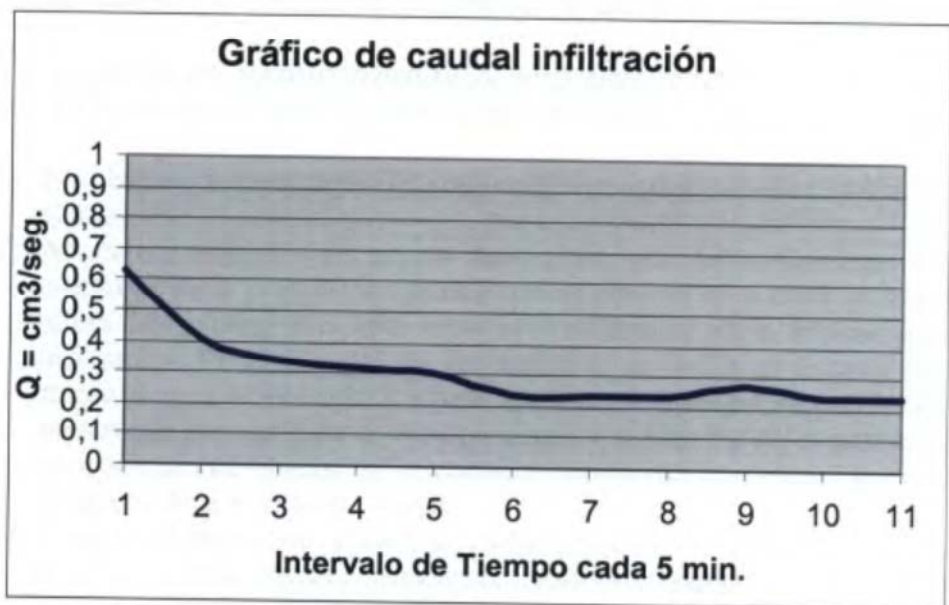
Prueba de infiltración en la formación Chimú



Prueba de infiltración en la formación Farrat

Los resultados de la evaluación hidrogeológica fueron utilizados como las informaciones entrantes del modelo hidráulico, así como para la propuesta de las zonas de protección de la estructura termal.

La permeabilidad averiguada por las pruebas de infiltración en la formación Chimú era $K = 83,5 \text{ m/d}$



Se ve que la permeabilidad del acuífero Farrat es mucho más pequeña que la del acuífero Chimú. Eso fue confirmado por el modelo del flujo del agua subterránea.

5.5. Modelo hidráulico del flujo

El modelo hidráulico Cajamarca tiene como base datos geológicos y estructurales, datos hidrometeorológicos y del modelo conceptual hidrogeológico descrito en el capítulo 5.4.

Es necesario decir que los datos son escasos para elaborar un modelo exacto, pero a pesar de eso pueden servir para proponer soluciones de los problemas de captación y protección de las aguas subterráneas. La solución del modelo está propuesta de manera que se haga posible el futuro desarrollo y verificación del modelo. Ciertos datos, concernientes por ej. la característica del sustrato, fueron solamente estimados e introducidos al modelo como valores fácilmente cambiables. En base al cálculo de una serie de variantes será posible hacer el modelo más exacto y calibrarlo en caso de que aparezcan nuevos datos de la investigación geológica y de las mediciones hidrológicas a la disposición. Así será posible preparar unos escenarios de variante, que estarán listos a absolver interrogantes acerca de los cambios hidrogeológicos en la región para el desarrollo de la balneología.

La geometría del acuífero principal, para el cual fue elaborado el modelo, se hizo en base a algunos cortes geológicos (tres transversales: 1, 2 y 3, y uno longitudinal: 4). Ambos grupos de fuentes, Perolitos y Tragadero, se encuentran entre los cortes 1 y 2; el área del interés fue limitada por los límites, en los se aplican las condiciones de borde. En el este y el oeste, los límites son los perfiles geológicos, al norte el límite es el eje del sinclinal y al sur el eje del anticlinal. Según los resultados de los trabajos de campo, la circulación principal del agua es concentrada en esta área.

Para el propósito del modelo matemático, es posible dividir el área de interés a un número de los elementos principales estructurales y petrográficos:

- 1) El sustrato impermeable del acuífero (Formación jurásica Chicama, no aflora al aire).
- 2) Acuífero principal – un estrato fuertemente permeable (cuarcitas y areniscas cuarzosas de la Formación Chimú), que se observa en el corte en toda la área y aflora en la parte sur. Esta zona es considerada como el área principal de infiltración. En el área del eje del anticlinal se forma un sistema de fracturas donde el agua termal sube y aflora. En la parte mediana del perfil, el estrato es perturbado por una falla de cabalgamiento, que hizo mover el estrato de manera que yace probablemente en un contacto directo con otro estrato permeable – las areniscas de la Formación Farrat.
- 3) Estrato impermeable, acuicludo, sobre el acuífero principal (secuencias de arcillitas y lutitas de las Formaciones Santa y Carhuaz).
- 4) Estrato permeable (areniscas de la Formación Farrat), que toca el acuífero en el cual se forman aguas termales solamente en el sitio de la falla de cabalgamiento, representa otra área de infiltración posible.

- 5) Un elemento estructural importante es la zona de las fracturas (clivaje) en el eje del sinclinal, así como el sistema de las fallas de descende, en las que se encuentran las fuentes termales localizadas.

Lo que es específico en el modelo es la conjunción de los elementos del sistema hidrogeológico de tres dimensiones (acuíferos) y de dos dimensiones (fallas). Estos elementos se observan en los cortes hidrogeológicos en los dibujos en el capítulo 5.4.

El procedimiento para crear modelo es el siguiente. El área de interés fue dividida en varias sub-áreas (aproximadamente 16 000). A cada elemento se agregó la permeabilidad hidráulica específica y, según la estimación calificada, la temperatura. Fueron determinados los bordes del área de modelo, en las que se definieron las condiciones de borde. En los bordes fueron definidas las altitudes piezométricas. Con la comparación de la infiltración de las precipitaciones calculadas y los datos obtenidos por monitoreo se hizo la base para la calibración del modelo. En el límite, en el contacto con los estratos impermeables, se considera un flujo cero, mientras en los otros bordes, en los cuales la identificación de la condición sería difícil, se aplican condiciones de borde general, que expresa la relación entre el flujo y la pendiente de la altura piezométrica. El propio modelo está basado en el cumplimiento de las ecuaciones de Darcy y de la ecuación de la continuidad en cada elemento, complementado por un sistema de ecuaciones que expresa balances iguales de flujos entre elementos, respectivamente la interacción de los elementos volumétricos y fracturas.

5.5.1. Preparación del modelo matemático

Para el modelo siempre es necesario crear una red de elementos. La red fue creada por medio del software especial llamado GMSH. El conjunto que define el área modelado es creado de manera que en el futuro sea posible la elaboración de una database. Quiere decir que los datos son propuestos de tal manera que cada entidad los pueda identificar unívocamente y que la información de la posición del punto, recta, superficie y volumen sea fácilmente accesible por operaciones de database comunes.

Es necesario construir la geometría del área continuamente desde los puntos hasta los volúmenes. El modo de numeración y procedimiento de proponer los datos 3D es en esencia manual. Tiene que ser metódico, para que sea posible mantener el control sobre la geometría del espacio modelado. Los puntos son divididos en 4 cortes, derivados de los cortes geológicos.

Los puntos del primer corte de borde (Corte 1) son numerados 1-99, los puntos del segundo corte de borde (Corte 2) 101-199. Los puntos en los que se encuentran las fuentes, son numerados análogicamente, 201-299 y 301-399 (Corte 3). Esta solución es dada por la estructura geológica del substrato y por el esfuerzo de hacer la proposición de la red más claro. La numeración 401-499 y 501-599 (Corte 4) pertenece al corte 4.

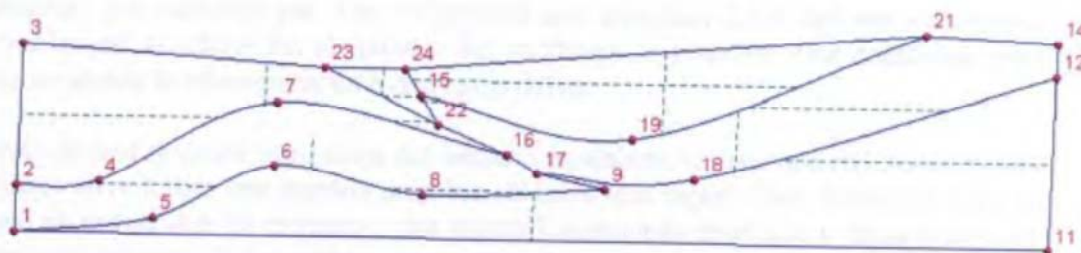


Figura: El modo de numeración de los puntos del corte No. 1

Cada punto está ligado por dos modalidades, por medio de la curva cúbica *spline* o por medio de una recta. Para la definición de la recta y la curva, es importante la orientación dada por el orden de los puntos. Las rectas y las curvas *spline* están numeradas en los estratos similarmente como los puntos para mantener el contexto y claridad. Quiere decir que las rectas que unen los puntos del primer grupo son numerados 1-99, línea de empalme de los puntos en el segundo estrato 101-199, los puntos del tercer estrato 201-299 y 301-399 según el número de los puntos unidos y los puntos del cuarto grupo 401-499 y 501-599.

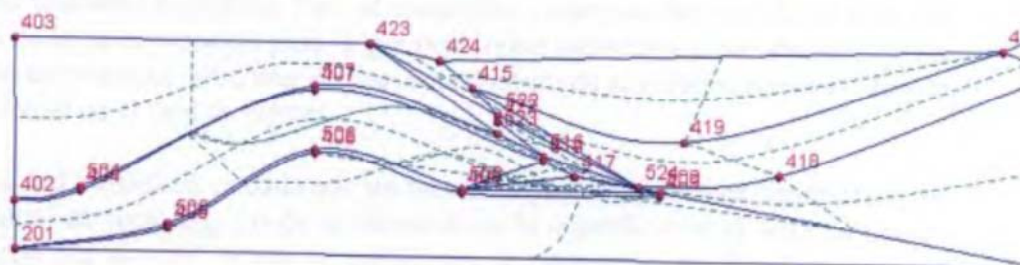


Figura: Modo de la numeración de los puntos del corte No. 4

Las superficies son numeradas desde la superficie más importante (de referencia) en cada estrato. La importancia es derivada de la posición de la superficie y aumenta con la permeabilidad. La posición en el acuífero tiene importancia desde el punto de vista del modelo. La superficie es definida por línea cerrada (*line loop*), es decir por el conjunto de rectas y líneas, que deben tener en su definición iguales el primer punto, el punto inicial y el punto último de la recta o curva. El número de la superficie es siempre par, las superficies en el estrato permeable siempre tienen el número que termina en 2, 4 o 6. Las superficies sobre fallas tienen números 2002, 3002, 2004, 3004, 306. Para la definición de las superficies se utilizaron dos modos. Las superficies que son definidas por más de dos puntos deben de tener una de las coordenadas idénticas. Las limitaciones tienen como base la propuesta del software GMSH.

El volúmen es del elemento 3D, definido por medio de superficie. Los volúmenes son numerados por números par. Los volúmenes que terminan 2,4,6 definen los estratos permeables del acuífero. En el número del volúmen, la posición está codificada para que no se pierda la orientación en todos estos datos.

Después de una revisión minuciosa del espacio modelado se crea una red de elementos que luego sirve como una entrada para los cálculos que sigan. Cada elemento tiene su número de orden, tipo de elemento, una especificación más detallada y física dentro del bloque con una longitud variable, y una lista de los lazos que el elemento crea. Los elementos se pueden agrupar en grupos grandes, que se llaman entitas, para los efectos de calculaciones.

Codo	Tipo	Número de puntos
1	Recta	2
2	Triángulo	3
3	Cuadrángulo	4
4	Tetraedro	4
5	Paralelepípedo	8
6	Elemento prismático	6
7	Pirámide	5
9-15	Otros tipos véase documentación GMSH	

Para el cálculo del modelo hay que considerar la introducción de las propiedades físicas necesarias del ambiente modelado. Para el desarrollo y chequeo del modelo se creó una metodología de la determinación para la permeabilidad hidráulica y una evaluación del impacto de la temperatura, así como de la eventual altura de la presión, sobre el carácter de flujo resultante en el área de interés.

La permeabilidad hidráulica es dada por un tensor, cuyos componentes dependen o del tipo del material de roca K_{mat} , o de la distancia de la superficie en el sitio particular, que es definido por $z_p - z_T^e$ y por su parámetro de calibración p_1 . Estos valores son modificados según el grado de plegamiento del estrato. Se supone que la corrección del coeficiente de permeabilidad hidráulica es proporcional a la segunda derivada de la superficie del plegamiento en el sitio, marcado por el símbolo Δ_2 y por la diferencia de coordenadas "z" del centro del estrato y las coordenadas del centro de gravedad del elemento en el sitio estudiado. La constante de la proporcionalidad es al mismo tiempo el parámetro de calibración y es marcada por el símbolo p_2 para las direcciones horizontales, y por el símbolo p_3 para la dirección vertical.

En base a la temperatura determinada, el modelo incluye también cambios de presión en el sitio dado, generados por el cambio de la densidad del agua en la relación con su extensibilidad, o por el cambio de presión. La aplicación de las relaciones arriba mencionadas no ha sido hecha en esta fase, pero se supone en la próxima fase de la calibración del modelo.

5.5.2. Condiciones de borde

Para la calculación de las tareas concretas, es necesaria la especificación de las condiciones de borde sobre todas las paredes límites de la red utilizada. Las condiciones de borde tienen impacto principal para el carácter resultante del flujo en el área de interés. La determinación correcta de estas condiciones suele surgir del análisis detallado del comportamiento del modelo. En algunos casos se puede hacer la determinación más fácil por una selección conveniente del límite del área modelada (los modelos regionales tienen como bordes líneas divisorias de aguas, grandes ríos etc.).

El software utilizado fue desarrollado en la universidad técnica en Liberec. Por medio de ello se pueden introducir las condiciones de borde de tres tipos:

Condición de límite de Dirichlet – se determina el valor concreto de la altura de presión en la parte estudiada del límite. Puede ser utilizada en los sitios que conocemos bien o donde podemos estimar bien el valor concreto (en el afloramiento de la fuente, en los sitios, donde conocemos la profundidad del nivel de las aguas subterráneas etc.).

Condición de límite de Neuman – esta condición de borde determina el valor concreto de la velocidad del flujo a través del límite en la dirección del vector de la normal. En nuestro modelo podría ser utilizada por ejemplo para la introducción de los valores concretos de la infiltración en el sitio estudiado. También se puede aprovechar en los sitios donde se conoce el desagüe de la región, etc. La condición de límite de Neuman se utiliza frecuentemente en las partes del límite, donde se supone que el flujo en la dirección de la normal exterior es zero o despreciable (llamado *la condición de borde homogénea de Neuman*). En el caso del modelo Cajamarca se puede suponer un aflujo despreciable por ejemplo en el plano, que forman los planos de eje de las formaciones sinclinales o anticlinales, o en los bordes que forman límites entre las formaciones permeables e impermeables.

Condición de borde de Newton – la condición, que es la combinación de los dos anteriores, expresa la relación entre el flujo y el declive de la altura de presión. Se utiliza en el lado del borde, donde la identificación de la condición de borde es difícil.

Al determinar las condiciones de borde, es necesario utilizar por lo menos en una parte de los límites la condición de borde de Dirichlet, para que la tarea tenga la solución. El aumento de la extensión de esta condición contribuye considerablemente a la estabilidad de la solución. Por otro lado las condiciones de Dirichlet y Neuman pueden causar, en caso de la determinación errónea, considerables aberraciones en los resultados reales.

5.5.3. Área del modelo de la estructura termal de Cajamarca

Para el modelo fue escogida el área donde se encuentran los grupos de fuentes Tragadero y Perolitos. En base al modelo hidrogeológico conceptual decidimos crear un modelo matemático que incluya el estrato del acuífero fracturado de base, formado por areniscas y cuarcitas de la Formación Chimú con un espesor de 600 m, el estrato de la arenisca cuarzosa de la Formación Farrat en la proximidad de la falla de cabalgamiento, y además la falla de dirección norte-sur que interseca toda el área. El área modelada tiene la proyección horizontal rectangular con los lados aproximadamente 14 000 m en la dirección N-S y 3 000 m en la dirección O-E. La limitación del lado de norte es el eje de la sinclinal Otuzco, el límite en el sur es el eje del anticlinal Yumagual. La delimitación del área modelada se ve en la figura 1.

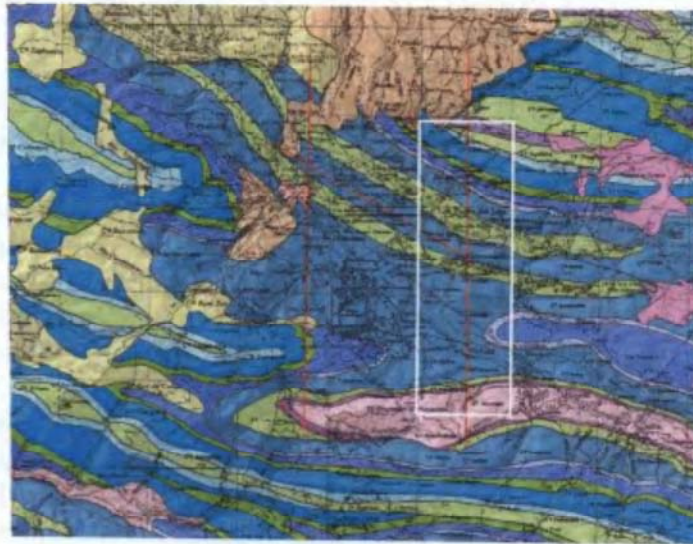


Figura 1: Delimitación del área modelada en el mapa hidrogeológico de los alrededores de Cajamarca

Para el cálculo del modelo es posible utilizar una red porosa, una red de fracturas o una red combinada. En conformidad con el carácter hidrogeológico del área modelada decidimos construir el modelo en base a la red combinada. El estrato del acuífero modelado fue cubierto por una red porosa (3D elementos o simplejos), y la falla que interseca el área total es interpretada por elementos triangulares 2D. La red fue generada de manera que sea asegurada la compatibilidad de los elementos 2D y 3D de la red (es decir elementos triangulares yacen en el plano de las paredes de los elementos simples).

En el cuadro de la geometría de la región determinada, se generaron gradualmente algunas redes, que tuvieron diferencias con el número total de los elementos. Las redes con menos elementos fueron utilizadas sobre todo en la primera fase de la sintonización del modelo, y después, para la presentación del modelo, fueron aprovechados los resultados de las simulaciones hechas en la red con aproximadamente 15 000 elementos.

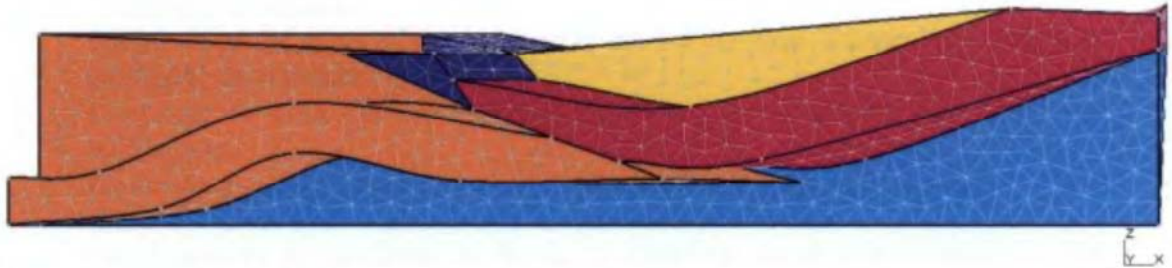


Figura 2: Gráfico de la red, utilizada para las calculaciones de simulación.

Para el cálculo del modelo, se utilizó el programa Flow123D, que hace posible los cálculos del flujo subterráneo en las redes combinadas. Para el cálculo concreto es necesario crear también los conjuntos de las condiciones de borde, propiedades físicas del ambiente y un conjunto de vecindades de los elementos, que cartografía la topología de la red y tiene que tener el formato requerido.

Las propiedades físicas del ambiente - el área modelada incluye el estrato Chimú, el estrato Farrat y la falla que interseca toda área. Al realizar la primera variante del modelo, se utilizó un procedimiento de la determinación de las propiedades físicas más simple, para que se obtengan resultados sin necesidad de calibración de algunos parámetros desconocidos.

Para los elementos en el estrato Chimú, la permeabilidad escogida fue desde 1 hasta 100×10^{-5} m/s. En el estrato Farrat, la permeabilidad introducida fue de orden más bajo que la del estrato Chimú. Para la determinación del elemento concreto fue después, además de la roca, considerada también su profundidad y la posición en el marco del estrato estudiado.

En los sitios de la abertura de las fracturas (parte superior del anticlinal, parte inferior del sinclinal) fue introducida la permeabilidad más alta, mientras que en los sitios de la cerradura de las fracturas fue introducida la permeabilidad más baja. En las partes permeables de la falla fue introducida la permeabilidad de dos órdenes más alta que en la roca alrededor.

Condiciones de borde - para la determinación de ellas, los bordes del área fueron divididos a varios sectores. En ellos, la condición de borde fue definida por un modo unificado:

Borde del área en el sitio del afloramiento del acuífero - en los sitios, donde las formaciones modeladas (Chimú, Farrat) afloran, fue introducida la condición de Dirichlet.

Borde superior de los estratos modelados - a lo largo del borde superior de los estratos modelados, donde los acuíferos son cubiertos por los estratos de las rocas impermeables, fue introducida la condición de Neuman (flujo zero).

Borde inferior de los estratos modelados – a lo largo del contacto del acuífero con el substrato impermeable fue introducida la condición homogénea de Neuman (flujo zero).

Límite norte del área – delimitado en el eje del sinclinal Otuzco, introducida la condición de Neuman

Límite sur del área – delimitado en el eje del anticlinal, introducida la condición de Neuman.

Límite oeste y parcialmente este - introducida la condición de Neuman.

Resto del límite este – introducida la condición de Newton.

En el caso de la condición de borde de Dirichlet, en el sector respectivo del límite fue determinada la altura de presión, correspondiente al nivel de agua subterránea supuesto en el sitio estudiado. En el caso de la condición de borde de Newton, es necesario introducir dos parámetros: para el valor de la presión y para el coeficiente de pasaje. El valor de la presión fue derivado de la profundidad de la pared de borde, el valor del coeficiente de pasaje fue introducido en la extensión desde 0,001 a 0,1 (en 10^5 m/s) de tal manera que la conducta del modelo no fuera en desacuerdo con el modelo conceptual del área.

En el caso de las vecindades compatibles de los elementos, este coeficiente tiene el valor implícito (introducido por el programa NGH) que es igual a 1. Considerando valores de las permeabilidades hidráulicas (introducidos en la extensión desde 1 hasta $10^4 \cdot 10^{-5}$ m/s) y considerando la experiencia con la realización de otros modelos, el valor del coeficiente de pasaje entre elementos 2D y elementos 3D fue aumentado de tres órdenes más que el valor implícito.

5.5.4. Resultados de la simulación

En conformidad con lo que ha sido escrito arriba, se crearon los conjuntos de entrada del modelo (conjunto de la red, conjunto de las propiedades físicas del ambiente, conjunto de las condiciones de borde, conjunto de las vecindades de los elementos) en formatos necesarios. Algunos parámetros de entrada de modelo fueron modificados en el curso de modelaje (permeabilidad del ambiente, condiciones de borde), para que los resultados fuesen en acuerdo con las características del flujo del agua subterránea, observadas en la localidad estudiada.

La repartición del campo de presión es regular y no tiene considerables anomalías (véase en la figura 3).

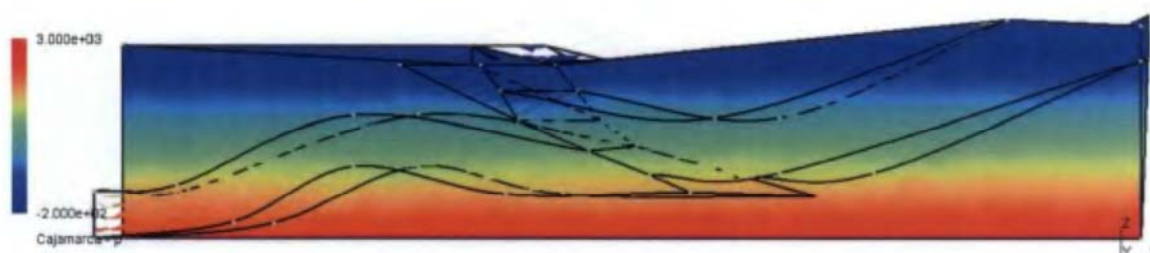


Figura 3: Gráfico de la repartición de los valores de la presión en el área estudiada (los res son en metros de la columna de agua).

La repartición de las alturas piezométricas en el área estudiada se ve en la figura siguiente. En el área de infiltración de la Formación Chimú se ve la baja de la altura piezométrica en función de la profundidad.

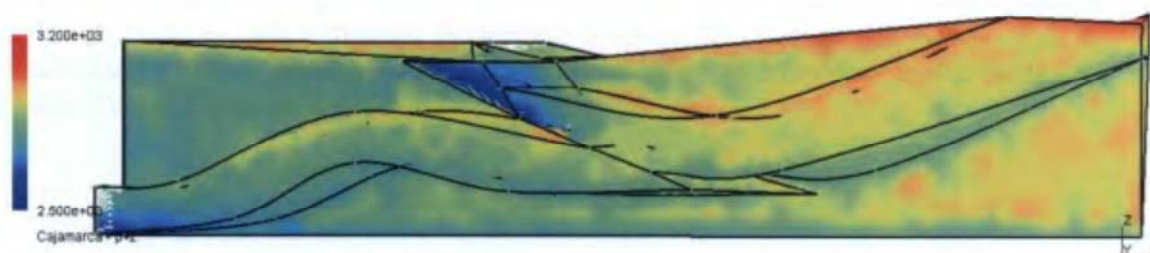


Figura 4: Gráfico de la repartición de los valores de la altura piezométrica en el área estudiada.

En las otras figuras se ven los vectores de la velocidad del flujo en el área estudiada. Los resultados del cálculo muestran la heterogeneidad del flujo de las áreas. Las velocidades más altas se producen en los sitios de la red, donde están localizadas las fuentes Perolitos y Tragadero – hasta 20×10^{-5} m/s. En la figura 5 se ven los vectores de la velocidad del flujo desde 0 hasta 10×10^{-5} m/s.

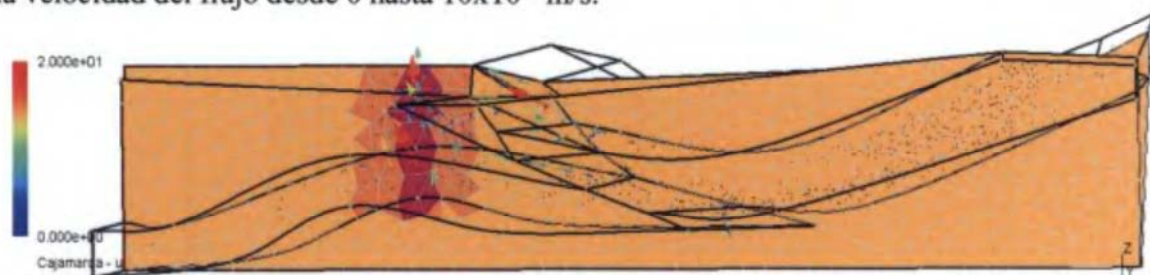


Figura 4: Gráfico de los vectores de flujo en el área modelada (vista de oeste)

En otras figuras se ve el desagüe de las áreas de infiltración por el estrato del acuífero principal a las profundidades más grandes. El estrato modelado de la Formación Farrat no tiene conducta del área de infiltración, la balance es casi regular. En las figuras 5 y 6 se ven los vectores de la velocidad del flujo desde 0 hasta $2 \cdot 10^{-5}$ m/s .

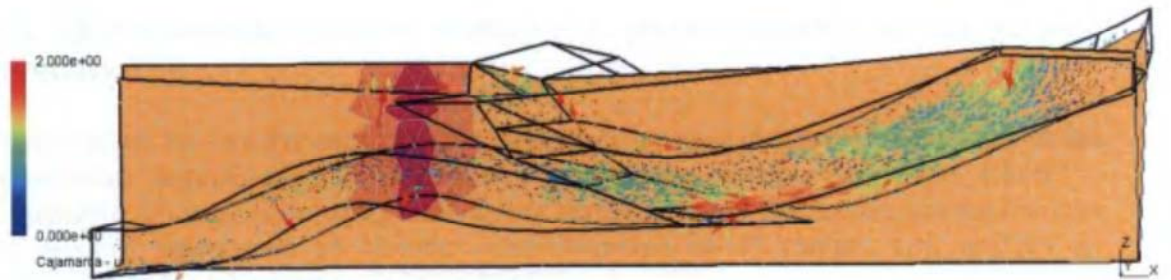


Figura 5: Gráfico de los vectores de flujo en el área modelada (vista de este)

En esta fase de la realización del modelo, los parámetros principales del cálculo de simulación fueron la infiltración total del agua y el caudal de ambas fuentes. La velocidad de agua subterránea en el área de infiltración (Formación Chimú) es hasta 10^7 m/s. Las características numéricas de los resultados del modelo no son presentados, porque es claro que éste tiene que ser precisado, modificar la red en el acuerdo con la superficie del terreno y aprovechar completamente la metodología de la determinación de los datos de entrada a modelo. Solamente después del chequeo del modelo y de la sensibilidad de los resultados a los cambios de los datos de entrada se puede hacer una evaluación calificada de la totalidad del modelo.

5.6. Hidroquímica, química isotópica y geotermometría de las fuentes termales

Para precisar las características físico-químicas de las aguas termales y minerales en las localidades determinadas, se realizaron muestreos en Chivay, Candarave, Churín y Cajamarca. En total se tomaron y analizaron las muestras de 49 fuentes. Las mediciones de algunos parámetros se hicieron directivamente en el campo. Los análisis se realizaron en los laboratorios de INGEMMET y de CGS.

5.6.1. Muestreo, mediciones y análisis

Agua: Las muestras se tomaron en dos tipos de botellas (de HDPE – high density polyethylen). El agua no se filtró y las muestras fueron sin sedimento. En el primer muestrario, el agua no fue acidificada; sirvió para el análisis de los aniones y no-electrolitos. En el segundo muestrario, el agua fue acidificada por el ácido nítrico ultra-puro; sirvió para el análisis de los cationes y los metales traza. La temperatura, conductividad eléctrica y pH se midieron durante la toma de muestra. Las muestras para los análisis isotópicos del carbono fueron tomadas en los muestreros herméticos para evitar impacto del óxido carbónico de atmósfera.

Para el análisis del agua se utilizaron métodos siguientes:

- ISP-OES – induced coupled plasma – optical emission spectrometry
- FAAS – flame atomic adsorption spectrometry
- HPLC – high pressure liquid chromatography
- ISE – ion sensitive electrodes
- Titración acidométrica

La metodología de las mediciones de los isótopos estables $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ - SO_4 en las aguas se describe aquí más detalladamente, ya que no se trata de los trabajos de laboratorio de rutina.

Metodología de la medición de los isótopos del azufre en el sulfato de bario

Sulfato de bario (BaSO_4) ha sido precipitado de las muestras en el ambiente caliente y ácido, por la solución al 10 % del cloruro de bario (BaCl_2). La determinación de la composición isotópica del azufre en las muestras del preparado BaSO_4 fue realizada por la decomposición con la mezcla de V_2O_5 y SiO_2 en 1000°C en el vacuo según Haur et al. (1973) en la modificación según Yanagisawa y Sakai (1983). El gas SO_2 obtenido fue captado en ampollas de transporte. La composición isotópica de él fue medida en el espectrometro de masa Finnigan MAT 251. El error total de la determinación de la composición isotópica del azufre, formulado por medio del valor utilizado por el general $\delta^{34}\text{S}$, es $\pm 0,15\%$. La composición isotópica del azufre es relacionada al estándar internacional CDT.

Metodología de la medición de los isótopos del oxígeno en el sulfato de bario

La reducción del sulfato de bario ha sido realizada por la reacción de la muestra con el carbono puro, en el vacuo, sobre el platino en la temperatura de 1050°C , según la metodología Longinelli y Craig (1967), modificada según Sakai y Krous (1971). El gas

CO₂ obtenido fue captado en ampollas de transporte. La composición isotópica de él fue medida en el espectrometro de masa Finnigan MAT 251. El error total de la determinación de la composición isotópica del carbono $\delta^{18}\text{O}$ es $\pm 0,3$ ‰. La composición isotópica del oxígeno es relacionada al estándar internacional SMOW.

Metodología de la medición de los isótopos del carbono en el carbonato de bario

Carbonato de bario (BaCO₃) ha sido precipitado de las muestras en el ambiente alcalino por la solución al 10 % del cloruro de bario (BaCl₂). La determinación de la composición isotópica del carbono en las muestras del preparado BaCO₃ fue realizada por la decomposición en el 100 % ácido fosfato en 25°C en el vacuo según McCrea (1950). La composición de los isótopos del carbono en el CO₂ libre fue medida en el espectrometro de masa Finnigan MAT 251. El error total de la determinación de la composición isotópica del carbono $\delta^{13}\text{C}$ es $\pm 0,1$ ‰. La composición isotópica del oxígeno es relacionada al estándar internacional PDB.

Gases: El gas escapando de las fuentes fue atrapado por un embudo revuelto bajo del nivel de agua y después fue succionado por una bomba de mano en un saquito de etileno, herméticamente cerrado. Las muestras fueron transportadas por vía aérea a la República Checa y después al laboratorio de CGS.

Mediciones de campo: La temperatura del agua fue medida por un termómetro convencional directamente en la fuente, siempre en la máxima proximidad del afloramiento de la fuente. La conductividad eléctrica y pH fueron medidos por un pH-metro comercial tipo Hanna HI 1208.

5.6.2. Resultados de los análisis químicos del agua

Los resultados de los análisis fueron presentadas en el gráfico de Durov (Durov, 1961). El gráfico expresa no solo la relación de los cationes y aniones principales, sino también la mineralización total (TDS – total dissolved solids) y pH. Para la interpretación genética, se utilizó el gráfico genético de Pačes (1987). La interpretación fue realizada en concordancia con el estándar fijado por la publicación de J.D. Hem (1970). Los datos isotópicos fueron interpretados tomando en consideración procesos posibles de la fraccionación isotópica, y fueron aprovechados para la separación de varios grupos genéticos de aguas. Una parte de la interpretación era la estimación de las temperaturas, en las que se originó la composición química de las aguas, por medio de los termómetros geoquímicos. Los análisis de los componentes disueltos principales confirman que el muestreo documentó cuatro tipos de aguas diferentes. Las diferencias se ven mejor en el gráfico de Durov (Fig. 2).

El grupo de las muestras 1 – 12 de la región Cajamarca (Cajamarca, San Marcos y Cajabamba) tiene la mineralización total (TDS) alrededor de 500 mg/l, entonces es mineralizada en un grado más bajo. Tiene composición química de los aniones de mezcla y la relación (Na+K)/Ca variada, con el contenido de Mg más bajo. La composición promedia de este grupo de aguas es dada por la fórmula

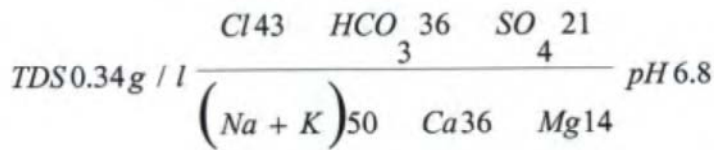


Diagrama de Durov – aguas termales en el Perú

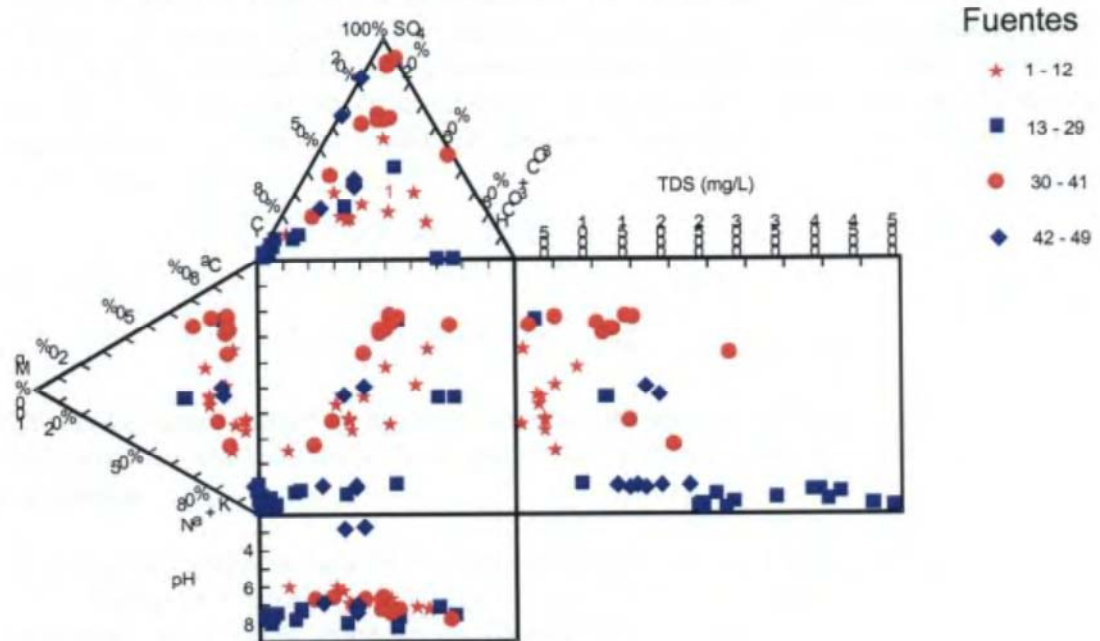
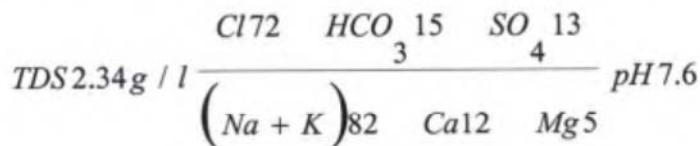


Fig.. 2 Gráfico triangular de S. A. Durov (1961)

El grupo de las muestras 13 - 29 de las áreas Chivay (Arequipa), Yura (Arequipa) y Candarave y alrededores (Tacna) tiene la mineralización más alta, TDS a eso de 2340 mg/l. El tipo químico es sodio-cloruro con el pH a eso de 7,6. La composición es dada por la fórmula



El tercer grupo lo forman las muestras del distrito de Pachangará - prov. Oyón - dpto. de Lima, distrito de Andajes - prov. OOOyón - dpto. de Lima, distrito de Santa Leonor - prov. de Huaral - dpto. de Lima y distrito de Oyón - prov. Oyón - dpto. de Lima. Hay de 30 hasta 41 muestras. Las aguas tienen el volúmen de las sustancias disueltas cerca de 1 g/l y el tipo químico cálcico-sulfato con un pH neutral. El caracter químico de este grupo se expresa por la fórmula

$$TDS 0.98 g / l \frac{SO_4 61 \quad Cl 21 \quad HCO_3 18}{Ca 58 \quad (Na + K) 25 \quad Mg 17} pH 7.0$$

El cuarto grupo lo forman las muestras 42-49 de las áreas Quebrada Azufre y Tacalaya con el volúmen total de las sustancias disueltas promedio de 1.36 g/l. Desde el punto de vista químico se trata del tipo alcalino con el predominio Na y K, de los aniones los cloruros y sulfatos superan los bicarbonatos. Los cloruros y sulfatos se quedan casi siempre en la misma relación. El valor de pH menos de 6 significa las aguas bastante ácidas. En dos muestras, había las concentraciones del aluminio muy altas – hasta 20 mg/l. Si no se trata de un error analítico, en la muestra debían estar las sustancias suspendidas y coloides que contienen aluminio. Esta anomalía merece ser verificada por otro muestreo,

$$TDS 1.36 g / l \frac{Cl 42 \quad SO_4 41 \quad HCO_3 16}{(Na + K + Al) 79 \quad Ca 16 \quad Mg 5} pH 5.7$$

Entre estos cuatro grupos se destacan algunas fuentes que sea tienen la mineralización total diferente, sea se difieren de su grupo por la relación mutua de los componentes principales.

En el segundo grupo se trata de las fuentes 15 (Nº 3 Geysir Infiernillo – Pinchollo), 16 (Nº 4 Baños de Chacapi – Yanque), 19 (Nº 01 Pozo el Tigre) y 20 (Nº 02 Pozo Zamacola), en el tercer grupo de las fuentes 35 (Nº 7 Baños de Tingo – Huacho Sin Pescado), 36 (Nº 8 Aguas Termales de Huancachín) y 38 (Nº 6 Baños de Fierro – Cabracancha), y del cuarto grupo de las fuentes 42 (Nº 01 Tu - 23 Azufre Grande) y 43 (Nº 02 Tu - 12 Azufre Chico). Estas diferencias en la composición química general se deben aclarar por una investigación hidroquímica más detallada.

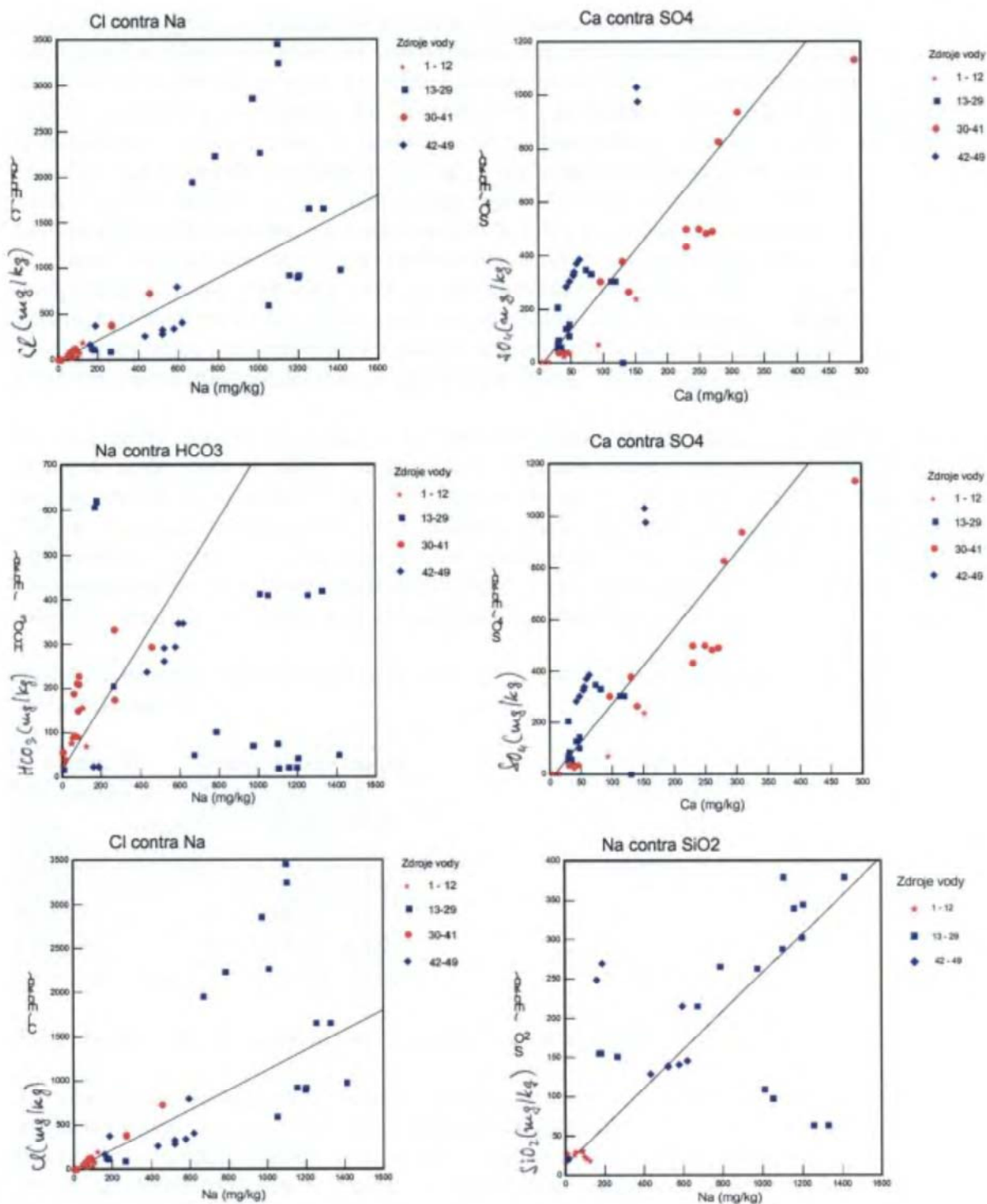


Fig. 3 Correlación entre los principales iones y el dióxido de silicio en las aguas termales

En la Fig. 3 se ven las relaciones entre los iones principales y también SiO₂ disuelto en las unidades absolutas mg/l. El dibujo muestra que las fuentes en el grupo I son desde el

punto químico muy parecidas. Se difieren sólo suavemente por la mineralización total, dado que las relaciones entre las componentes son casi constantes. En el grupo II, la situación es diferente, porque se pueden distinguir dos grupos según el contenido de HCO_3 , como se ve en el gráfico HCO_3 contra Na. Las fuentes en los grupos III y IV son homogéneas como el grupo I, también con la mineralización total moderadamente variable. Las líneas de regresión en la Fig. 3 son caracterizadas por los coeficientes de correlación en la Tab. 3. Los coeficientes bajos ($R^2 < 0.1$) muestran que no existe una correlación unificada entre los componentes X y Y para todas las muestras estudiadas (1 hasta 49). Al contrario, los coeficientes más altos ($R^2 > 0.4$) indican que los componentes correspondientes están en una correlación bastante estrecha sin tomar en consideración el grupo en el que están incluidos. De ello resulta que los pares con los coeficientes bajos son convenientes para el discernimiento entre los grupos particulares y por eso tienen importancia más grande para el estudio de la génesis de ellos.

Se trata de Na, Ca, HCO_3 y SO_4 . La difracción grande de los cloruros y SiO_2 en los gráficos junto con el natrio muestra que cloridos tienen importancia como los indicadores de la salinidad y de la relación a las aguas del mar o las aguas saladas fósiles. La gran extensión de las concentraciones del SiO_2 indica, que las aguas probablemente tuvieron su origen en las condiciones termales diferentes, y así la concentración de SiO_2 tiene importancia para la determinación de la temperatura del origen de estas aguas (véase en el capítulo sobre geotermometría).

Tabla 3 Líneas de regresión con los gráficos Y contra X en la Fig. 3 y sus coeficientes de correlación R^2

Y contra X	Línea de regresión	R^2
Na contra Ca	$Y = 15.0X - 155$	0.083
SO_4 contra HCO_3	$Y = 1.33 X - 20.0$	0.0091
HCO_3 contra Na	$Y = 0.70 X + 17.6$	0.02
SO_4 vs Ca	$Y = 2.94 X - 20.1$	0.62
Cl vs Na	$Y = 1.13 X - 5.89$	0.57
SiO_2 contra Na	$Y = 0.245 X + 13.1$	0.45

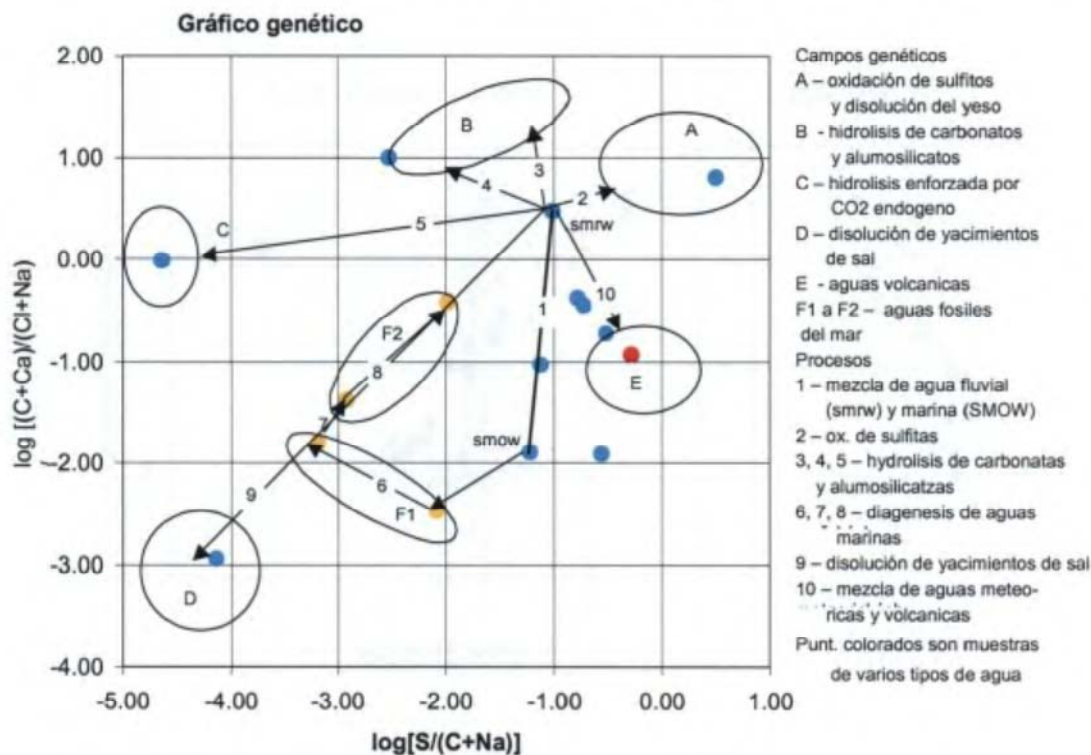
5.6.3. Interpretación genética de los análisis químicos

La mayoría de las aguas minerales y termales tiene su origen en la interacción de las aguas metóricas con las rocas, por la mezcladura de aguas no saladas con aguas del mar o con aguas saladas fósiles, o se trata de aguas que tienen relación a la actividad volcánica (sobre todo por su capacidad de disolver los gases volcánicos, como CO_2 , H_2S , SO_3 y HCl). La reacción principal de agua y roca son la disolución de la sal, por ejemplo de yeso o de la sal mineral de roca, hidrólisis de los minerales que descarga sobre todo Na y Ca, y las reacciones de oxidación-reducción, que descargan sobre todo azufre y con ello también metales pesados de los sulfitos. La mezcla con las aguas del mar y con las aguas saladas fósiles enriquece las aguas minerales y termales sobre todo por cloruros y también – en una relación variada – por Na y Ca. La actividad volcánica

agrega al sistema principalmente el azufre volcánico, pero también el óxido carbónico y el clorhidrato. Estos procesos geoquímicos dan origen a la composición muy variada de aguas minerales y termales. Las variaciones se ven bien en el diagrama genético que ha propuesto Paces (1987) en base a los análisis de aguas de las fuentes genéticamente diferentes. El diagrama genético con las aguas diferentes del mundo entero se ve en la Fig. 4.

Fig. 4 Gráfico genético de aguas minerales y termales (según Paces, 1987)
 C – hidrocarbonatos, S -sulfatos, Cl – cloratos, Ca – calcio, Na – natrio.
 Unidades utilizadas son mmol/l.

En base a los análisis químicos (Tab. 2a) fueron calculados para todas las fuentes los indexes $\log [(C+Ca)/(Cl+Na)]$ y $\log [S/(C+Na)]$ de las concentraciones expresadas

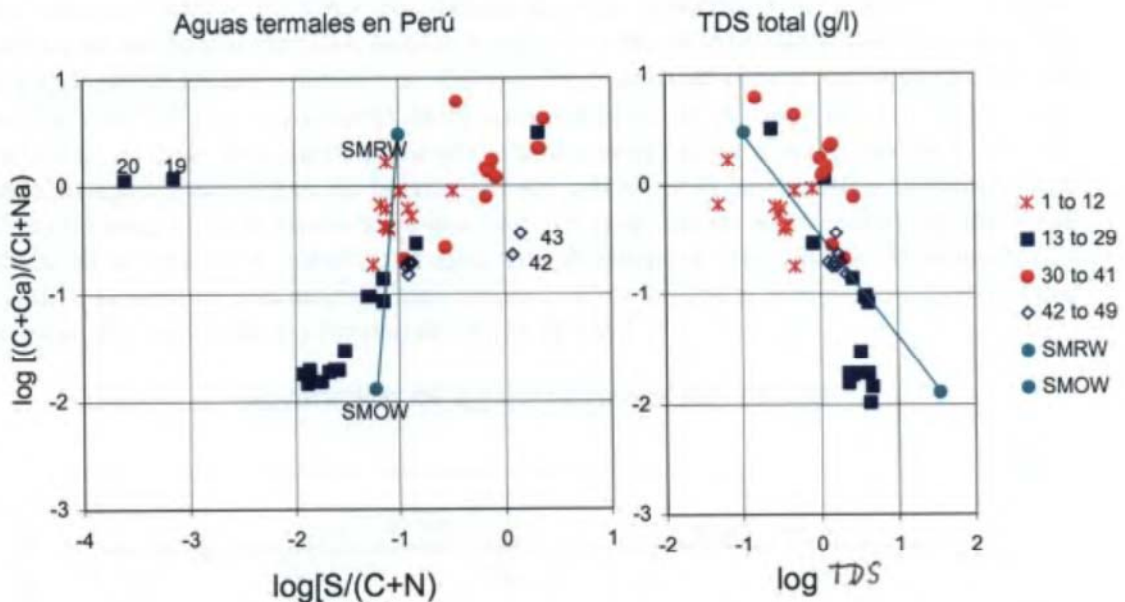


en mmol/l, y fue calculado el logaritmo de la mineralización total (log TDS), TDS es expresado en g/l. Estos valores fueron llevados en el gráfico genético en la Fig. 5. Se puede ver en el gráfico que las aguas estudiadas del Perú cubren una área lineal característica, formada por varios grupos de muestras. Se trata del grupo 13 – 29 (con excepción de las muestras 19 a 20), seguidamente muestras 44 – 49 (muestras 42 y 43 están a parte) y el grupo 30 - 41. A parte está todavía el grupo de Cajamarca, muestras 1 – 12.

Las más concentradas son las muestras del grupo 13 – 29. Estas muestras se encuentran en el área del gráfico, que es característica para las aguas de poros del mar, cambiadas diagenéticamente. Algunas aguas de este grupo están colocadas en la línea de empalme entre el agua de mar estándar (SMOW) y agua fluvial estándar (SMRW), donde se

encuentran también las muestras 44 - 49. Se trata probablemente de las aguas provenientes del mar, diluidas por el agua meteórica de la superficie. Estas aguas tienen cierta similaridad con las aguas meteóricas del grupo de las muestras 31 - 41, las que tienen, no obstante, el contenido de las sustancias más bajo y su origen probable tiene que ver con la disolución del yeso. Las aguas menos mineralizadas son las aguas de la región de Cajamarca. En el gráfico se encuentran colocadas en la línea entre el agua fluvial promedia y el agua marina, pero está más cerca del agua fluvial. Se trata de aguas meteóricas, que circulaban en las cuarcitas poco permeables, así que no podían hidrolizar y oxidar los minerales más reactivos, como son los carbonatos, aluminosilicatos y sulfitas, y no han disuelto las sales como la sal de roca o yeso.

Gráfico genético de las aguas termales del Perú



Obr. 5 Gráfico genético con el gráfico de la mineralización total (TDS) de las aguas termales en Perú. Símbolos y unidades son como en la Fig. 4, TDS es expresado en g/l.

Del gráfico genético resulta que en la mayoría de los casos se trata de aguas meteóricas que disuelven las sales del mar fósiles, existentes en el acuífero, y también el yeso. Donde no hay estos componentes reactivos en la roca, como por ejemplo en las cuarcitas, se originan aguas poco mineralizadas con una composición química mezclada.

En los casos de la precipitación de carbonato calcáreo, las aguas disuelven en la profundidad el óxido carbónico del origen profundo. En caso de descarga de este gas en la superficie, la solución se hace sobresaturada por la calcita y la calcita precipita. Estos

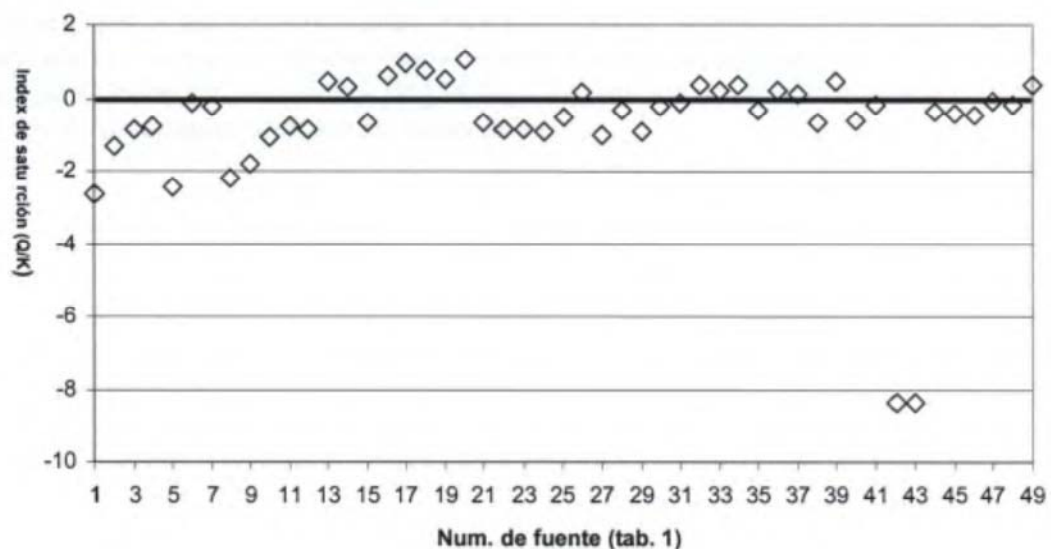
procesos merecen una investigación más detallada, sobre todo el estudio del origen de los gases disueltos.

Además de los componentes principales, se analizaron también los metales y otros elementos de traza, disueltos en el agua. Los resultados de los análisis están en las Tablas 2 b y 2c. La Tab. 2 indica que no todas las muestras estudiadas contienen las cantidades altas de los elementos de traza. En todos los casos, el contenido de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn y Hg era debajo del límite de la detección de los métodos de laboratorio usados. Los contenidos de Fe, Mn, Al, As, B y Sr en la Tab. 2 b son también muy bajos, como en las aguas subterráneas normales. En las muestras 21 – 29 hay concentraciones de arsénico altas. Este fenómeno debe ser estudiado más detalladamente en el futuro.

5.6.4. Equilibrio carbonático

Hay muchas fuentes en Perú que tienen en sus alrededores el sínter de carbonato calcáreo en las formas de pilas, bancos y otras. Por eso es interesante calcular cómo son las aguas saturadas por calcita. Los valores del índice de saturación $\log(Q/K)$, donde $Q = [Ca^{2+} \times CO_3^{2-}]$ es el producto de la concentración de calcio y del ion carbonático (calculado en base a los datos sobre pH y hidrocarburos) en el agua termal y K es un producto equilibrado activo de la solución del calcita en la temperatura existente. Si el índice de saturación es zero o si es casi zero, el agua está en un equilibrio químico con calcita. Si el índice es positivo, el agua es sobresaturada por calcita. Si el índice es negativo, el agua no está saturada por calcita y el mineral va a precipitarse. Los índices de equilibrio para todas las fuentes se ven en la Fig 6.

Saturación de aguas termales por calcita



Obr. 6 Grado de la saturación de las aguas termales por calcita

Fuentes 1 –12 son por la mayoría ligeramente subsaturadas por calcita. Solamente las fuentes 6 y 7 son en equilibrio con calcita. El agua en las fuentes 13 y 21 es ligeramente sobresaturada por calcita, mientras que el agua en 22 y 29 es moderadamente subsaturada. En este grupo, las fuentes 26 y 28 son en equilibrio y lo son probablemente también las fuentes 30 hasta 49. La excepción principal son las fuentes 42 y 43, que son muy subsaturadas por calcita. Se trata de las fuentes con un pH muy bajo. En total se puede decir que las aguas estudiadas en la mayoría son equilibradas o casi equilibradas en calcita.

La precipitación de la calcita se produce por la mayoría de las aguas que son saturadas por el óxido carbónico en el acuífero. Eso las hace ácidas y así ellas hidrolisan fácilmente los minerales con calcio, como carbonatos y aluminosilicatos. Al surgir el agua a la superficie, el CO₂ que en la profundidad tiene una presión parcial alta, se escapa y así se cambia pH, el agua se hace sobresaturada por calcita y este mineral se precipita de la solución.

Para determinar la presión parcial en las muestras de aguas, calculamos esta presión de los datos sobre pH y la temperatura del agua, así como de la concentración de HCO₃⁻. El resultado de la calculación es representado en la Fig. 7. La línea gruesa representa la concentración del CO₂ en la atmósfera superficial (log PCO₂ = -3.5). Se puede ver en el gráfico que solamente las fuentes 15, 24, 29 y 41 tienen la presión parcial de CO₂ igual a la presión de CO₂ en la atmósfera. En todas las otras fuentes, esta presión es más alta. Tal aumento es común en la zona de suelo, donde la presión del óxido carbónico suele ser sumamente más elevada durante la respiración y descomposición de las sustancias orgánicas.

No obstante, las aguas termales no serán muy enriquecidas por el CO₂ biógeno, porque tienen su origen en las profundidades más grandes. Por eso es probable que son saturadas por el gas de profundidad. Este problema es estudiado en el capítulo sobre la composición isotópica del carbono disuelto. En ningún caso la presión del CO₂ no alcanzó el valor de 1 atmósfera (log PCO₂ = 0), así que no se puede suponer que CO₂ escapa de estas aguas termales en forma de gas.

Presión parcial de óxido carbónico en aguas termales

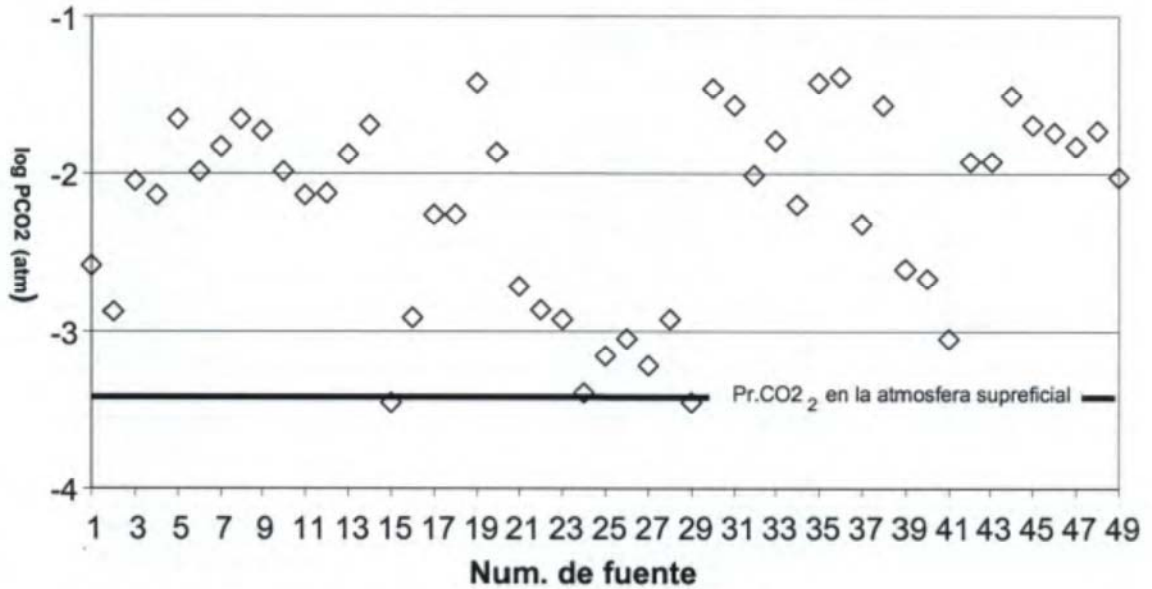


Fig. 7 Presión parcial equilibrio del óxido carbónico en las aguas termales del Perú

5. 6.5. Isótopos estables de carbono, azufre y óxido sulfático en las aguas termales

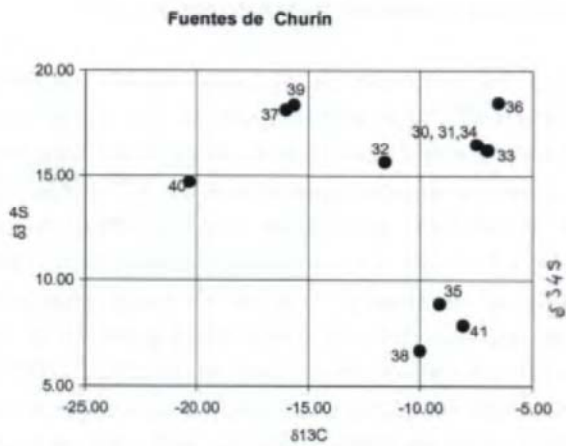
Isótopos estables de algunas sustancias disueltas indican el origen de estas sustancias y los procesos físicos, que tienen impacto a estas sustancias – por ej. evaporación, mezcladura de las sustancias de fuentes diferentes, o también cambios biológicos metabólicos. En la región de Churín, hemos tomado muestras de 11 fuentes para el análisis isotópico del carbono no orgánico disuelto, azufre y óxido sulfático. Los resultados de las mediciones isotópicas están indicados en la Tab. 3. En algunos casos, las mediciones se repitieron por la sospecha que había un error durante la primera medición. En la interpretación gráfica, se usaron los valores de las mediciones repetidas.

Tab. 3. Composición isotópica del carbono y azufre en las aguas termales de la región

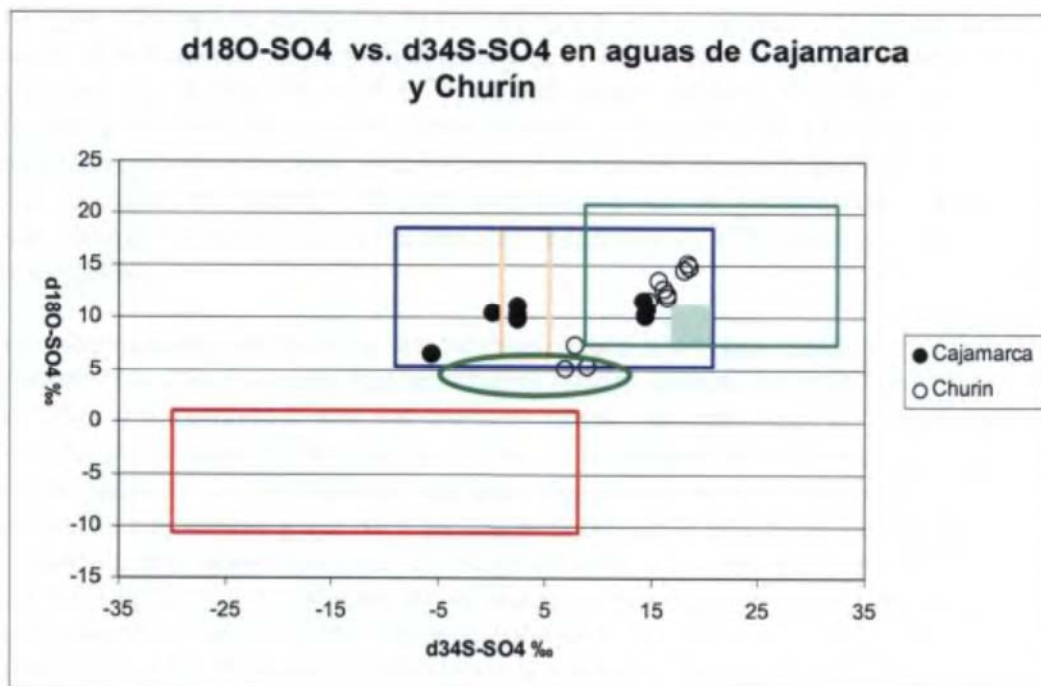
Num.	Fuente de agua termal	d ¹³ C	d ³⁴ S	d ¹⁸ O-SO4	d ¹³ C	d ³⁴ S	d ¹⁸ O-SO4
		‰ (PDB)	‰ (CDT)	‰ (SMOW)	medición repetida		
CAJAMARCA							
1	Yumagual No.1			8.32			
2	Yumagual No.2	-13.15					
3	Tragadero No.1	-8.72	14.53	10.68	-8.71		
4	Tragadero No.2	-8.81	14.32	10.23			
5	La Gramo	-5.36	0.2	10.38			10.6
6	Oscol No.1	-8.15	2.46	9.74			
7	Oscol No.2	-7.93	-5.52	6.48			
8	Chorro No.2	-9.3	2.35	11.07		2.44	
9	Chorro No.3	-9.23	2.39	10.25			
11	Perolitos No.2	-8.57	14.19	11.5			
12	Perolitos No.1	-8.06	14.41	10.18			
CHURÍN							
30	Machay Baños	-7.5	16.48	11.88			
32	Agua de Verruga	-11.55	15.66	13.45	-11.56		
33	Baños de la Juventud	-6.98	16.22	12.77			
34	Pozo de Mamahuarmi-Baños Velo de Novia	-7.48	16.49	12.28			
35	Baños de Tingo - Huacho Sin Pescado	-9.13	8.87	5.24			
36	Aguas Termales de Huancachín	-6.55	18.43	15.2			15.27
37	Baños Termales de Huancahuasi	-15.99	18.12	14.55			
38	Baños de Fierro – Cabracancha	-9.94	6.88	5.02	-9.99	6.66	5.12
39	Baños Medicinales de Picoy	-15.65	18.51	14.76		18.31	
40	Aguas de Viroc	-20.31	14.75	11.53			
41	Aguas Termales de Patón	-8.06	7.87	7.32			

Tab. 7 Característica estadística de la composición isotópica de las aguas termales de Cajamarca y Churín

	d ¹³ C- disolution	d ³⁴ S-SO4	d ¹⁸ O-SO4	d ¹³ C- disolution	d ³⁴ S-SO4	d ¹⁸ O-SO4
	‰	‰	‰	‰	‰	‰
	Cajamarca			Churin		
n	10	9	10	11	11	11
promedio ‰	-8.73	6.59	9.88	-10.83	14.39	11.27
mediano ‰	-8.65	2.46	10.24	-9.13	16.22	12.28
desviación estándar ‰	1.9	7.8	1.5	4.6	4.4	3.7
mínimo ‰	-13.15	-5.52	6.48	-20.31	6.88	5.02
máximo ‰	-5.36	14.53	11.5	-6.55	18.51	15.2
coeficiente de variación %	22	118	15	18	54	13



Obr. 9 Composición isotópica del azufre en los sulfatos y carbono disueltos en las aguas termales de Churín



- Sulfatos de sulfitas oxigenadas
- Sulfatos-suelo
- Precip.atmosféricas
- Evaporitas
- Sulfatos antropógenos
- Aerosoles marinos (sea spray)

Obr. 5 Diferenciación de los sulfatos de las aguas termales con identificación de la composición de los sulfatos de varias fuentes

5.6.6. Composición isotópica del oxígeno en las moléculas de H₂O

Isótopo ¹⁸O en las aguas de precipitaciones atmosféricas está presente más en el agua que surge en la temperatura alta. Eso significa que la composición isotópica del oxígeno en el agua de precipitaciones en las condiciones más calurosas, expresada por el valor $\delta^{18}\text{O}$, es menos negativa que en las precipitaciones en las condiciones más frías en la montaña alta. Los valores, medidos en Chile de Norte, son similares en cuanto a las condiciones, como en el Perú. En las partes bajas, $\delta^{18}\text{O}$ en el agua de precipitaciones es desde -10 hasta -6 ‰, mientras que en las precipitaciones tomadas en la altura grande sobre el nivel del mar es desde -18 hasta -15 ‰ (Aravena et al., 1999). Datos en la Tab. 3 y en la Fig. 8 demuestran que el agua en las fuentes termales en la región de Churín tiene composición isotópica del oxígeno $\delta^{18}\text{O}$ -16,2 hasta -12,0 ‰. Eso significa que elle infiltró en alturas diferentes. La más baja fue la infiltración en la fuente 35 (Nº 7 Baños de Tingo - Huacho Sin Pescado) y la más alta en las fuentes 39 (Nº 10 Baños Medicinales de Picoy), 40(Nº 11 Aguas de Viroc) y 41(Nº 12 Aguas Termales de Patón).

El agua infiltrada se enriquece de los sulfatos y hidrocarbonatos de varias fuentes. Eso se ve en la posición de los puntos en la Fig. 9. La fuentes 35, 38 y 41 forman un grupo genético, las fuentes 30 - 34 y 36 un otro grupo genético. Las fuentes 37, 39 y 41 forman probablemente el tercer grupo genético. Las fuentes de CO₂ y de los sulfatos no se pueden aclarar por datos insuficientes. Los valores menos negativos de $\delta^{13}\text{C}$ indican que el agua ha disuelto el CO₂ proveniente de la profundidad, probablemente magmático. Al contrario, los valores muy negativos de $\delta^{13}\text{C}$ indican el origen biógeno del carbono.

La composición isotópica de los sulfatos puede tener una historia más complicada, porque el azufre fracciona isotópicamente mucho durante las reacciones bioquímicas. La Fig. 10 demuestra que los sulfatos tienen en este caso un origen más fácil, inorgánico. El valor $\delta^{34}\text{S}$ a eso de 20 ‰ se encuentra en el agua marina. Del mismo modo también la composición isotópica del azufre en los avaporitas sulfáticos. Al contrario, los valores a eso de 5 ‰ son medidos en el azufre en los basaltos y en una dispersión más grande también en los granitoides y rocas metamórficas. Significa que las fuentes 35, 38 y 41, el agua de las cuales se ha infiltrado en una altura más elevada, probablemente han disuelto los aluminosilicatos que forman la roca. El agua de las fuentes 36, 37 y 39 ganó los sulfatos por la disolución del yeso del origen del mar.

La composición isotópica del oxígeno en las moléculas de H₂O en las aguas termales depende de la temperatura, en la que el agua precipitó del vapor, de la fraccionación isotópica durante la evaporación del agua y de la interacción entre agua y las rocas. Si el agua no tiene una temperatura alta y no evapora, la composición corresponde a la composición promedio del oxígeno en las precipitaciones en la temperatura del origen de las precipitaciones. Eso quiere decir que en las regiones montañosas, la composición isotópica del oxígeno depende usualmente de la altitud sobre el nivel del mar de la infiltración del agua de precipitaciones. Así es, porque las precipitaciones en altitudes

grandes se crean en las temperaturas relativamente bajas, y a ellas corresponden los valores negativos de $d^{18}\text{O-H}_2\text{O}$.

Tab 8 Composición isotópica del oxígeno en moléculas de H_2O en aguas termales

	Nombre de fuente	Altitud msnm	$d^{18}\text{O-H}_2\text{O}\%$ SMOW
Cajamarca			
1	Yumagual No.1	2609	-9.72
2	Yumagual No.2	2611	-9.77
3	Tragadero No.1	2695	-11.35
4	Tragadero No.2	2695	-11.42
5	La Gramo	2006	-10.65
6	Oscol No.1	2027	-10.59
7	Oscol No.2	2026	-10.63
8	Chorro No.2	2800	-10.98
9	Chorro No.3	2800	-11.22
11	Perolitos No.2	2689	-11.43
12	Perolitos No.1	2689	-11.28
Churín			
30	Nº 1 Machay Baños	2322	
31	Nº 2 Nahuin Baños	2322	-14.6
32	Nº 3 Agua de Verruga -Churín	2271	-14.0
33	Nº 4 Baños de la Juventud -Churín	2262	-14.0
34	Nº 5 Pozo de Mamahuarmi-Baños Velo de Novia	2257	-14.1
35	Nº 7 Baños de Tingo – Huacho Sin Pescado	2153?	-12.0
36	Nº 8 Aguas Termales de Huancachín	2750	-13.0
37	Nº 9 Baños Termales de Huancahuasi	3500	-15.0
38	Nº 6 Baños de Fierro - Cabracancha	2671?	-13.0
39	Nº 10 Baños Medicinales de Picoy	3500	-16.2
40	Nº 11 Aguas de Viruc	3210	-15.7
41	Nº 12 Aguas Termales de Patón	4000	-16.0

5.6.7. Composición química e isotópica del gas que escapa de algunas aguas termales

Muestras de las burbujas de gas fueron tomadas de algunas fuentes en los baños de Cajamarca. En las muestras, se estudió el contenido de CO_2 y CH_4 . El N_2 residual fue calculado como la diferencia, porque los gases no contuvieron otros componentes de gas que pudieran ser averiguados por el método analítico utilizado. En el CO_2 y CH_4 gaseosos se determinó el contenido isotópico del carbono. Los resultados se ven en la tabla 9.

Tab. 9 Composición química e isotópica de los gases en algunas funetes de aguas termales

	Muestra	CH ₄ conc. %	CO ₂ conc. %	N ₂ conc. %	d13C-CH ₄ ‰	d13C-CO ₂ ‰
CAJAMARCA	Yumagual No.1	3.33	8.28	88.39	-29.1	-11.1
	Yumagual No.2	3.41	8.63	87.96	-34.3	-8.1
	Perolitos No.2	3.57	5.66	90.77	-30.8	-13.2
	Perolitos No.1	3.62	8.66	87.72	-30.1	-11.7
	La Gramo	0.01	19.41	80.58	-8.1	-5.4
CHURÍN	Huancachín	0.20	45.46	54.34	11.9 ?	-5.8
	B7 Tingo	0.08	59.10	40.82	nezměřen	-10.5
	B6 Fierro	0.12	36.39	63.49	47.5 ?	-10.6

Se ve en la Tabla 6 y en las Fig. 6 y 7, que existe una gran diferencia de la composición del gas en las fuentes de los baños Cajamarca y Churín. Mientras que en las fuentes Llumagual, Perolitos a La Gramo cerca de Cajamarca se trata de un gas nitrogenado con un pequeño contenido del óxido carbónico y metano, en tres fuentes de los baños de Churín se trata del gas carbonoso con una porción alta del nitrógeno y con solamente trazas del metano.

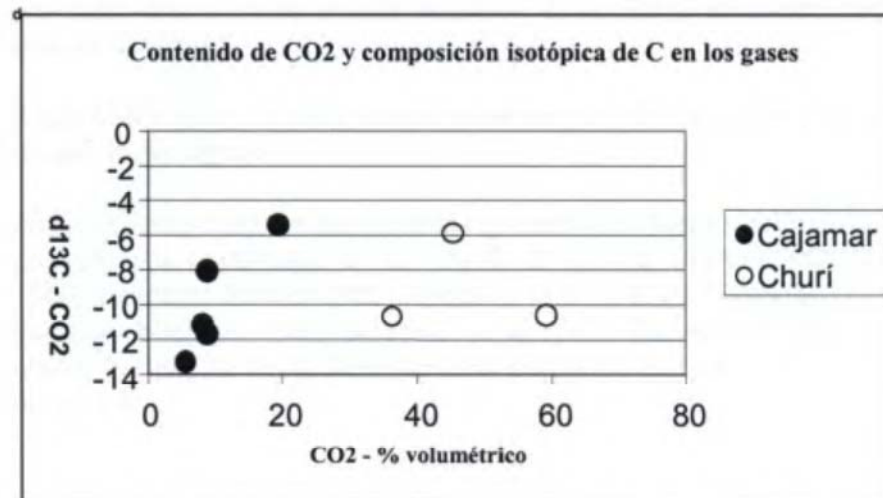


Fig. 6 Contenido del óxido carbónico y su composición isotópica en carbono

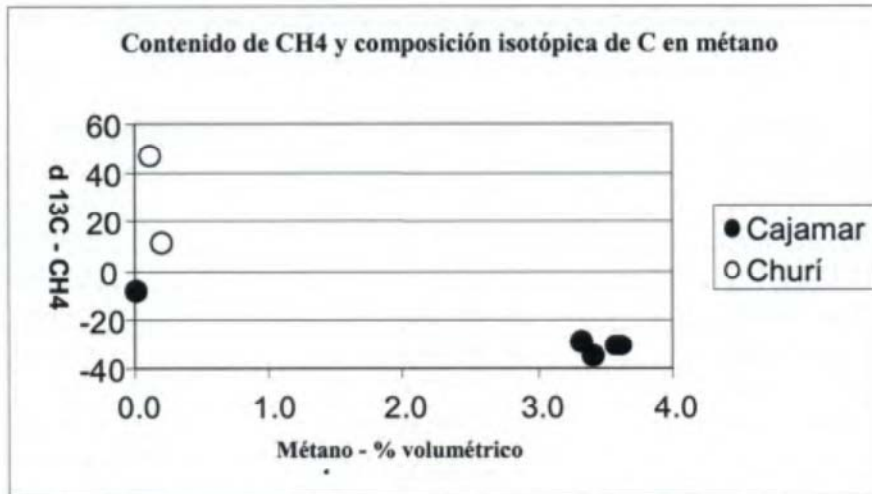


Fig. 7 Contenido de metano y su composición isotópica de carbono

En la composición del carbono en el CO₂ de las dos localidades, no hay una diferencia estadísticamente importante. En el metano, la composición isotópica del carbono es dependiente de su concentración sin tomar en consideración la localidad. En la fuente La Gramo hay una cantidad de traza de metano con un carbono más pesado (es decir con el valor menos negativo d₁₃C-CH₄) en forma análoga como en las fuentes de Churín.

5.6.8. Utilización de los geotermómetros para la estimación de la temperatura del origen de las aguas

En la investigación de los sistemas geotermales fueron definidos varios termómetros geoquímicos (Arnórsson et al., 1983, D'Amore, (editor), 1991, D'Amore, Panichi, 1980, Fournier, Rowe, 1966, Fournier, Potter, 1979, Fournier, Truesdell, 1973, 1974, Fouillac, Michard, 1981, Michard, et al. 1981, Paces, 1975, Rimstidt, Barnes, 1980 y otros). La lista de los geotermómetros utilizados en este estudio se observa en la Tabla número 4.

Tab. 4. Lista de los geotermómetros utilizados en el estudio de las aguas termales en el Perú

Geotermómetro	Condiciones de vigencia	Autores
Quarzo 1		Fournier, Rowe, 1966
Quarzo 2		Schoelle, Schoeller, 1976
Quarzo 3		Kroopnick et al., 1980
Quarzo 4		Mazzor et al., 1980
Quarzo 5	180-300 °C	Amorsson et al., 1983
Quarzo 6	180-300 °C	Amorsson et al., 1983
Quarzo 7	0-250 °C	D'Amore, Panichi, 1987
Quarzo 8	0-250 °C	D'Amore, Panichi, 1987
SiO ₂ 1 amorfo	<200 °C	Fournier, Truesdell, 1974
SiO ₂ 2 amorfo	25-300 °C	Marschall, 1980
Calcedonia 1		Fournier, Rowe, 1966
Calcedonia 2		Mazzor et al., 1980
Calcedonia 3	25-180 °C	Amorsson et al., 1983
Calcedonia 4	25-180 °C	Amorsson et al., 1983
Calcedonia 5	0-250 °C	D'Amore, Panichi, 1987
a-christobalita 1		Rimstidt, Barnes, 1980
a-christobalita 2	0-250 °C	D'Amore, Panichi, 1987
b-christobalita 1		Rimstidt, Barnes, 1980
b-christobalita 2	0-250 °C	D'Amore, Panichi, 1987
Na-K 1		Michard, 1979
Na-K 2	25-250 °C	Amorsson et al., 1983
Na-K 3		Giggenbach et al., 1983
Na-K-Ca 1	$Ca^{(1/2)}/Na > 1$ and $t < 100$	Fournier Truesdell, 1973
Na-K-Ca 2	$Ca^{(1/2)}/Na < 1$ and $t(3/4) < 100$	Fournier Truesdell, 1974
Na-K-Ca 3	$t < 75^{\circ}C$	Paces, 1975
Mg -Na-K-Ca 1	$R = 0,5$ to 5	Fournier, Potter, 1979
Mg -Na-K-Ca 2	$R = 5$ to 50	Fournier, Potter, 1980
Mg-Li		Kharaka et al., 1985
K-Mg	50-300 °C	Giggenbach et al., 1983
Na-Li 1	$Cl < 0,3 \text{ Mol/L}$	Fouillac, Michard, 1979
Na-Li 2	$Cl > 0,3 \text{ Mol/L}$	Fouillac, Michard, 1980
Na-Li 3	$Cl > 0,3 \text{ Mol/L}$	Amorsson et al., 1985
Na-Li 4	$Cl > 0,3 \text{ Mol/L}$	Kharaka, Mariner, 1989
Na-Rb		Amorsson, Svavarsson, 1985
Geotermómetro de gas		D'Amore, Panichi, 1980

Estos termómetros sirven para la estimación de las temperaturas más altas, en las que tuvo su origen la composición del agua termal en la profundidad. No obstante, la utilización de ellas no es universal. Depende del tipo del sistema geotermal, en qué límite divisorio de las temperaturas transcurre el origen de la composición química, si tiene o no tiene lugar el enfriamiento adiabático durante la subida del agua y vapor (es

decir si durante la subida del fluido el calor se escapa a la roca circundante o si el calor se queda en el fluido), si el agua contiene CO₂ y con qué rocas entra en reacción. Hemos utilizado todos los geotermómetros conocidos y en base a ellos hemos calculado temperaturas de la creación de la composición de las aguas termales. Los resultados están resumidos en las tablas No 4a a 4b.

Tab. 5a Estimación de las temperaturas del origen de las aguas termales en el Perú según los termómetros utilizando el principio del equilibrio químico entre la concentración de SiO₂ en el agua y modificaciones minerales de SiO₂.

		Quarzo	Quarzo	Calcedonia	Calcedonia	β-Christobalita	α-Christobalita
		min	max	min	max	min	max
		°C					
1	Nº 1 Yumagual Fuente	62	79	20	53	-19	25
2	Nº 2 Yumagual Mezcla	47	67	7	37	-32	12
3	Nº 3 El Tragadero M Nº 01	68	84	25	59	-15	31
4	Nº 4 El Tragadero M Nº 02	68	85	25	59	-15	31
5	Nº 5 Aguas Calientes Fuente Nº 01	47	66	7	37	-33	11
6	Nº 6 Osoel Fuente Nº 1	57	75	16	47	-24	20
7	Nº 7 Osoel Fuente Nº 2	52	71	11	42	-28	16
8	Nº 8 El Chorro Fuente Nº 1	68	84	25	58	-15	30
9	Nº 9 El Chorro Fuente Nº 2	62	79	20	53	-20	25
10	Nº 10 El Chorro Mezcla De Fuente	67	83	24	58	-16	30
11	Nº 11 El Perolito Fuente Nº 1	69	85	26	60	-14	32
12	Nº 12 El Perolito Fuente Nº 2	69	85	26	60	-14	31
Promedio		61	79	20	52	-20	25
13	Nº 01 La Calera. Fuente Nº 1	103	118	56	96	16	63
14	Nº 2 La Calera. Fuente Nº 2	103	117	56	95	15	63
15	Nº 3 Geysir Infiernillo – Pinchollo	51	70	11	41	-29	15
16	Nº 4 Baños de Chacapi – Yanque	152	166	102	152	62	112
17	Nº 5 Hotel Colca Lodge Nº 1 Yanque	127	140	77	122	37	86
18	Nº 06 Hotel Colca Lodge Nº 2 Yanque	134	146	83	129	43	92
19	Nº 01 Pozo el Tigre	154	168	103	154	64	114
20	Nº 02 Pozo Zamacola	154	168	103	154	64	114
21	Nº 01 Manantial Nº 1 Margen derecha	189	210	145	205	108	159
22	Nº 02 Calientes Margen Izquierda	207	232	166	233	131	183
23	Nº 03 Manantial Nivel Superior Margen Izquierda	201	225	159	224	123	174
24	Nº 04 Cuatro ojos Margen derecha	200	223	157	222	122	173
25	Nº 5 Un Ojo Margen derecha	172	189	124	180	86	136
26	Nº 06 Manantial Geysir Nº 1 Margen Izquierda	184	204	139	198	101	152
27	Nº 07 Manantial Agua Hirviente Margen Izquierda	192	214	148	210	112	163
28	Nº 08 Manantial Geysir Nº 02	184	204	138	197	101	152

29 Muestra N° 09 Manantial RC-44	207	232	166	233	131	183
Promedio	160	178	114	167	76	125
30 N° 1 Machay Baños	0	0	0	0	0	0
31 N° 2 Nahuin Baños	70	86	27	61	-13	32
32 N° 3 Agua de Verruga -Churín	65	82	23	56	-17	28
33 N° 4 Baños de la Juventud -Churín	68	85	26	59	-14	31
N° 5 Pozo de Mamahuarmi-Baños						
34 Velo de Novia-Churín	69	85	26	59	-14	31
35 N° 7 Baños de Tingo	107	121	59	100	19	67
N° 8 Aguas Termales de						
36 Huancachin	84	99	39	75	-1	45
N° 9 Baños Termales de						
37 Huancahuasi	86	102	42	78	1	48
N° 6 Baños de Fierro -						
38 Cabracancho	99	114	52	91	12	59
39 N° 10 Baños Medicinales de Picoy	87	103	42	79	2	48
40 N° 11 Aguas de Viruc	88	104	43	80	3	49
41 N° 12 Aguas Termales de Patón	0	0	0	0	0	0
Promedio	69	82	32	62	-2	37
42 N° 01 Tu - 23 Azufre Grande	185	206	140	200	103	154
43 N° 02 Tu - 12 Azufre Chico	180	200	134	192	96	147
N° 01 Manantial Tacalaya N° 1						
44 Margen izquierda	172	189	124	179	86	136
N° 02 Manantial Tacalaya N° 2						
45 Margen derecha	148	161	97	145	57	107
N° 03 Fuente N° 03 Margen						
46 derecha	144	156	92	140	52	102
N° 04 Fuente N° 05 Margen						
47 derecha	149	162	97	146	58	107
N° 05 Fuente N° 07 Margen						
48 izquierda	148	161	96	145	57	106
N° 06 Fuente N° 09 Margen						
49 izquierda	150	164	99	149	60	109
Promedio	160	175	110	162	71	121

Tab. 4b Estimación de las temperaturas del origen de las aguas termales en el Perú según los termómetros utilizando el principio del equilibrio químico entre la concentración de Na, K, Ca, Mg a Li en el agua y minerales de rocas que contienen estos elementos.

		Na-K min	Na-K max	Na-K- Ca min	Na-K- Ca max	Na-K- Ca- CO ₂	Corección a Mg min	Corección a Mg max	Na-Li min	Na-Li max
°C										
1	N° 1 Yumagual Fuente	265	322	47	186	6	60	170	186	461
2	N° 2 Yumagual Mezcla	266	325	41	183	6	49	122	174	436
3	N° 3 El Tragadero M N° 01	192	197	60	155	10	34	178	162	410
4	N° 4 El Tragadero M N° 02	187	189	59	152	10	35	177	156	397
5	N° 5 Aguas Calientes Fuente N° 01	199	208	71	163	8	20	161	237	572
6	N° 6 Osoal Fuente N° 1	136	152	45	127	-1	46	113	81	253
7	N° 7 Osoal Fuente N° 2	139	154	48	130	-1	11	88	80	251
8	N° 8 El Chorro Fuente N° 1	210	227	59	165	0	55	110	163	413

Estudio de factibilidad de las construcciones balneológicas en las localidades Cajamarca y Churín

9	Nº 9 El Chorro Fuente Nº 2	217	238	59	168	3	54	106	164	415
10	Nº 10 El Chorro Mezcla De Fuente	214	233	60	167	9	55	108	166	420
11	Nº 11 El Perolito Fuente Nº 1	192	198	61	156	12	34	179	163	412
12	Nº 12 El Perolito Fuente Nº 2	192	197	60	155	11	33	179	166	419
Promedio		201	220	56	159	6	41	141	158	405
13	Nº 01 La Calera. Fuente Nº 1	147	160	103	152	38	5	145	107	302
14	Nº 2 La Calera. Fuente Nº 2	144	157	103	151	35	-1	143	127	341
15	Nº 3 Geysir Infiernillo - Pinchollo	309	409	59	211	29	-1	77	0	0
16	Nº 4 Baños de Chacapi - Yanque	154	164	70	144	30	-2	129	184	457
17	Nº 5 Hotel Colca Lodge Nº 1 Yanque	164	171	105	160	49	-15	146	194	478
18	Nº 06 Hotel Colca Lodge Nº 2 Yanque	169	175	107	163	46	-14	153	198	486
19	Nº 01 Pozo el Tigre	195	203	77	164	14	4	81	102	291
20	Nº 02 Pozo Zamacola	193	198	76	162	20	0	80	101	291
21	Nº 01 Manantial Nº 1 Margen derecha	196	204	122	180	65	-39	183	249	601
22	Nº 02 Calientes Margen Izquierda	193	199	127	180	71	-85	212	237	572
23	Nº 03 Manantial Nivel Superior Margen Izquierda	202	213	128	186	73	-44	206	249	601
24	Nº 04 Cuatro ojos Margen derecha	182	184	115	171	73	-139	261	69	232
25	Nº 5 Un Ojo Margen derecha	142	156	86	144	45	-33	146	236	572
26	Nº 06 Manantial Geysir Nº 1 Margen Izquierda	167	173	99	159	54	-22	131	236	570
27	Nº 07 Manantial Agua Hirviente Margen Izquierda	143	157	100	149	57	-90	185	240	581
28	Nº 08 Manantial Geysir Nº 02	155	165	100	155	52	-27	135	242	585
29	Muestra Nº 09 Manantial RC-44	123	143	89	137	52	-335	975	240	580
Promedio		175	190	98	163	47	-49	199	177	444
30	Nº 1 Machay Baños	210	226	68	168	7	26	96	303	733
31	Nº 2 Nahuin Baños	220	242	73	175	12	26	98	301	727
32	Nº 3 Agua de Verruga -Churín	220	242	66	172	14	16	85	295	712
33	Nº 4 Baños de la Juventud -Churín	215	234	69	171	13	30	92	292	705
34	Nº 5 Pozo de Mamahuarmi-Baños Velo de Novia-Churín	199	209	63	161	14	31	92	280	676
35	Nº 7 Baños de Tingo - Huacho Sin Pescado	241	278	122	206	42	-3	176	327	795
36	Nº 8 Aguas Termales de Huancachin	225	251	101	189	28	14	115	293	708
37	Nº 9 Baños Termales de Huancahuasi	212	229	63	167	15	-6	77	184	455
38	Nº 6 Baños de Fierro - Cabracancha	236	270	106	197	33	9	137	308	746
39	Nº 10 Baños Medicinales de Picoy	218	239	68	172	23	0	79	183	454
40	Nº 11 Aguas de Viruc	330	456	74	229	29	-42	63	280	674
41	Nº 12 Aguas Termales de Patón	304	400	47	203	14	-89	105	196	482
Promedio		236	273	77	184	20	1	101	270	656
42	Nº 01 Tu - 23 Azufre Grande	219	240	89	181	-12	36	129	174	434
43	Nº 02 Tu - 12 Azufre Chico	207	221	81	171	-17	43	118	159	404
44	Nº 01 Manantial Tacalaya Nº 1 Margen izquierda	170	175	94	159	26	5	161	156	397
45	Nº 02 Manantial Tacalaya Nº 2 Margen derecha	163	171	88	154	25	6	152	142	369
46	Nº 03 Fuente Nº 03 Margen derecha	170	176	87	156	24	5	155	154	394

47	N° 04 Fuente N° 05 Margen derecha	159	168	89	153	28	3	149	145	376
48	N° 05 Fuente N° 07 Margen izquierda	171	176	91	158	28	4	157	150	386
49	N° 06 Fuente N° 09 Margen izquierda	166	172	93	157	34	1	153	155	395
Promedio		178	187	89	161	17	13	147	154	395

Como hasta ahora no conocemos exactamente el origen y las condiciones geotermales en cada grupo de las fuentes, no podemos decidir exactamente cuál de los termómetros proporciona los resultados correctos. En las aguas con el contenido alto del ácido silicato (fuentes No. 13, 14, 16-29 a 42-49) el indicador más seguro de la temperatura es probablemente el equilibrio con la calcedonia, eventualmente con cuarzo (en caso de que la temperatura resulta ser más alta de 150° C). Para estas muestras, las temperaturas del origen de la composición química son desde 110 hasta 178 °C. Para las aguas con contenido del cuarzo más bajo, es decir las que son representadas por muestras No. 1-12, 15 y 30-41, las probables temperaturas de origen son indicadas por los valores mínimo, determinados por el termómetro Na-K-Ca. Es decir que tienen temperaturas desde 41 °C hasta 122 °C. Los valores medios son entre 56 y 77° C. Los otros termómetros geoquímicos dan valores extremos y no reales – desde las temperaturas negativas hasta las de más de 700 °C, y por eso no son utilizables en las condiciones del Perú.

Se observa que las temperaturas de las aguas con el contenido alto del silicio (fuentes No. 13, 14, 16-29 y 42-49) crean la composición química en las profundidades más grandes, donde la temperatura de las rocas es alta, y por eso tienen en el sitio del origen la temperatura más alta que en la superficie. Por el contrario las aguas con el contenido del silicio más bajo (fuentes No. 1-12, 15 a 30-41) circulan en las profundidades menos grandes y la temperatura de ellas es solamente un poco más alta que la temperatura en la superficie. La estimación más exacta del origen de estas aguas solo se podría hacer en un estudio geológico, geofísico y geoquímico más detallado.

5.6.9. Discusión de los resultados

En las regiones de muestreo se averiguan 4 tipos químicos de aguas termales. El primer grupo es formado por las aguas poco mineralizadas (promedio de TDS es 0,34 g/l). Su composición es mixta con el contenido bajo del magnesio. Estas aguas se encuentran en los alrededores de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. El segundo grupo lo forman las aguas con la mineralización más alta (promedio de TDS es 2.3 g/l). Son las aguas termales saladas con un predominio considerable del componente Na-Cl. Estas aguas afloran en las regiones de Chivay, Yura y Candarave. El tercer grupo tiene la composición química diferente. Son aguas con la preponderancia del componente Ca-SO₄, con la mineralización media (promedio de TDS es 0.98 g/l). El cuarto tipo son aguas del área Quebrada Azufre y Tacalaya. Tienen la mineralización elevada (promedio de TDS es 1.4 g/l). Entre los cationes predominan alcalias, mientras que entre los aniones los cloridas y sulfatos están en equilibrio. Los casos, cuando hay una anomalía dentro de uno u otro grupo son raros.

La composición isotópica del oxígeno en las moléculas de agua en las regiones de Cajamarca y Churín muestra, que el agua tiene su origen en las precipitaciones atmosféricas, que se forman en varias alturas y así tienen varias temperaturas. Estas aguas infiltran a las profundidades diversas y en las rocas y en estas condiciones disuelven minerales. Las aguas en las fuentes de las regiones Chivay y Candarave (No 13-29, Tab. 1) se enriquecen probablemente de sales fósiles o se mezclan con aguas saladas fósiles. Las aguas de la región de Churín probablemente circularon en los sedimentos que fueron influidos por la evaporación intensiva y contienen el yeso que se disuelve en agua. Es interesante el transcurso lineal de la mayoría de los puntos en el gráfico genético (Fig. 3) con la excepción de las aguas de Cajamarca. El transcurso lineal desde las aguas del tipo Na-Cl hasta las aguas de tipo Ca-SO₄ indica que se puede producir la mezcla de estas aguas y que pueden originar tipos de transición.

La composición isotópica del oxígeno en las moléculas del agua tiene una escala relativamente larga desde -9.7 hasta -16.2 ‰ SMOW. Eso significa que el agua de las precipitaciones que satura las fuentes, ha infiltrado en diferentes altitudes sobre el nivel del mar, o que una parte del agua evaporó y en el resto se mantuvo el oxígeno isotópicamente más pesado. La tercera posibilidad es que el agua se enriqueció por el oxígeno más pesado al circular en la temperatura alta.

Como existe una correlación lineal entre la altitud sobre el nivel del mar y la composición isotópica del oxígeno, es claro que la fuente más probable de aguas termales son las precipitaciones atmosféricas en su cuenca.

Las aguas estudiadas son todas termales. No obstante, la temperatura que se puede medir en la superficie no dice nada de la temperatura en la que las aguas circulan en la profundidad y disuelven la roca. La termometría geoquímica mostró que las temperaturas probables del origen de la composición química de las aguas con alto contenido del ácido silícico van desde 110 hasta 178 °C, en cuanto a las aguas con el contenido del ácido silícico más bajo son desde 41 hasta 122 °C, con el promedio de las temperaturas entre 56 y 77 °C. Los valores de las temperaturas calculadas tienen solo carácter de orientación, porque fueron calculadas en base a la condición de que el agua termal en la profundidad está en equilibrio químico con varias formas cristalinas de SiO₂ y con varios alumosilicados. En la actualidad no tenemos datos suficientes sobre la composición mineralógica de las rocas en la profundidad, donde origina la composición química de las aguas, y por eso las estimaciones geoquímicas de las temperaturas no pueden ser completamente precisas. Desde el punto de vista genético son muy importantes las informaciones sobre los isótopos estables del carbono y del azufre en las aguas.

Hay fuentes termales de las que escapa el gas. En la región de Cajamarca se trata del nitrógeno con pequeño porcentaje del óxido carbónico y metano. En la región de Churín, el gas de nitrógeno es enriquecido por el óxido carbónico y contiene solamente trazas del metano. Se trata entonces de dos gases que son diferentes desde el punto de vista genético. Su origen se puede examinar en base a la composición isotópica del carbono. La composición isotópica del carbono en el CO₂ disuelto en las aguas termales

de la región de Cajamarca se caracteriza por el promedio de $-8,73 \pm 1,9$ ‰, mientras que en la región de Churín el promedio es más negativo ($-10,83 \pm 4,6$) y tiene una extensión más grande – entre el mínimo $-20,31$ y máximo $-6,55$ ‰. Estos valores indican que CO_2 no tiene su origen en las calizas de mar, que tienen valor $\delta^{13}\text{C} \sim 0$ ‰. Los valores muy negativos alrededor de -20 ‰ son característicos para el carbono del origen biogeno, y los valores alrededor de -4 ‰ son característicos para CO_2 del origen del manto, magmático. La composición isotópica del carbono en CO_2 en el aire es aproximadamente -7 ‰. Los análisis isotópicos de las aguas termales del Perú indican, que CO_2 tiene su origen en el aire y una parte recibe el CO_2 del suelo, cuyo origen es biogeno. Es improbable que sea el gas magmático. Con esta explicación corresponde también la composición isotópica promedio del carbono en el gaseoso CO_2 , en Cajamarca ($-9,9$ ‰) así como en Churín ($-8,8$ ‰).

La composición isotópica del metano, en el caso de que exista en una concentración suficiente para análisis, tiene el valor promedio alrededor de -30 ‰. Los valores más altos y sobre todo positivos tienen un origen poco claro. El metano del origen biogeno tiene carbono de la composición -60 ‰ y más bajo. El metano originado por una alteración de los sedimentos de mar tiene valores alrededor de -35 ‰. La composición isotópica del carbono en el carbón es alrededor de -25 ‰. Si comparamos los valores que obtuvimos por nuestras medidas, parece que el contenido del metano en el gas origina en el ambiente de roca, donde se reduce el carbón sedimentario en una temperatura elevada.

La composición isotópica del azufre y del oxígeno de los sulfatos disueltos (Tab. 6, Fig. 5) tiene que ser evaluada junto con los datos sobre la concentración de los sulfatos en las aguas (Tab. 2a). Es en las aguas que tienen altos contenidos de los sulfatos (en decenas o centenas miligramos en un litro, como lo tienen las aguas de las muestras de la región de Churín), donde es necesario buscar el origen de los sulfatos en las rocas.

En las muestras que tienen el contenido bajo de los sulfatos (en algunos miligramos o como máximo en las pocas decenas de miligramos), es necesario considerar también la posibilidad de buscar el origen de los sulfatos o una parte de ellos en las precipitaciones o en el perfil de suelo de las áreas de infiltración. (En las precipitaciones, el origen puede ser la contaminación del aire o spray de mar.) Como las fuentes posibles de los sulfatos se pueden cubrir mutuamente y por eso no es posible distinguirlos exactamente, hay que concentrarse sobre las muestras con una concentración alta de los sulfatos. Las muestras con una concentración alta - centenas de miligramos en un litro de agua (es decir casi todas de la región de Churín) – tienen valores $\delta^{18}\text{O}$ salvo las áreas, donde los sulfatos tienen su origen por la meteorización, o sea por la oxigenización de los sulfuros. Así se puede eliminar la posibilidad del origen de las concentraciones altas de sulfatos por la oxigenización de los sulfuros. Las concentraciones altas de los sulfatos se deben entonces a una disolución directa de los sulfatos en las rocas. Se trataba de los sulfatos de origen marítimo o continental, tipo evaporita. El aditamento de las aguas saladas fósiles altamente concentradas en las aguas termales en circulación no es probable, porque así se daría lugar a valores más altos (es decir menos negativos) de $\delta^{18}\text{O}$ del agua. La composición isotópica del

oxígeno de este tipo no ha sido averiguada por el análisis. No obstante, sería necesaria la continuación de investigación para una interpretación verdaderamente detallada, con una escala de muestras más completa y más extensa, y eso no solo en las aguas y gases, sino también en las rocas y minerales.

7. Conclusiones hidrogeoquímicas

Las muestras de las aguas termales de 49 fuentes vienen de las regiones Churín, Cajamarca, Chivay y Candarave. La temperatura del agua en la superficie no sobrepasa 100 °C. Termómetros geoquímicos, sobre todo del tipo Na-K-Ca, indican temperaturas mucho más grandes en la profundidad. No obstante, es probable que estas temperaturas no corresponden a la realidad, y que las indicaciones más exactas son las concentraciones del ácido silícico. Según el termómetro de calcedonia, que da las estimaciones realistas hasta la temperatura 180°C, y según el termómetro en base acristobalita, que da las estimaciones realistas hasta la temperatura de 250 °C, la composición química de aguas se forma en las temperaturas de 37 hasta 183 °C. Según la composición isotópica del oxígeno en las moléculas de agua, las fuentes termales son alimentadas por el agua de precipitaciones, infiltrada en varias alturas. El agua de precipitaciones se enriquece por el óxido carbónico de una parte biógeno y por otra parte probablemente magmático. En ninguna parte esta alimentación por el gas es lo suficientemente intensiva para hacer escapar el gas disuelto desde el agua en la fase de gas. Por eso, si se ven las burbujas de gas en las fuentes, se trata probablemente del nitrógeno, no de CO₂. El agua en el acuífero es acidificada por el óxido carbónico y por eso hidrolisa la roca en la vecindad. Según el tipo de roca se forma una solución de una concentración variada, cuyo carácter químico se mezcla con el contenido más bajo del magnesio. Esta agua subterránea litógena disuelve probablemente también las sales, sobre todo yeso y sal de rocas, eventualmente se mezcla con aguas saladas posiblemente fósiles provenientes del mar. Así la mineralización total crece, y en los aniones predominan sea cloratos, sea sulfatos.

Las aguas estudiadas forman básicamente cuatro grupos químicos. Algunas muestras difieren de ellos, lo que debería ser estudiado por una investigación geoquímica e hidrogeológica más detallada. Se trata sobre todo de dos fuentes con el agua ácida (fuente 42 (N° 01 Tu - 23 Azufre Grande) y 43 (N° 02 Tu - 12 Azufre Chico).

5.7. Característica balneológica

La tectónica de fallas juega el papel principal por el ascenso de aguas termales. El sifón termal formado en las rocas de la Formación Chimú (Grupo Gollarisquisga), caracterizadas por la permeabilidad de fracturas, es también un factor importante para la existencia de aguas termales en Baños de Inca.

5.7.1 Captación de las fuentes de aguas termales

Generalmente se puede constatar que la manera de captación por las pozas o zanjas poco profundas no es conveniente del punto de vista balneológico. Se produce el contacto muy rápido del agua termal con el oxígeno atmosférico que causa la disminución rápida de la presión de agua así como la disminución de su temperatura. Visto que la mineralización de aguas es baja, no ocurre un desarreglo aparente del equilibrio químico, sin embargo se puede suponer una reducción de parámetros físico-químicos. Para la protección preventiva y reparativa de aguas termales, la captación de poca profundidad representa un riesgo potencial. Hay que considerar la captación de fuentes más profunda y así eliminar una contaminación eventual y facilitar la protección preventiva de la zona de fuentes.

El grupo de fuentes El Tragadero ("Yactana" en quechua) forma el ascenso de aguas termales en cuatro piscinas poco profundas:

- T1 y T2 - captación en las piscinas en los lotes de la Laguna Seca
- T3 - captación en la piscina en el lote de la municipalidad en la vicinad de la Laguna Seca
- T4 - captación en las zanjas en el lote de la familia privada

La temperatura máxima oscila en el intervalo 69-71°C. El caudal total del grupo El Tragadero no se puede medir, pero se estimó a 60 l.s⁻¹. Hoy día se usa cerca de 50% de este caudal total.

El grupo de fuentes Los Perolitos ("Ninac Yacu" en quechua) incluye aproximadamente 11 fuentes en piscinas naturales o artificialmente acondicionadas:

P1 - Px - captación en piscinas naturales o artificialmente acondicionadas (acotadas por los paredes de hormigón) en el espacio de Baños de Inca.

La temperatura máxima se midió a 61-68 °C, el caudal está cerca de 68 l.s⁻¹. Se usa cerca de 80% de caudal total.

Manantiales naturales del agua termal en el río son aparentes el las temporadas del nivel bajo del agua en el río. Se encuentran al norte del puente de Baños de Inca. Se estima el caudal de las fuentes naturales a 10 l.s⁻¹.

5.7.2 El uso actual de aguas termales

El uso actual de aguas termales se concentra a la curación exterior (enfermedades dermatológicas, del aparato de circulación, de músculos, de locomoción). En la literatura hidrogeológica (A. Huamaní Huacán, 2000) se indica el exceso del límite de la concentración de Mn. En consecuencia, estas aguas no son convenientes a las curas interiores (como aguas potables), que se usan también para el tratamiento (gastritis, enfermedades intestinales, defectos de metabolismo etc.). La posibilidad de aumento de curaciones interiores en Baños de Inca necesita una investigación del punto de vista químico así como balneológico.

En el área del hotel Laguna Seca es el agua termal del grupo El Tragadero (de la captación T1 y T2 de nuestra simbolología) utilizada para los baños colectivos (en piscinas) e individuales (en pozas particulares). Además, se utilizan las aguas termales para el servicio del baño turco y la hidroterapia clásica, pues generalmente para las curaciones exteriores de visitantes del hotel.

El agua termal del grupo El Tragadero (de la captación T3) en el área Baños de Inca es conducida por cuatro canales del lote de la municipalidad hasta el área misma, donde está utilizada junto con el agua del grupo Los Perolitos que brota directamente en esta área. Se usa para los baños individuales o familiares en las piscinas de tamaño reducido o en los tanques ubicados en las construcciones individuales del área.

Según la informaciones disponibles se usa una parte de aguas termales (captación T4) por el ejército de Perú en su área en Baños de Inca así como por aproximadamente 50 casas privadas en la municipalidad de Baños de Inca.

Una de las tareas significantes de la gestión de agua será un monitoring continual y regular de los recursos y la cooperación con las autoridades locales, regionales y nacionales competentes en la protección del medio ambiente, con respecto a la protección preventiva de fuentes termales.

5.7.3 Propuesta del aprovechamiento de las fuentes

Con respecto al carácter de la localidad es recomendable dirigir el futuro desarrollo de servicios de baños a la depuración completa de organismo. Se trataría del tratamiento preventivo y reparativo de las enfermedades "sociales", determinadas sobre todo por la manera malsana de la vida, por el stress, las malas costumbres dietéticas, el estado del medio ambiente etc. El agua termal de ambos grupos subterráneos contiene una multitud de sustancias importantes desde el punto de vista farmacodinámico, que serán sujetos a un examen médico para indicar el uso potencial de aguas termales. Una componente importante del análisis balneológico debería ser la redacción de una lista de contraindicaciones potenciales.

Considerando el efecto de los procedimientos balneológicos, se recomienda también la introducción de curas peloterapéuticas, es decir la utilización de lodos, humolitos

(turbas, barros, tierras de fangos). Una de las tareas del desarrollo sería entonces averiguar, si se pueden encontrar en la región de Cajamarca y sus alrededores (p. ej. Río Marañón etc.) los recursos de peloides suficientes (al tanteo $2700 \text{ m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$).

Desde el punto de vista de la terapia y prevención, el aprovechamiento posible de las fuentes es muy complejo:

1. Enfermedades civilizadoras y enfermedades del metabolismo:
 - obesidad
 - diabetes
 - hiperlipidemia (contenido excesivo de colesterol en la sangre)
 - desórdenes de la glándula tiroides
 - necesidad de la detoxicación del organismo
2. Enfermedades del sistema locomotor
 - enfermedades crónicas de articulaciones y de la columna vertebral: artritis, gonartritis, koxartritis, spolyartritis
 - artritis reumática, spolyartritis
 - dolores en las partes lumbar y cervical de la columna
 - necesidad de la rehabilitación a largo plazo después de las operaciones ortopédicas y traumatológicas
 - osteoporosis
3. Enfermedades de la piel
 - dermatitis crónica,
 - eczemas crónicas
 - psoriasis
 - urticaria
 - otras enfermedades de piel crónicas
4. Curación climática de las enfermedades del sistema de respiración
 - bronquitis crónica
 - asma
 - alergia del sistema respiratorio
5. Curación preventiva y exámenes médicos para los visitantes de los baños
 - ergometría
 - cardioecografía
 - monitoring "Holter" de la presión arterial del sangre
 - examen laboratorial – bioquímico, inmunológico, bacteriológico
 - examen parasitológico
 - examen ultrasonido de los órganos en la parte abdominal
 - endoscopia (colonoscopia, gastroscopia)
 - consultación urológica
 - examen ginecológico

- mamografía

Propuesta del equipamiento básico y de los procedimientos:

- electroterapia, magnetoterapia, mecanoterapia, fototerapia, laseroterapia, kryoterapia
- masajes, terapia de reflejo
- hidroterapia
- técnicas de rehabilitación, fisioterapia
- farmacoterapia, dietoterapia
- ejercicios curativos y actividades físicas

Del punto de vista médico, Cajamarca debería ser el centro especializado en la relajación, balneología, servicios curativos y rehabilitatorios y en la terapia individual.

5.7.4. Protección legislativa de aguas termales

La protección legislativa de aguas minerales y termales está asegurada en Perú por la ley Decreto Ley no. 17752 del día 24.6.1969 (Ley General de Aguas – Aguas minero-medicinales).

La autorización para la utilización de aguas termales está designada a tres personas jurídicas, sin embargo, el nombre de sujetos utilizando las aguas es considerado más alto en la licencia misma. Por eso es recomendable la designación de un solo gerente de fuentes, quien va en el caso de utilización adecuada de aguas ceder una parte de la capacidad explotable a los otros sujetos, es decir por el costo de la gestión de todas las fuentes. Es necesario considerar un cambio principal de la captación de aguas termales, porque el estado actual de objetos de captación y su vulnerabilidad es un factor de riesgo potencial del desarrollo de la industria balnearia del área.

También es digno de recomendación considerar el establecimiento de una gerencia central de recursos naturales curativos del Perú. La mejor sería en este caso una forma históricamente probada del Inspectorado de recursos (en el territorio de la República Checa desde el año 1911 en Karlovy Vary). Ministerio de Salud o Ministerio del Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR) concedería licencias para la utilización de los recursos en base a un dictamen pericial hecho por INGEMMET o una otra institución nacional con una capacitación profesional y servicios laboratorios.

Es también necesario verificar las reglas higiénicas y sanitarias del Perú con respeto a la clientela futura, también del extranjero. Acercamiento del nivel higiénico a la pauta europea es una condición indispensable para el desarrollo próspero de los servicios balnearios.

5.7.5. Protección de aguas termales y propuesta de zonas de protección de la estructura termal de Cajamarca

Una garantía de la calidad del agua para los usos balnearios es posible solo en el caso de que el recurso del agua termal esté captado por una perforación profunda. Para la captación de aguas termales se propone realizar una perforación de la profundidad estimada de 1000 m. Se supone que la perforación va tener un caudal del agua saliente cerca de 100 l.s^{-1} , con la temperatura aproximada de 60-85 °C.

La propuesta de la protección de la estructura termal de Cajamarca resulta de los conocimientos de la geología y de las estructuras de la región complementados por un modelo conceptual hidrogeológico del área y un modelo matemático de la circulación de aguas subterráneas. Para la interpretación se usan también los resultados de estudio hidroquímico de aguas.

El modelo conceptual hidrogeológico indentifica las cuarcitas y areniscas de la Formación Chimú como el ambiente donde se forma el agua termal (acuífero). Este hecho se confirmó por la composición química del agua, que corresponde, según la evaluación hidroquímica, al ambiente con poca cantidad de minerales solubles. Las interpretaciones geológicas muestran la conexión posible entre el acuífero en las cuarcitas Chimú y otro acuífero en las areniscas Farrat. La infiltración de precipitaciones, que forman las aguas termales circulando en el acuífero, ocurre en los afloramientos de cuarcitas Chimú. Sin embargo, de punto de vista geológico, ambas formaciones pueden contribuir a la infiltración.

El modelo matemático de la circulación de agua mostró que en la situación normal, cuando las aguas termales del acuífero Chimú corren sólo por las fuentes Perolitos, Tragadero y las fuentes naturales en el río, no se produce el desagüe entre los dos acuíferos en cuarcitas Chimú y areniscas Farrat. Esta situación puede cambiar en el caso de que hay un aumento significativo de extracción de aguas para los objetivos de balneología. En este caso podría ocurrir el desagüe de aguas subterráneas de acuífero en areniscas Farrat en el acuífero en las cuarcitas Chimú. El traspaso de aguas podría causar un enfriamiento de aguas así como llevar una contaminación, si el agua de areniscas Farrat es sucia. Si hay un aumento de extracción de aguas de acuífero en areniscas Farrat, podría ocurrir un efecto contrario y las aguas del acuífero Chimú van recorrer al acuífero en areniscas Farrat. Este caso podría causar una disminución del caudal de aguas termales.

En base a este análisis es necesario declarar una protección estricta de la calidad así como de la cantidad de aguas subterráneas de los acuíferos en cuarcitas Chimú y areniscas Farrat.

La protección de calidad tiene que incluir todos los afloramientos de cuarcitas y areniscas en la parte oriental del valle de Cajamarca. El objetivo de la protección es impedir que las sustancias y los preparados químicos que dañan la calidad de aguas termales penetren como precipitaciones al subterráneo y deprecien los recursos de

aguas termales. El uso de sustancias químicas va ser prohibido en la mayoría del área conteniendo los afloramientos protegidos. Visto que se supone una circulación rápida de aguas subterráneas en acuíferos muy permeables, se necesitaría también impedir la penetración de la contaminación biológica masiva en las aguas subterráneas. Hay que eliminar la avicultura así como la crianza de otros animales domésticos y efectuar una canalización minuciosa de la urbanización civil.

La protección de cantidad de aguas termales consiste sobre todo en la regulación de la extracción de aguas. Después de la construcción del centro balneológico propuesto es necesario reducir otras extracciones de aguas subterráneas tanto termales del acuífero en cuarcitas Chimú, como no termales del acuífero en areniscas Farrat.

Los principios de esta regulación deben ser aplicados en el plano de catastro. Todas las construcciones futuras sobre los afloramientos protegidos serían permitidos solo en base a una evaluación hidrogeológica de especialista, para que la construcción planeada o la extracción de aguas subterráneas no tenga ningún impacto sobre la calidad de aguas termales.

Para la optimización de la captación de aguas, así como para la necesidad de la decisión por la administración pública sobre la adjudicación del permiso para la extracción de aguas termales, se propone efectuar tres perforaciones. Una perforación profunda de observación serviría para el monitoreo de la presión y de la temperatura del acuífero en cuarcitas Chimú, mientras que dos otras perforaciones menos profundas serían hechas para el monitoreo del nivel de agua subterránea del acuífero en areniscas Farrat. Se recomienda hacer estas perforaciones de observación al mismo tiempo como la construcción del centro balneológico. Las perforaciones de observación con la perforación para el uso de aguas termales formarán una base para el monitoreo de toda la estructura termal.

Realización de la perforación de captación y utilización de otros 100 l.s^{-1} de agua termal no va a producir una disminución del caudal de las fuentes El Tragadero y Los Perolitos. Se supone que por la perforación serán activados los recursos de aguas termales que no tienen relación con las trayectorias de ascenso de ambas fuentes actuales. La construcción de la perforación va también prevenir la pérdida de aguas en los sedimentos aluviales del valle de Cajamarca. Esta intención no perjudicará los usuarios presentes de aguas termales.

6. Solución técnica – localidad Cajamarca

La solución técnica de la propuesta tiene dos partes básicas: (I) toma de la fuente del agua termal por una perforación de captación (parte subterránea), y (II) propuesta urbanística y arquitectónica del establecimiento balneológico.

6.1. Perforación de captación

La perforación propuesta fue definida en base al conocimiento geológico e hidrogeológico de la región. El eje del anticlinal y la falla de la dirección N-S fueron proyectados en el mapa de catastro, y en el sitio de la intersección de ambas estructuras se identificaron los terrenos apropiados para la situación del pozo perforado profundo. La profundidad de 1000 m es estimada para que la perforación alcance el acuífero del agua termal en la formación Chimú. En el caso de que se consigue el caudal de 100 l.s-1 antes de hacer 1000 m, la profundidad de la perforación será reducida. Los parámetros técnicos de la perforación serán consultados con especialistas.

6.2. Propuesta de la solución urbanístico-arquitectónica

El valle de Cajamarca con el área de los Baños del Inca tiene una potencialidad considerable y hasta ahora relativamente poco aprovechada, basada entre otras cosas en la belleza de la naturaleza y la historia dramática de la localidad. Equipamiento urbanístico y técnico de Cajamarca y Baños del Inca forma un fundamento para el aprovechamiento turístico y balneológico más intensivo. Se ofrece directamente la posibilidad de reanudar a la historia de Cajamarca y los Baños del Inca y situar más capacidades, aprovechando la urbanización existente de la ciudad. La primera realización de alta calidad ya existe: es el complejo de descanso Laguna Seca. Las construcciones propuestas no tienen como propósito una concurrencia a la inversión privada existente, sino quieren complementar las funciones que no son completas o que faltan, y además aprovechar más intensamente el funcionamiento de alta calidad que ya existe.

Teniendo en cuenta la estructura de los visitantes – desde los habitantes locales y los turistas con la estancia corta o media hasta los visitantes que buscan varias formas de estancia curativa de duración más larga – parece que el modo óptimo sería crear tres niveles de aprovechamiento de la tradición balneológica local:

a) Completar y reconstruir los Baños históricos en el centro de los Baños del Inca y crear una área termal recreacional y deportiva con una amplia oferta de servicios para habitantes locales y visitantes.

b) En la colaboración con el sector privado aprovechar más intensamente el complejo Laguna Seca para los clientes exigentes. Aquí está a la disposición la base para el turismo de congresos.

c) En la localidad atractiva sobre la ladera situada al este de los Baños del Inca construir una nueva área balneológica-curativa. La edificación sería compuesta como un antipolo de la edificación en las laderas sobre la ciudad de Cajamarca. La oferta balneológica y curativa llenaría una posición vacía en las ofertas de los servicios especializados en el Perú y en el extranjero.

6.2.1 Área termal de deportes y recreación Baños del Inca

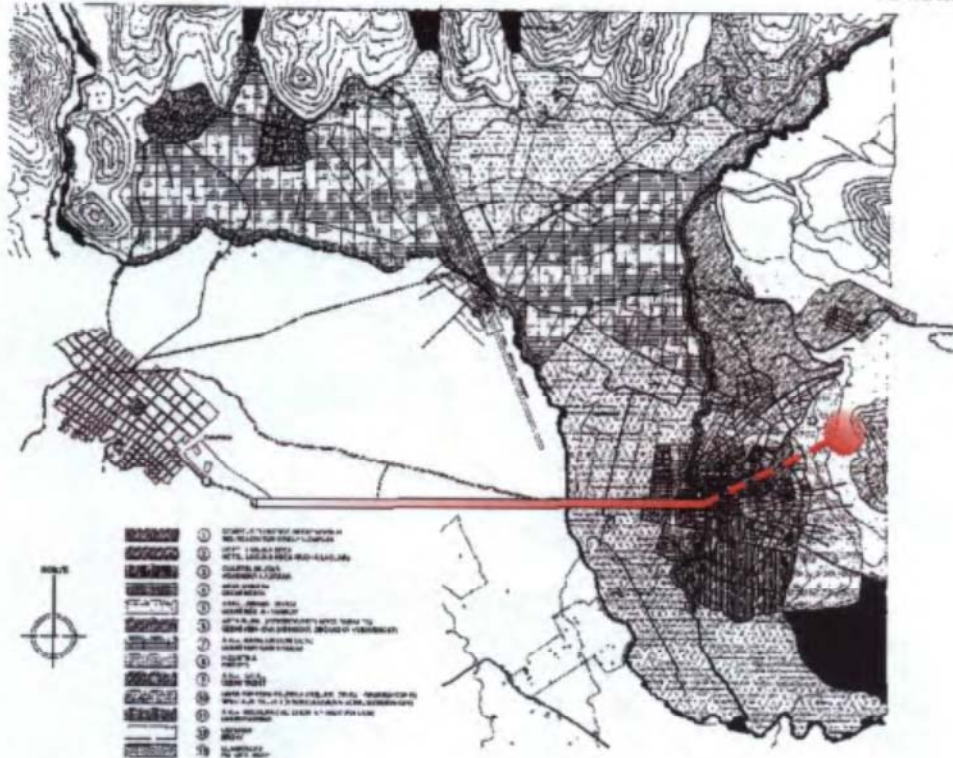
Criterios urbanísticos:

- Complementación de la zona central de los Baños del Inca de equipamientos atractivos que atraigan al centro habitantes locales y visitantes de fuera
- Complementación del polideportivo existente, creación de un parque de deportes y de recreación, integración con la laguna en el lado este
- Solución de los problemas del transporte y parqueo en el lugar de numerosas llegadas
- Conservación de los hallazgos atractivos en el área de los Baños y arreglo de las piscinas de agua caliente existentes, con el acento en la historia célebre de la localidad y la referencia al culto de agua pre-incáico
- Complementación de la oferta de los comercios y servicios en la zona central
- Creación de una dominante de la población con una forma característica, que va a formar parte de la propagación de los Baños del Inca
- Ampliación de la oferta de las capacidades del alojamiento para el turismo organizado e individual
- Modernización de la infraestructura técnica en la población



Localización el el pie de la ladera en la prolongación de la línea de empalme histórica Cajamarca – Baños del Inca

PLAN DE ORDENAMIENTO Y EXPANSION URBANA DEL DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA
ORDENAMIENTO TERRITORIAL PRE - PROYECTA

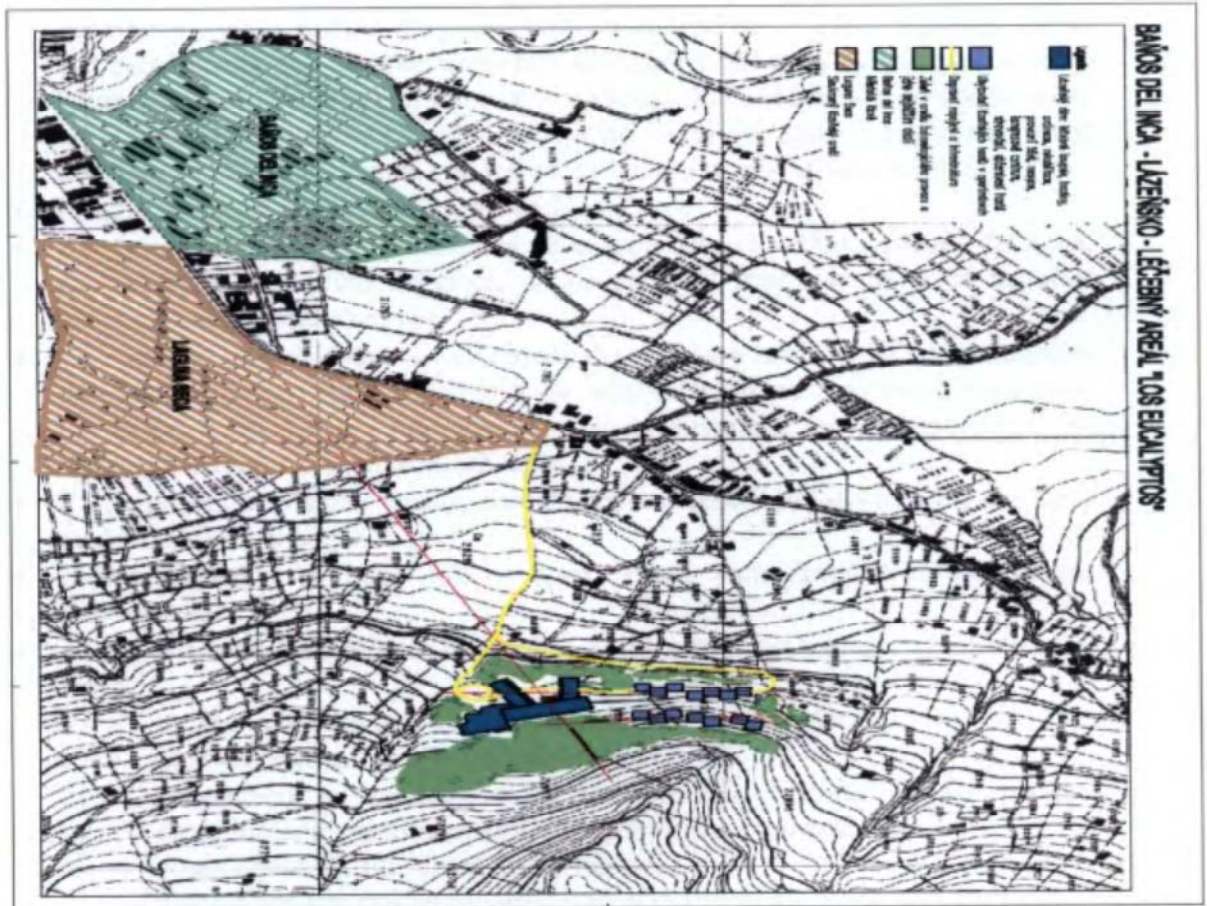


Proyecto de la localización del establecimiento balneológico

Objetivos de la construcción

- Propagación de la historia célebre de la localidad y de las tradiciones que tienen que ver con el culto del agua; sistema informativo que incluye todos los tipos de servicios turísticos y de alojamiento
- Programa para tiempo libre de los habitantes de la región de Cajamarca (tiempo de funcionamiento conveniente 9 – 23 h.)
- Atracción turística para los visitantes de la región
- Oferta complementaria de los servicios en el área de los Baños del Inca (Laguna Seca y nueva área balneológica)
- Fuente de las oportunidades de empleo, capacitación de los trabajadores
- Relación con la asistencia del hospital en el ramo de la fisioterapia (asistencia médica preventiva para los trabajadores expuestos físicamente en la mina de Yanacocho, curación de las enfermedades causadas por el estrés civilizatorio, condiciones post-operativas, enfermedades del sistema motorico, rehabilitación del organismo etc.)
- Concentración de los servicios fitness complementará servicios del área de deportes vecina

- Programa complementario para la escuela de natación etc.
- Producción y propagación de los productos cosméticos especializados con el acento a la tradición y experiencia de las civilizaciones inca y pre-incaicas
- Concentración de servicios especializados (maquillador, peluquero, cosmético etc.)
- Concentración de tiendas especializadas



Las parte del área propuesta Los Eucaliptos y los objetos existentes

Programa de construcción:

- Nuevo complemento de entrada con la referencia a las tradiciones históricas (en forma de exposición). Advertencia sobre la oferta compleja de las actividades en el área de Baños del Inca y en Cajamarca. Se supone la existencia de una oficina de información permanentemente ocupada. Una parte de la entrada al complejo será la oferta de servicios y tiendas dirigidos a „salud y belleza“. El objeto de entrada debe complementar el funcionamiento e incorporarse al centro de los Baños del Inca, y al mismo tiempo formar la entrada al área de los juegos de pelota y al parque con agua

- Se facilitará acceso a los fragmentos arqueológicos existentes y serán arregladas las piscinas termales. Aquí es necesario acentuar la tradición fascinante del lugar y explicar de un modo popular los mitos incaicos y pre-incaicos
- La entrada de servicio al área con casas, administración y pequeña venta
- Eficazmente diseñado complejo de vestuarios, duchas e instalaciones sanitarias
- Consultorio del médico - consultante
- La piscina central más grande, parcialmente cubierta, con la posibilidad de nadar a los baños con la temperatura de agua diferente y con inyectores, flujos de agua, vertederos etc. (todo dirigido por computadora). Las piscinas serán complementadas por las posiciones con aireación y por otras aguas, parcialmente también con atracciones con miras a terapéutica. Para la función de noche habrá un alumbrado con luces de color debajo del nivel del agua. La piscina central estará colocada en la vecindad de los baños históricos con el agua termal.
- Piscina arreglada para los niños pre-escolares
- Las pequeñas pozas con elementos de masaje como los flujos fuertes del agua, chorros etc. (simulación de gruta, jungla etc.). El funcionamiento de aquellos elementos será computerizado
- Una piscina especial para los ejercicios deportivos y correctivos (enfermedades del aparato de movilidad, ejercicio de rehabilitación en las condiciones post-operación etc.). La piscina puede se complementada por equipamiento de transporte para los visitantes discapapés
- En grado limitado serán construidas atracciones para adolescentes (varios tipos de deslizaderos, toboganes etc.)
- Baños pequeños cerrados con el agua termal para familias e intreresados individuales
- Al complejo de las piscinas se pueden añadir otras atracciones variables en el tiempo:
 - luces cambiando colores en secuencias computerizadas
 - aromoterapia en lugares seleccionados
 - proyección de escenarios de naturaleza o historia en las paredes especialmente perfiladas, con acompañamiento musical
 - zonas con la música típica de las regiones
 - piscina con sonidos de debajo del agua (ballenas etc.)
 - piscina de flotación
- Saunas clásicas, cuartos de vapor, inhalaciones, inhalaciones de sol, irrigación de boca y de intestinos, aromaterapia
- Masajes incluyendo masajes de pies en las piscina con la superficie del fondo variable
- Baños de Kneipp etc.
- Zonas de tranquilidad (diversión según la temperatura, aroma, música), solarío
- Espacios para ejercicios preventivos, correctivos y de forma
- Espacios para servicios de maquilladores (peluqueros, pedicuristas, cosméticos etc)
- Espacios para tiendas (venta de productos ligados a la localidad y a la tradición curativa – sal, lodo, aroma etc.)

- Refrescamiento con la oferta especial de comidas y bebidas (acentuación de las tradiciones locales)

El complejo del centro deportivo y recreacional aprovechará la estrecha conexión al centro Baños del Inca. Todos los edificios se hallarán en la vegetación, el agua termal que sobra será conducida en canales y puede acompañar a los visitantes en cada una de las atracciones. El visitante será continuamente envuelto en la historia excepcional de la localidad. La visita del área será una historia sin fin con descubrimientos de "secretos" cada vez nuevos del área.

6.2.2. Área curativa Los Eucaliptos

Criterios urbanísticos:

- Un grupo independiente de edificios en un lugar muy atractivo en la conexión directa con urbanización recientemente construida en el borde de los Baños del Inca, en la prolongación de la calle Los Eucaliptos
- El grupo de edificios en la zona central de la población de Baños del Inca llegará a constituir la dominante del panorama en la conexión tradicional Cajamarca – Baños del Inca. En este caso es necesario tomar en cuenta y valores el complejo para que produzca la mejor impresión visual
- Aprovechamiento de un escenario natural excepcional en la parte Este de la población de Baños del Inca. Los edificios del balneario se incorporan sensiblemente al perfil del paisaje hasta crear un barrio nuevo de la ciudad.
- Mejoramiento de calidad y ampliamento de la infraestructura de la población
- El conjunto existente de Laguna Seca, que es de alta calidad, va a formar un paso desde la zona central (complementada por el área deportiva y recreacional), hasta la edificación balneológica, y en continuación, al paisaje libre y atractivo

Objetivos de la construcción:

- Propagación de la localidad que es excepcional y célebre. Acentuación de la medicina incáica y pre-incáica. Aprovechamiento del culto de agua de las civilizaciones antiguas
- Complementación de la oferta en la región de Cajamarca, colaboración con la universidad y el hospital local
- Construcción de los baños con renombre nacional e internacional. En los baños se van a ofrecer numerosos y variados métodos medicinales con el eslogan "purificación del organismo"
- En la colaboración con la red local de los establecimientos sanitarios privados y estatales, la creación de la oferta completa de la medicina estética con una clientela internacional
- Creación de relaciones duraderas con visitantes y pacientes
- Complemento de la asistencia curativa en las esferas de fisioterapia, balneología y rehabilitación curativa. Oferta del programa para el extranjero, asistencia compleja a los visitantes.

- Educación de los especialistas en el ramo de FBR (fisiatría, balneología, rehabilitación). Colaboración con Laguna Seca en la preparación de los seminarios y congresos.
- Nueva fuente de oportunidades de empleo en la región. Relanzamiento de actividades comerciales y turísticas.

Programa de construcción:

- En continuación de la red de comunicaciones existente se colocará el objeto de la recepción. El objeto se construirá en forma de una "plaza central", por donde el visitador va a pasar regularmente para las procedimientos curativas, para los comedores etc. Aquí va a encontrar médicos, personal de baños y otros clientes de los baños. En el engarce directo a la "plaza" estarán colocadas varias tiendas, café, oferta variada y amplia de procedimientos balneológicos, servicios de carácter estético (estilistas etc.) El visitante debe querer la plaza y tiene que volver a ser sorprendido por la oferta de los programas turísticos y culturales. Desde el momento, cuando el huésped baja del coche o del autobús, va a entrar en el área sin barreras y va a tener el sentimiento de una seguridad absoluta.
- Detrás de la recepción se encontrarán las consultorios de los médicos. En el caso del interés, el cliente será examinado por especialistas. El médico "personal" recomendará el programa curativo optimal para todo el tiempo de la estancia. Los resultados de aquel programa serán evaluados antes de la salida del cliente y a consecuencia un programa individual será recomendado hasta la próxima visita.
- La parte de alimentación con una oferta rica de comidas locales e internacionales. Comedor o comedores serán divisibles según la disposición, para que se pueda crear espacio para el buffet de desayuno, otro tipo de espacio para las necesidades de servir las comidas de almuerzo y otro, del carácter más íntimo, para las cenas. Será posible separar salas pequeñas con un carácter específico, siempre en relación con las tradiciones culturales locales.
- La parte de alojamiento con la capacidad continuamente establecida en los objetos con dos hasta tres pisos en la superficie. El piso técnico con aparcamiento de aproximadamente 75 % de ocupación se colocará parcialmente debajo de la tierra, así como toda la base operativa y técnica

Los cuartos tendrán la superficie 26 – 32 m² y variarán en cuanto a su carácter y equipaje. Se crearán cuartos especiales para los clientes físicamente afectados.

Capacidades:

De 1 cama (singles)

De 2 camas (dobles)

De 2 camas con una cama suplementaria

2 x 2 cuartos que se pueden juntar y crear un apartamento.

En la oferta habrán también habitaciones de un estándar alto con un cuarto de baño grande y con una poza de masaje.

Área curativa y recreacional:

- Una piscina para varios propósitos, parcialmente cubierta, con la posibilidad de nadar en los tanques con la temperatura de agua diferente y con inyectores, flujos y chorros de agua etc., así como con aireo y otras atracciones con miras a la terapéutica. Las pozas serán alumbradas multicoloradamente y su colocación permitirá a los visitantes las vistas al paisaje afuera. En la solución de las operaciones, hay que mantener la idea principal, que se basa en la unión del paisaje hermoso, tradición famosa y procedimientos curativos y terapéuticos modernos.
- Una piscina especial para los ejercicios de forma y correctivos (enfermedades del aparato de movimiento, enfermedades del sistema de nervios, condiciones post-operacionales etc.) Para los pacientes discapacés, habrá un aparato de transporte.
- Pozas cerradas con agua termal para los ejercicios individuales y para familias.
- El complejo de piscinas será completado por otras atracciones alterables – por la iluminación de varios colores, dirigida por PC, por materias aromáticas, zonas con la música de alivio, respectivamente música latinoamericana, aquason etc.
- Saunas clásicas, baños turcos, aromaterapia, inhalaciones, cuevas de sal, pozas flotantes etc.
- Varios tipos de masajes individuales
- Parte peloterapéutica – envolturas de fangos, tampones, baños, envolturas
- Pozas de poca profundidad para caminar por el fondo alterable y con la temperatura variable según Kneipp
- Zonas de tranquilidad (divididas según la temperatura, aroma, música)
- Espacios especialmente equipados para ejercicio de prevención, correctivo y de condición
- En las horas determinadas, eventualmente por encargo, servicios de carácter estético (peluquero, cosmético etc.)

En el complejo curativo, todos los servicios serán asegurados. Los sitios operacionales serán conectados mutuamente por las pasarelas cubiertas. Los servicios operacionales y técnicos estarán concentrados principalmente bajo de la superficie, para que no alteren la percepción del paisaje. Así no será perturbado *genius loci* de la localidad excepcional.

Para la construcción, habrá que utilizar los materiales locales tradicionales, incluyendo ladrillos de adobe, y para el ajuste final de los edificios aplicar las tonalidades de color que también tienen tradición histórica. Todo el complejo tiene que respetar el fondo natural dominante, creado por las formaciones rocosas, así como el verdor existente en los alrededores. La construcción no debe atirar la atención de los visitantes por su “novedad”, sino por el contrario, debe causar impresión de como si existiera en la localidad desde tiempos inmemoriales, como si “hubiera crecido de la tierra” como varias fincas en la proximidad. Los caminos tradicionales serán nuevamente arreglados y serán aprovechados para los paseos curativos de los pacientes y los visitantes de los baños.



Posición del complejo de Los Eucaliptos en el terreno

6.2.3. Área Laguna Seca

Oferta de servicios y próximo desarrollo:

Consideramos el complejo del hotel Laguna Seca una inversión de alta calidad en la región de Cajamarca. La oferta de hoy es formada por:

- Complejo de alojamiento con la capacidad de aproximadamente 30 unidades
- Bloque de alimentación cuya capacidad incluye visitantes de congresos
- Piscinas termales con un programa curativo recomendado
- Servicios de hotel incluyendo el acceso a internet, capillas etc.
- Una finca modelo con la oferta de paseos a caballo, visitas de la cría de llamas etc.
- Parque infantil
- Centro conferencial

El área de Laguna Seca destaca por la seguridad máxima de los clientes y tiene un estándar alto. La edificación suplementaria de los baños municipales existentes que ofrecerá área deportiva y recreacional para el público general, y la construcción propuesta del complejo curativo, no quieren reemplazar los servicios suministrados hoy por Laguna Seca. La propuesta inversión extenderá el espectro de la oferta en la región de Cajamarca para los visitantes peruanos y extranjeros y la atractividad de la región subirá.

Entre los impactos positivos se encuentra también la demanda más alta de los servicios congresionales y en consecuencia, la demanda también más alta del alojamiento.

6.3. Principios del futuro desarrollo

La reconstrucción de los baños municipales se puede realizar en forma de la inversión conjunta de la ciudad y del sector privado. La inversión de la ciudad será formada por la misma área existente de los baños con los terrenos alrededor. Además, la participación puede estribar en el fortalecimiento de la infraestructura técnica y la renovación y extensión de la red de la comunicación local. Una inversión provocada sería el arreglo de la cancha deportiva y también los gastos del trabajo en los puntos de contacto, donde la nueva construcción tocaría las estructuras municipales existentes.

En el caso del área curativa „Los Eucaliptos“, la parte de la inversión privada sería más alta. Depende de los representantes de la municipalidad, si aprovechen la propiedad de los terrenos y si vendan las inversiones mencionadas. La municipalidad debe trabajar en estrecha cooperación con los propietarios de los baños en el desarrollo de las actividades turísticas (caminos turísticos, limpieza, propagación, aeropuerto) y sobre todo en la administración y manutención de las fuentes termales.

El desarrollo de la capacidad del alojamiento, de los servicios y de la red comercial en Cajamarca y Baños del Inca, será una acción puramente privada, dirigida por la demanda. La municipalidad tendrá influencia por medio de las regulaciones fijadas.

Lo que tiene la importancia principal es la inversión suministrada por la administración regional y por el estado a las redes de transporte y a la accesibilidad de toda la región. La inversión debe incluir la reconstrucción de la carretera No. 8 desde la carretera Panamericana, respectivamente la construcción de una nueva carretera. Una otra inversión importante es la extensión del aeropuerto en Cajamarca, incluyendo la prolongación de su pista de aterrizaje. Las inversiones mencionadas tendrán impacto al desarrollo económico de la región y asegurarán más visitas de turistas.

6.3.1. Realización del proyecto

La construcción del alojamiento se propone en tres fases:

Fase 1: 90 cuartos con la capacidad de 150 visitantes (2 objetos con 2 + 1 pisos)

Fase 2: En total 150 cuartos con la capacidad de 240 visitantes (4 objetos con 2 + 1 pisos)

Fase 3: En total 250 cuartos con la capacidad de 150 visitantes (4 objetos con 2 + 1 pisos, 1 objeto con 1 + 1 pisos, 1 objeto con 3 + 1 pisos).



Visualización del área

7. Localidad Churín

Churín es una pequeña ciudad en el Norte del Departamento de Lima (Provincia de Oyón, Distrito de Pachangará), ubicada en las orillas del río Huaura en la altitud de 2300 msnm. Tiene aproximadamente 2000 habitantes. Cuenta con cierta fama por sus baños y la belleza de sus alrededores, que atraen especialmente a la gente de la capital peruana.



Vista panorámica del centro de Churín con los baños Meseta y un domo de travertina a la derecha

7.1. Descripción detallada

Debido a la morfología muy accidentada, caracterizada por valles estrechos y laderas abruptas de la montaña, Churín no tiene aeropuerto. La única comunicación con el resto del país es por tierra. Desde Lima hay que viajar al Norte por la carretera Panamericana hasta la ciudad de Huacho (100 km) y después doblar y continuar en la ruta asfaltada hasta Sayán (45 km). A partir de Sayán, la carretera no es asfaltada y vuelve mucho peor. En las partes estrechas puede ser peligrosa, ya que es demasiado frecuentada por los grandes camiones que transportan el material de las minas, situadas en los alrededores de Churín y Oyón. Desde Sayán se sube continuamente 60 km a lo largo de Huaura hasta Churín.

La Cordillera Occidental de los Andes Peruanos se eleva no lejos de Churín hasta las altitudes mucho más grandes, así que por ejemplo la fuente Patón, la más alta de las que se han estudiado en el cuadro de nuestra investigación, se encuentra ubicada en 4000 msnm.

Aunque el centro de nuestra atención es el balneario de Churín, el ámbito de estudio no sólo se circunscribe al centro poblado de Churín, sino también a algunas otras localidades en el valle del río Huaura y su afluente Checra, donde afloran aguas termales. La cuenca del río Huaura pertenece a la vertiente del Pacífico. Tiene la superficie 5705 km² y políticamente cubre grandes partes de las provincias Oyón y Huaura. El río Huaura nace a más de 4900 msnm en el nevado de Raura en los límites de los departamentos de Lima, Pasco y Huánuco. Su recorrido total es de 181 km. Churín se encuentra en su curso medio. Además de aguas de Huaura depende también de sus tributarios Pachangará y Pucayacú que han sido captados para el riego de parcelas y energía hidroeléctrica. No obstante, el recurso de agua de mayor significación para Churín son las aguas termales que afloran en la misma ciudad y debajo de ella, cerca de la confluencia de Huaura y Checra. En su curso inferior (alrededor de Sayán), el río Huaura da lugar a un amplio

valle, donde se realiza una intensa actividad agrícola diversificada en maíz, algodón y hortalizas.

El paisaje de Churín es discontinuo, determinado por laderas de altas montañas que alternan con valles fluviales profundos, modelados por la erosión superficial de las aguas de filtración, en rocas de naturaleza diferente. Los fondos de valle y laderas de menor relieve están cubiertos por suelos inconsolidados de variada naturaleza. El relieve es accidentado, conformado por la sucesión de altas montañas divisorias de agua, valles de diferente profundidad y declive de laderas. Las pendientes de laderas son de 25 a 75 %. Los fondos del valle son bastante reducidos y en general más largos que anchos.

En las laderas de Churín se desarrolla escasa vegetación, debido a la existencia de meses secos; el crecimiento arbóreo, arbustivo y herbáceo tiene limitaciones marcadas. La vegetación arbórea nativa se ha adaptado al medio, captando la humedad del aire y el flujo de aguas superficiales o freáticas, por profundas raíces, como las del „molle“ (*Schinus molle*), especie predominante, que se desarrolla en pendientes y posee una raíz más profunda que su copa.

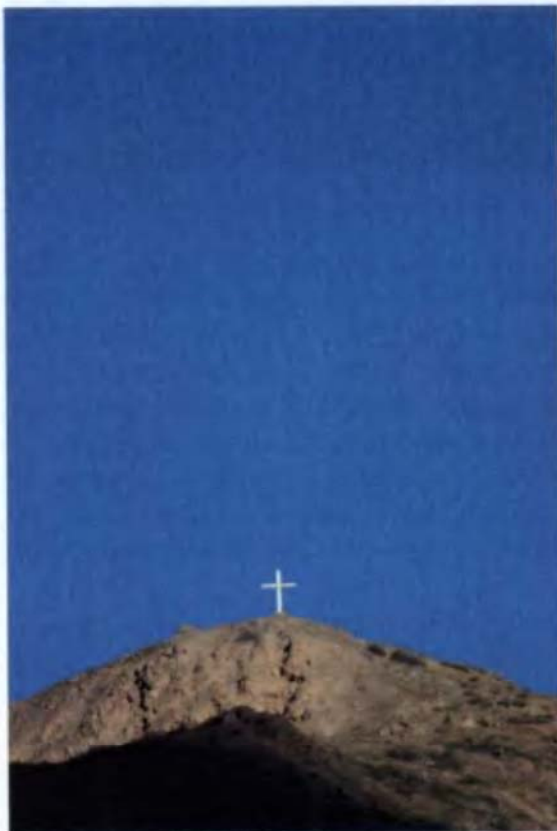
Churín y su entorno posee clima árido templado frío, con enfriamientos nocturnos sin exceso de agua y con baja concentración térmica en el verano. La temperatura media anual fluctúa entre los 15° y 22° C. Los meses de invierno presentan precipitaciones nulas o muy bajas, las que aumentan gradualmente en primavera, intensificándose en verano (enero, febrero y marzo) y decrecen en otoño. El rango de precipitaciones anuales medias es de 180 hasta 250 mm con las excepciones hasta 400 mm. Las fuertes precipitaciones en época de lluvia provocan desplazamientos de lodo y piedra que en ocasiones obstruye el acceso a Churín.

Los vientos de valles se desplazan normalmente valle arriba de día y de noche invierten su dirección, de las partes altas hacia las bajas. La nubosidad estacional se presenta algunos días con neblinas matinales leves que rápidamente se disipan, siendo característica una buena insolación durante el día.

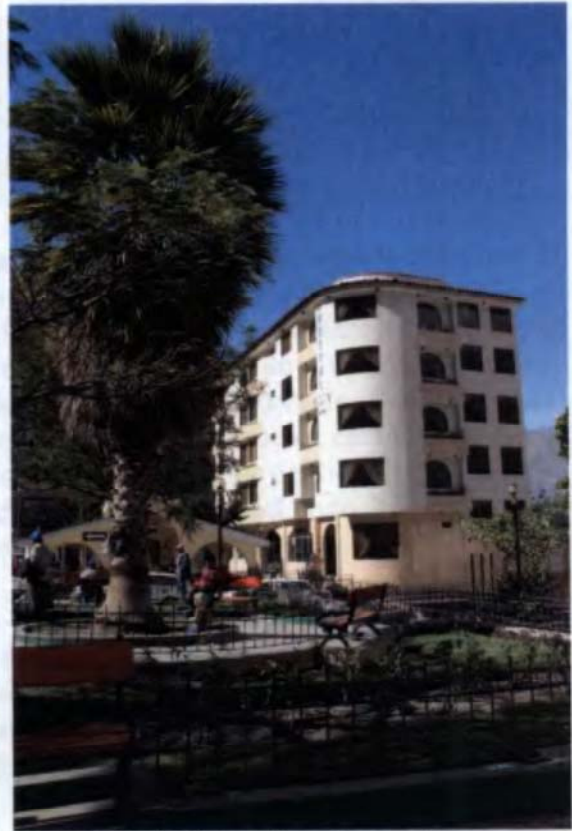
Desde el punto de vista de la geología, a partir de Sayán se observan las rocas graníticas del batólito de la costa. Pero al llegar a las proximidades de Churín, las rocas magmáticas son reemplazadas por las sedimentarias, en este caso pertenecientes al Cretáceo inferior. Nominalmente se trata del Grupo Goyllarisquizga, compuesto por areniscas y cuarcitas con intercalaciones de lutitas y capas de calizas, margas, yeso y carbón antracítico. Todo el complejo está afectado tectónicamente. El valle del río Huaura (en el que está ubicada Churín) y el valle de su afluente Checros (donde se ubican los baños de Huancahuasi y Picoy) son obviamente predisuestos por las fallas del rumbo antiandino (Noreste – Suroeste).

Las surgencias de aguas termales y minerales se encuentran en las laderas y fondos de los valles. No todas las aguas estudiadas en la región son termales en toda la extensión de la palabra. Eso es especialmente el caso de las aguas de La Meseta, La Juventud y La Novia dentro del pueblo de Churín, cuya temperatura no excede 36° C. De origen diferente son

las aguas que brotan en ambos lados del río Huaura, aguas abajo de Churín, en dos fuentes - Cabracancha (Baños de Fierro) en la margen derecha, y Tingo en la margen izquierda. Ambos manantiales tienen el agua hipertermal (47°C y 55°C respectivamente), con alto contenido mineral, en el cual destacan hierro y manganeso. Si se continúa desde Churín a lo largo de Huaura río arriba, se llega a los 3150 msnm a la fuente de Viroc, que brota en la margen izquierda del río. El agua de Viroc es la más caliente de los alrededores de Churín (59°C), pero, dado el contenido de los elementos disueltos, no tiene parámetros de agua mineral. Tampoco mineral es el agua de la fuente de Patón cerca de la laguna del mismo nombre, mina de polimetales por encima de la ciudad de Oyón (a 4000 msnm). Además, es un agua hipotermal con una temperatura de solamente 32°C .



La cruce encima de Churín



Plaza principal con el mejor hotel

En el valle del río Checras (que desemboca al río Huaura en el sector de Tingo), existen tres fuentes considerables. La más baja (2750 msnm) se llama Huancachín a pesar de brotar en el pueblo de Chuichín. Tiene agua mesotermal hasta hipertermal (45°C) y el contenido mineral bastante alto. Dos fuentes por encima del pueblo de Huancahuasi a una altura de 3270 msnm tienen propiedades casi idénticas, aunque la fuente Picoy (60°C) se encuentra en la margen izquierda, mientras la fuente Huancahuasi (56°C) en la margen derecha del río Checras. El contenido mineral es más bajo que en Huancachín, no obstante supera 1000 ppm.

Todas las fuentes mencionadas están siendo utilizadas actualmente como baños. Desde este punto de vista, los más desarrollados son los baños de Huancahuasi y Picoy y los más utilizados los baños de Churín (La Meseta, La Novia, Baño de Fierro). El factor negativo para cualquier desarrollo es la mala accesibilidad, dado el grado de deterioro que presenta la vía en el sector Sayán – Tingo de aproximadamente 60 km de recorrido.



Calle cerca de los baños Meseta



Vendedoras de los quesos tradicionales

Churín no es un sitio con una historia tan atractiva como algunos otros balnearios, sobre todo Cajamarca o Aguas Calientes de Machu Picchu, pero eso no significa que no haya ningún testimonio de presencia humana anterior a la llegada de los españoles en el siglo XVI. Al contrario, en el valle de Huaura se encuentran los restos de viviendas que datan de tiempos anteriores al 2000 antes de nuestra era. En los alrededores de Churín, además de los objetos de esta era „pre-cerámica“, se encontraron los artefactos cerámicos y otros fragmentos de eras más recientes. Especialmente la parte superior del río Checras, donde trabajó una expedición arqueológica polaca en los años setenta del siglo XX, se mostró como una región rica en los vestigios históricos pre-coloniales.

Los restos arqueológicos más llamativos en la región no se encuentran muy cerca de Churín y su aprovechamiento en el turismo es problemático. Se trata de „la ciudad“ de Ninash en las alturas de Andajes (distrito vecino de Pachangará), cubierta por abundante vegetación, y de la ruina de la era de la cultura de Chavín, cuya función era de un lugar de adoración. Se llama Cuncun y se encuentra en las alturas del distrito Oyón.

Durante el reino de los Incas, se construyó un camino desde la región montañosa de Cajatambo (que forma hoy una provincia que cofina al norte con la provincia de Oyón) hacia los caminos de la costa, para llegar a Pachacámac (un sitio de culto incáico al norte de Lima). En lugares cercanos a Churín se pueden ver algunos restos de este camino perfecto (especialmente cerca de Tingo en la confluencia de Huaura y Checras).

Los primeros españoles llegaron a la zona en Febrero de 1535. En 1560, se creó el Corregimiento y Justicia Mayor de Cajatambo, dependiente de la Real Audiencia de Lima y de su Arcidiócesis. El poblado de Churín formó parte de este Corregimiento.

Después de la Independencia, las condiciones cambiaron varias veces condiciones administrativas de Churín. Finalmente, a partir de 1941, pasó a ser la capital del distrito

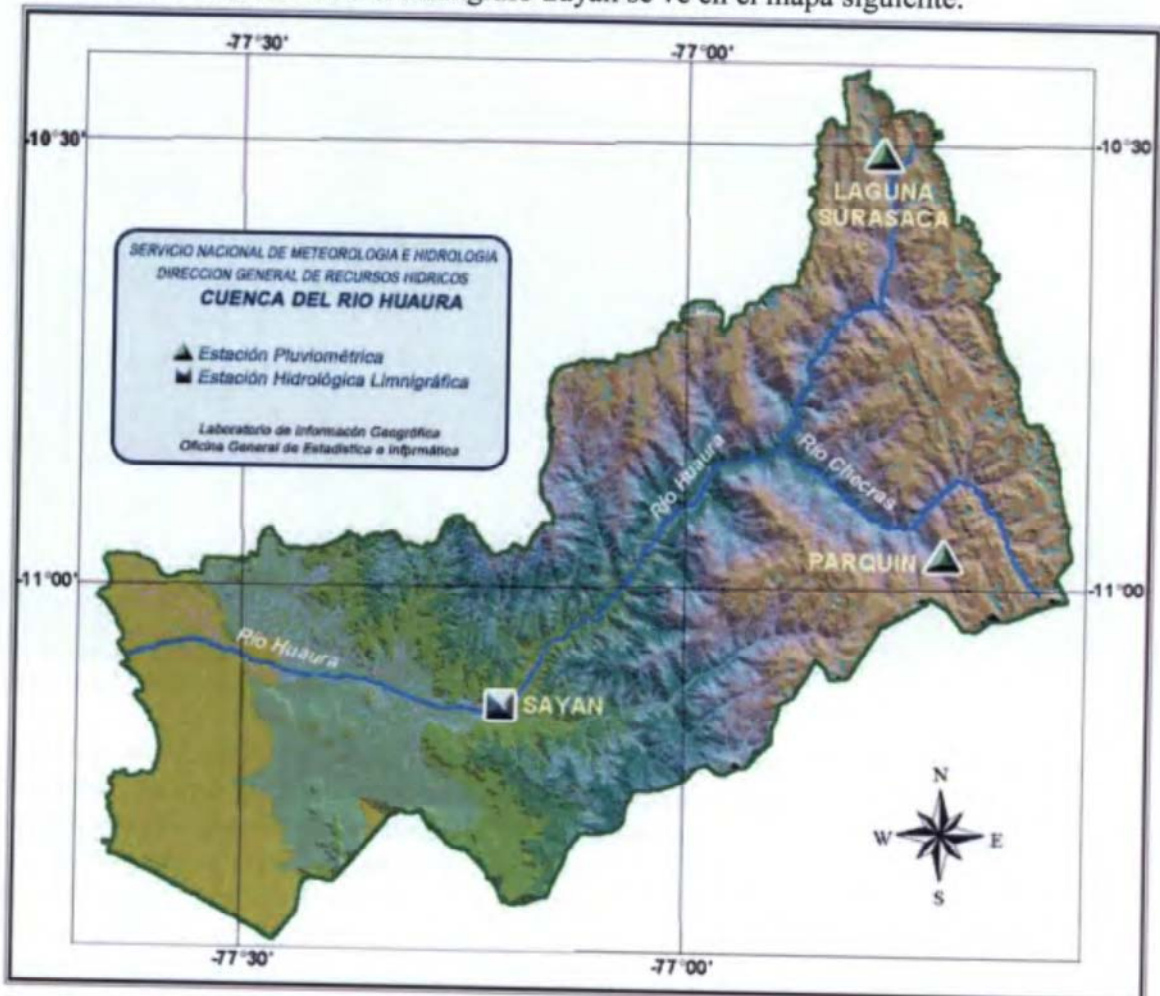
de Pachangará. En 1944, Churín fue declarado balneario termal y en 1950, la comunidad de Churín tomó posesión de las aguas (después que las tuviera el japonés Kudo desde 1935). Una persona de importancia primordial en esta época de los años cuarenta era el balneólogo checo Dr. Ladislao Prazak. Luego de investigar las aguas de Churín, afirmó que se trata de unos balnearios excelentes debido a la composición de aguas, el poder terapéutico de ellas y también de caudal de las fuentes, que es más que suficiente.

7.2. Condiciones hidrometeorológicas

El río Huaura nace en la Vertiente Occidental de la Cordillera de los Andes a más de 5,000 msnm., y discurre en dirección Oeste para desembocar en el Océano Pacífico. Políticamente la cuenca forma parte de las provincias de Chancay y Oyón, pertenecientes al departamento de Lima; abarcando una extensión de 4,770 km². Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran entre los paralelos 10° 27' y 11° 13' de Latitud Sur y los meridianos 76° 32' y 77° 39' de Longitud Oeste.

Limita por el norte con las cuencas del río Supe y Pativilca, por el sur con la cuenca del río Chancay-Huaral, por el este con las cuencas de los ríos Marañón, Huallaga y Mantaro y por el Oeste con el Océano Pacífico Cuenta con un área de 3,015 km² por encima de la cota 1,800 m.s.n.m., área que corresponde a la denominada cuenca húmeda o "imbrífrica" del río Huaura que cuenta con un área total de 4,770 km². En las partes más altas de la cuenca se encuentran algunas lagunas. Entre ellas destacan Surasaca, Cochaquillo, Patón, Coyllarcocha y Mancancocha.

La cuenca del Huaura hasta el limnógrafo Sayán se ve en el mapa siguiente.



Cuenca del río Huaura

Aunque la precipitación media anual fluctúa de un sitio a otro, existe una alta correlación entre la precipitación y la altitud del sitio. Para la ilustración fueron escogidas dos estaciones pluviométricas.

Las estaciones en la cuenca del Huaura

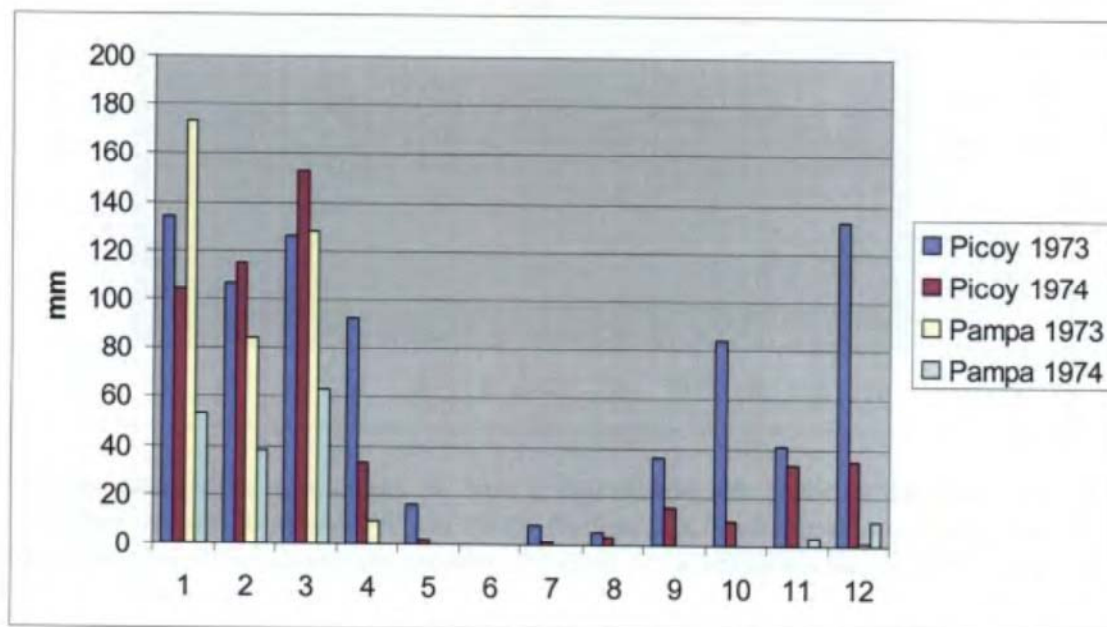
Estación	x	y	z	Año y precipitación anual correspondiente	
Picoy	10°55' S	76°44' W	2990 msnm.	1972	
				1973	785,4 mm
				1974	506,9 mm
Pampa Libre	10°52' S	76°58' "W	1800 msnm.	1972	
				1973	396,1 mm
				1974	168,2 mm



Estación climática y meteorológica Picoy

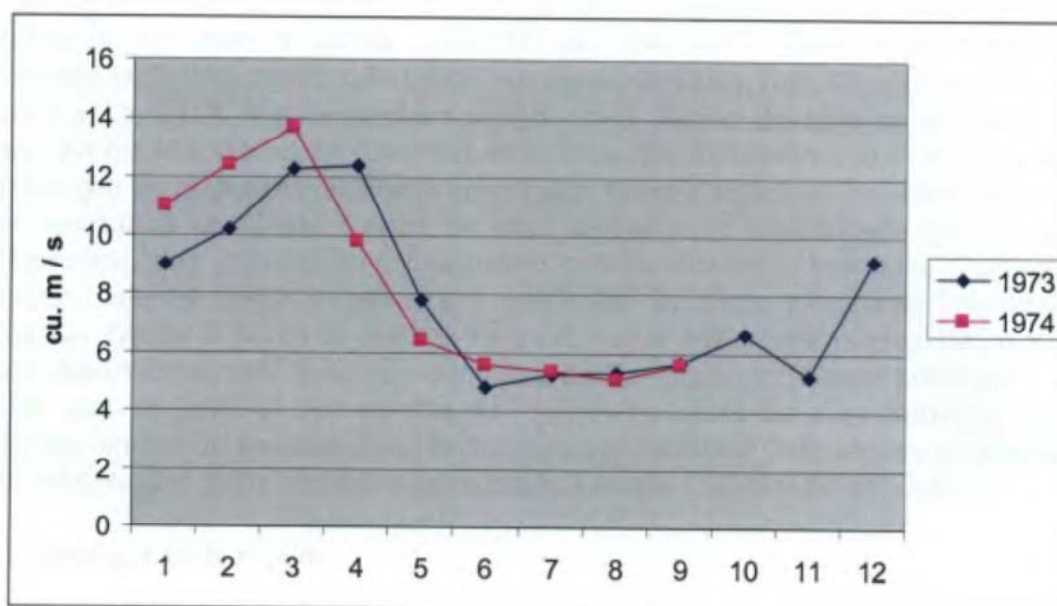
Estudios efectuados por el ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales) dentro de la cuenca del río Huaura han permitido establecer variaciones medias anuales que van desde los 20°C en la Costa hasta los 6°C en las partes más altas. En costa, y hasta unos 800 m.s.n.m., la temperatura aumenta a medida que se avanza tierra dentro, a partir de los 800 m.s.n.m., temperatura desciende a medida que se gana en altitud. En el sector altitudinal comprendido entre los 1,800 y 2,800 m.s.n.m. el gradiente térmico disminuye con la altitud; el promedio de temperatura es de 14°C. En el sector inmediato, comprendido entre 2,800 y 3,700 m.s.n.m. se ha estimado un valor promedio

de 10°C. Finalmente, en el área comprendida entre los 3,700 y 4,200 m.s.n.m. (estaciones Pachamachay y Surasaca se encuentran sobre los 4,200 m.s.n.m.), la temperatura promedio anual es de 8°C.



La humedad relativa es mayor en la costa (85%) que en la sierra (64%). Igualmente se ha establecido que mientras en la costa es mayor durante el invierno, en la sierra es mayor en verano.

Las descargas de los ríos normalmente se concentran durante los meses de enero a mayo, estando el período de estiaje comprendido en el lapso entre julio y septiembre. Se ha establecido que el rendimiento medio anual en la cuenca húmeda es del orden de 303,490 m³/km².



Análisis estadísticos efectuados en base a la información histórica del período (1926-1968) han permitido establecer una cierta tendencia a la disminución, a largo plazo, de los volúmenes de las descargas anuales. Análisis de la prognosis de los niveles extremos contiene la siguiente tabla.

Análisis de la prognosis de los niveles extremos

Período de la repetición	Descarga máxima (m3/seg.)	Duración (%)	Descarga (m3/s)
100	600	0	230
50	500	5	52
20	340	50	15
10	230	75	30
5	150	80	10
		95	4.0
		100	6,17

7.3 Geología

La geología de los alrededores de Churín está presentada en el mapa geológico del cuadrángulo de Oyón a escala 1:100 000 del año 1973 (22-j). Este cuadrángulo fue actualizado en 2003 a escala 1:50 000 (Cuadrángulo de Oyón, hoja 22-j-III) por los autores D. Romero y La Torre. Varios cambios significativos fueron llevados en el marco de nuevo mapeo. En los alrededores de Churín se definieron dos formaciones nuevas de rocas de edad Jurásico que originalmente fueron consideradas como Cretácicas. Se identificaron también rocas volcánicas de Grupo Casma de edad Cretácico y determinado por las dataciones radiométricas, que pertenecieron originalmente a la secuencia volcánica Calipuy de edad Terciario. Además fueron redefinidas y precisadas las rocas volcánicas Terciarias y rocas plutónicas. Desde el punto de vista estructural, varias estructuras nuevas (fallas y pliegues) fueron descubiertas, ante todo una estructura de flor positiva ("flower structure") de rumbo NO-SE que se halla al SO de Churín. Sobre las fallas de cabalgamiento fuertemente inclinadas ocurrió un levantamiento de formaciones Jurásicas. Para nuestro estudio utilizamos como referencia el mapa geológico actualizado a escala 1:50 000 del año 2003.

7.3.1. Geología de la región

Las rocas más antiguas del área de estudio son de edad Jurásico. Eran evidenciadas por las dataciones de fósiles encontradas en los sedimentos del Miembro Churín de la Formación Chicama. Las rocas Jurásicas afloran en el centro de la estructura y cabalgan por la falla Churín-Acaín-Jucul sobre las secuencias plegadas de Cretácico (Grupo Goyllarisquisga y formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha) que forman una parte importante de NE de la hoja. En la parte SO de la hoja predominan las rocas volcánicas Casma del Cretácico y Calipuy del Terciario. En toda la hoja se hallan intrusiones de granodioritas, dioritas y tonalitas de edad Terciario. Por el área de estudio son típicas acumulaciones potentes de sedimentos cuaternarios, tales como los que conos aluviales y deslizamientos, que resultan de la morfología marcada con cuestas escarpadas.

El marco estructural está caracterizado por el estilo tectónico transpresivo que genera varias fallas de cabalgamiento de rumbo NO-SE con desplazamiento vertical que alcanza hasta cientos de metros y presenta vergencias hacia el NE y SO. Estos cabalgamientos son localizados tanto en rocas de edad Jurásico como en los sedimentos y rocas volcánicas Cretácicos. Las formaciones más jóvenes afectadas por la tectónica son tobas y andesitas Terciarios de grupo Calipuy. Las intrusiones de granodioritas y tonalitas cortan en la mayoría de veces los cabalgamientos con una discordancia. Además, las rocas Jurásicas y Cretácicas están fuertemente plegadas, lo que lleva en algunos casos hasta la creación de pliegues isoclinales. Los ejes de pliegues tienen generalmente el rumbo NO-SE, lo mismo que tienen los planos de cabalgamiento. Por eso se interpreta que estas estructuras se desarrollan durante una fase tectónica. En el área de estudio se observaron también fallas de cizalla de rumbo NE-SO con el sentido de movimiento dextral que afectan la estructura dominante de pliegues y cabalgamientos. En algunos casos se terminan sobre cabalgamientos. La presencia de fallas de cizalla que son más jóvenes que la estructura de pliegues y cabalgamientos implica que la región fue afectada todavía por una otra fase de deformación.

Las estructuras descritas arriba demuestran una fase de mayor deformación. Esta fase ocurrió durante el Eoceno o Oligoceno (después de la efusión de rocas de Grupo Calipuy y antes de la intrusión de magmas granodioríticas y tonalíticas). Se trata probablemente de la fase Inca que tuvo lugar a finales de Eoceno (Steinmann, 1929). Esta fase orogénica es conocida en todo el

Perú y es la que causó la deformación compresional de la mayoría de los sedimentos Cretácicos. La fase Inca pasó a la fase Aymara, que ocurrió a fines del Oligoceno (Sempere et al., 1990). La expresión de esta fase en el área de estudio son la fallas de cizalla más jóvenes.


Nombre de formación / símbolo		Descripción y litología	Espesor
Jurásico			
Formación Oyotún (Ji-oy)		En la parte inferior conglomerados gris verdosos con clastos de 5-10 cm de diámetro de cuarcitas, rocas volcánicas y esquistos negros, intercalados con tobas litocristalinas; en la parte superior tobas soldadas violáceas y verdes, intercaladas con areniscas y limolitas de composición tobácea.	280 m
Fm. Chicama	Miembro Cabracancha (Jm-ca)	Sobreyace con discordancia a la Fm. Oyotún. Areniscas cuarzosas rosadas, blancas y grises intercaladas con limoarcillitas gris oscuras o negras conteniendo lentes y delgados estratos de areniscas finas limosas.	400 m
	Miembro Churín (Jms-ch)	Limoarcillitas gris y negras se intercalan con calizas grises (estratos de 2-4 m), areniscas grises y estratos delgados de yeso	600 m
Cretácico inferior			
Grupo Goyllarisquizga	Formación Oyón (Ki-oy)	Sobreyace con ligera discordancia o concordantemente al Miembro Churín de la Fm. Chicama. Areniscas cuarzosas grises y blancas intercaladas con limoarcillitas gris oscuras y negras y estratos de carbón que la caracteriza.	400 m
	Formación Chimú (Ki-chi)	Concordantemente a la Fm. Oyón. Areniscas cuarzosas blancas intercaladas con limoarcillitas grises a negras y estratos delgados de carbón. Hacia la parte superior principalmente areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, en estratos gruesos de hasta 5 m.	500 m
	Formación Santa (Ki-sa)	Concordantemente a la Fm. Chimú. En la parte inferior la parte inferior se compone de areniscas curzosas blancas y rosadas con cemento calcáreo, intercalados con estratos y lentes de calizas arenosas amarillentas y limoarcillitas grises. Hacia la parte superior presenta calizas grises y rojizas ferruginosas a veces con chert (hasta 10 cm) intercaladas con limoarcillitas gris oscuras.	70 m
	Formación Carhuaz (Ki-ca)	Hacia la base limoarcillitas grises que pasan en la parte superior a areniscas cuarzosas grises y pardas intercaladas con limoarcillitas	400 m
	Formación Farrat (Ki-fa)	Areniscas cuarzosas blancas, canales de conglomerados con clastos de subredondeados a redondeados de cuarzo, cuarcita y volcánicos	80 m



Formación Chúlec (Ki-chu)		La parte inferior es compuesta por estratos delgados de calizas grises, amarillentas y rojizas ferruginosas, intercaladas con limoarcillitas grises. En la parte superior calizas grises en estratos gruesos, a veces con estructuras nodulares	50 m
Formación Pariatambo (Ki-pt)		Limoarcillitas negras intercaladas con calizas negras fétidas. En la parte superior calizas en estratos gruesos	200 m?
Grupo Casma	Miembro inferior (Ki-cas/v)	Concordantemente sobre la Fm. Chúlec o con discordancia a Fm. Chicama. En la base conglomerados con clastos de cuarcitas, seguido de tobas alteradas, tobas de cristales y andesitas.	
	Miembro superior (Ki-cas/vs)	Limoarcillitas con laminación horizontal fina, intercalada con areniscas finas, calizas y estratos delgados de silex, tobas y coladas volcánicas	300 m
Cretácico superior			
Formación Jumasha (Kis-ju)		Limoarcillitas negras están intercaladas con delgados estratos de calizas grises, las cuales hacia la parte superior pasan a calizas en estratos delgados a medianos grises, algunas nodulares (en promedio 8 m de grosor). La secuencia superior se compone de calizas en estratos delgados tabulares, intercalados con delgados estratos de limoarcillitas grises.	500 m?
Terciario inferior			
Grupo Calipuy Peo-ca		Tobas de cristales, cristalolíticas y coladas volcánicas con algunas brechas y conglomerados con clastos volcánicos	
Terciario superior			
Fm. Millotingo	Centro volcánico Vizcacha (Nm-mi-vi)	Secuencia volcánica compuesta por tobas de cristales grises, blanquecinas y violáceas, coladas andesíticas y brechas volcánicas	
	Centro volcánico Condorsenga (Nm-mi-co)	Coladas andesíticas grises, brechas volcánicas, tobas de cristales y cristalolíticas, areniscas y limos gris amarillentos de composición tobácea silicificados	
Intrusivos a efusivos			
Dioritas, granodioritas a tonalitas		Plutones Caujul, Colcapampa, Palpas-Nava Stock Tongos, Andajes, Vizcacha	
Dacitas a andezitas		Stock Canín, Domos Paccho, Huaychaucala	



7.3.2. Geología de la cuenca del Río Huaura y de las cercanías de Churín



Las fuentes termales, que fueron estudiadas con detalle, se encuentran en la cuenca del Río Huaura y los alrededores (el área de la confluencia con el Río Checras, quebrada Rucayaco). Hay dos grupos de fuentes termales: **Meseta** en la vecindad de Churín, y **Fierro-Tingo**, ubicado aproximadamente 3-4 km al SO de Churín


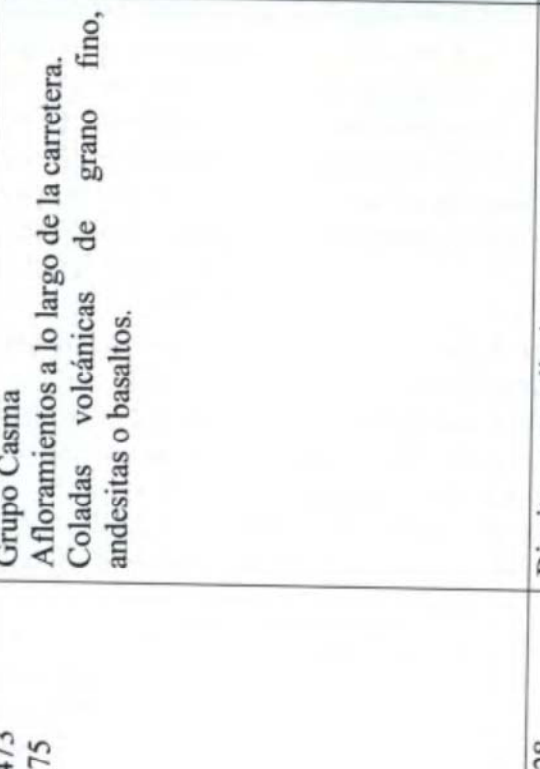
Estos dos grupos de fuentes están caracterizados por una diferencia considerable de las temperaturas y propiedades químicas, relacionada a la geología y condiciones diferentes de la formación. Para comprender la situación geológica y la razón de la diferencia entre los dos grupos se construyeron cinco cortes geológicos: dos cortes por la ladera noroeste y sureste de la cuenca de Huaura (A-A' a B-B') de rumbo NE-SO, que atraviesan las estructuras mayores de pliegues y fallas de cabalgamiento, y tres cortes a través de la cuenca de Huaura de rumbo NO-SE (Meseta - C-C', Fierro - D-D' a Tingo - E-E'), que son paralelos a los ejes de pliegues. Los cortes tienen una exageración vertical dos veces. Durante los trabajos de campo y la construcción de los cortes advertimos que el mapa del año 2003 tampoco está completamente exacta y por eso sugerimos unos retoques mencionados en el capítulo siguiente.

ID	Coordenadas	Formación / Símbolo Descripción de afloramiento, litología y rumbo y buzamiento de estratificación (S) y fallas	Fotodocumentación
41	N8802288 W293703	Corte de la carretera. Ignimbritas blancas con líticos negros de 0,5 cm, areniscas de grano medio compuestos de material volcánico. S = 15/75	

1	N8801990 W292264	<p>Miembro Cabracancho (Jm-ca) Baños de Fierro, afloramiento a lo lado del camino. Cuarciras blancas, muy compactas, con intercalaciones de limolitas oscuras. S = 48/85</p>	
7	N8802330 W294926	<p>Miembro Churín (Jms-ch) Corte de la carretera. Esquistos negros, luitas, limoarcillitas con lentes de yeso y concreciones de Fe (color rojizo de la roca). S = 75/30, F = 74/63</p>	

4	<p>N8799322 W299250</p>	<p>Formación Oyón (Ki-oy) Afloramientos en la ladera, Huacho Sin Pescado. Lutitas y limoarcillitas negras.</p>	
16	<p>N8806044 W295860</p>	<p>Formación Chimú (Ki-chi) Rocas en el valle de la quebrada. Cuarzitas y areniscas masivas con bandas de color blanco y gris. S = 245/64</p>	

33	N8806327 W293326	<p>Formación Santa (Ki-su) Afloramientos en el lecho de la quebrada. Calizas gris en bancos gruesos de 1 m. S = 75/60</p>	
20	N8805435 W294800	<p>Formación Carhuaz (Ki-ca) Corte de camino. Esquistos y lutitas negros deleznales. S = 78/45</p>	

34	<p>N8799473 W291175</p>	<p>Grupo Casma Afloramientos a lo largo de la carretera. Coladas volcánicas de grano fino, andesitas o basaltos.</p>	
21	<p>N8808628 W296499</p>	<p>Dioritas, granodioritas y tonalitas Afloramientos a lo lado de la carretera y en la ladera. Tonalitas de grano medio hasta grueso, compuestos mayormente de feldspatos, anfíbol, biotita</p>	

7.3.3. Geología estructural

Los dos cortes geológicos paralelos en la cuenca del Río Huaura (A-A' y B-B' – véase mapa geológico) muestran las estructuras similares. De suroeste hacia noreste se pueden distinguir las unidades lito-tectónicas siguientes:

- 1) rocas volcánicas de grupo Casma de edad Cretácico
- 2) rocas volcánicas y sedimentos Jurásicos de la Formaciones Oyotún y Chicama
- 3) sedimentos Cretácicos del Grupo Goyllarisquizga y Formación Chúlec
- 4) intrusión de granodiorita y tonalita Palpas-Nava de edad Terciario

Los cortes A-A' a B-B' empiezan al SE por una secuencia de rocas volcánicas de Grupo Casma, que se yuxtaponen a las areniscas cuarzosas y lutitas Jurásicas de la Formación Cabracancha por un contacto discordante o a veces tectónico. El Grupo Casma está representado por una secuencia de andesitas y tobas con conglomerados en la base. Varios sistemas de diaclasas sin orientación de preferencia fueron desarrollados en estas rocas, lo que implica una buena permeabilidad para la circulación del agua.

En la dirección NE de las rocas volcánicas Cretácicas aflora el miembro Cabracancha de la Formación Chicama Jurásica. La litología mayor es una secuencia de cuarcitas y areniscas cuarzosas de color blanco y gris con capas de espesor cerca de 50 cm que son intecaladas por lutitas de color gris o rojizos gracias al contenido alto de Fe. Se encuentran también capas de carbón. En el corte geológico y el mapa afloran a lo largo de 2 km en la ladera noroeste (A-A') y 1,5 km en la ladera sureste (B-B') del valle de Huaura y aproximadamente 2 km en el mismo valle. Sin embargo, el espesor del miembro Cabracancha indicado en el boletín es sólo 400 m. En el caso que la imbricación regular de „escamas“ tectónicas es desarrollada tal como aluden los autores del mapa 1:50 000 y como es ilustrado en los cortes, interpretamos que el Miembro Cabracancha alterna con la Formación volcano-sedimentaria Oyotún subyacente. Sin embargo, en el campo se observan solo capas del Miembro Cabracancha con un fuerte buzamiento hacia NO y SE, mientras que ni en la ladera ni en el valle la Formación Oyotún ocurre. Rocas volcánicas y sedimentarias de la Formación Oyotún afloran solo en un lugar particular: en el centro de la estructura de flor.

Hay dos alternativas de la explicación de esta situación geológica:

- 1) en la base de los estratos del Miembro Cabracancha ocurrió un despegue desde la Formación Oyotún subyacente, lo que fue seguido por una imbricación de capas con alto ángulo, que se desarrolló solo en los sedimentos;
- 2) la estructura de „escamas“ así como es ilustrado en el corte es algo forzoso, y una explicación mejor sería por ejemplo un espesor más grande del Miembro Cabracancha (700-1000 m) y su repetición tetónica sólo dos veces.

Los sedimentos del Miembro Cabracancha son bien permeables para la circulación del agua gracias a las cuarcitas y areniscas cuarzosas con un sistema de diaclasas bien desarrolladas. De la geomorfología y la geología se puede inferir la existencia de una falla de rumbo NO-SE pasando por la cuenca del Río Checras. Esta falla es probablemente un cabalgamiento dentro de sedimentos del Miembro Cabracancha.

Como ya fue mencionado, la formación más antigua de Jurásico Oyotún aflora al norte y este de las fuentes de Fierro, en el centro de la estructura de flor. El contacto con la Formación Cabracancha más joven tiene un carácter de fallas de cabalgamiento con un

fuerte buzamiento. Esta Formación incluye principalmente tobas y areniscas tobáceas, que son poco permeables para agua.

Hacia el NE afloran una vez más las cuarcitas del Miembro Cabracancho, que sobreyacen al Miembro Churín, lo más joven de la Formación Chicama de edad Jurásico. El contacto tiene un carácter de falla de cabalgamiento con un buzamiento de alto ángulo hacia el SO. El Miembro Churín se compone de lutitas y limoarcillitas oscuras y delesnables con intercalaciones de areniscas y yeso. Se observan numerosas concreciones de Fe y el color típico rojizo de lutitas documenta también un contenido alto de Fe. El Miembro Churín forma la mayoría de la cuesta encima de Churín y continua más al SO hacia el pueblo Huacho Sin Pescado. Las lutitas y limoarcillitas del Miembro Churín afloran también al otro lado del valle de Huaura, en la quebrada Rucayaco. Su presencia fue observada en el campo más arriba en plena quebrada, donde se indica el Miembro Cabracancho en el mapa geológico (2003). Muy cerca a la estructura de flor, el Miembro Churín está afectado por fallamiento y pliegues, la estratificación tiene un buzamiento hacia NE. La secuencia sedimentaria de Churín es poco permeable para la circulación del agua porque está compuesta de lutitas y limoarcillitas.

Las secuencias volcano-sedimentarias de Jurásico cabalgan por una falla importante Churín-Acaín-Jucul sobre los sedimentos Cretácicos fuertemente plegados y afectados por cabalgamientos locales. La falla Churín-Acaín-Jucul tiene un buzamiento NO-SE y la vergencia hacia NE. El plano de falla no se observa en el campo pero se pueden ver algunos indicios sugiriendo su existencia. La falla está bien marcada por geomorfología, especialmente en el norte donde está realizada por la quebrada Rucayaco. Además en algunos afloramientos de lutitas Churín se desarrollaron cabalgamientos locales con una vergencia hacia el NO, que probablemente pertenecen a una zona tectonizada gruesa. En ambos cortes se observa un contacto abrupto entre los sedimentos Jurásicos y Cretácicos, que afloran más al NE. Dado que se yuxtaponen el Miembro Churín y la Formación aquí, se estima la tasa de rechazo vertical a aproximadamente 2000 m.

La formación estratigráficamente superior yaciendo debajo de la falla Churín-Acaín-Jucul, compuesta por esquistos y lutitas, es la Formación Carhuaz (Grupo Goyllarisquiza). Debajo de estas capas se hallan las Formaciones Santa y Chimú que afloran más a NE. Esta secuencia se repite en otra „escama“ tectónica a NE, pero con las Formaciones Farrat y Chúlec además sobre la Fm. Carhuaz, que afloran en el centro de un sinclinal local muy cerca del plutón Palpas-Nava. Son los sedimentos Cretácicos los más jóvenes que se encuentran en el área de estudio. El buzamiento general de la estratificación plegada es hacia el SO.

La formación Carhuaz alcanza el espesor grande (hasta 400 m) y es compuesta de esquistos negros que son caracterizados por una buena desprendibilidad paralela a la estratificación y por las estructuras sinsedimentarias preservadas (ondulaciones etc...). Estos sedimentos son poco permeables para la circulación del agua. La Formación Santa solamente alcanza un espesor de 70 m y es formada por bancos masivos de calizas grises con estructuras kársticas locales, que son intercaladas con limolitas. Las calizas son bien permeables para la circulación del agua dado que las diaclasas abiertas y kársticas son bien desarrolladas. Para la Formación Chimú son típicas las cuarcitas blancas y grises con un sistema de diaclasas bien desarrollado, que son muy permeables para la circulación del agua. Fm. Chimú alcanza un espesor de 500 m. Dado el espesor pequeño de Fm. Santa, suponemos que en la parte SE de la cuenca aflora la cantidad de las cuarcitas Chimú más

importante que la que está indicada en el mapa geológico (2003). La secuencia debajo de Chimú, Oyón, no aflora en el área de estudio. En otros lugares fue descrita como la secuencia de areniscas y lutitas, con la permabilidad mediana para agua.

Toda la secuencia Cretácica es cortada por una discordancia con un plutón granodiorítico-tonalítico Palpas-Nava. Este plutón causó el metamorfismo de contacto de bajo grado de los sedimentos Cretácicos.

En base a las observaciones de campo interpretamos, que una falla importante pasa por el valle del Río Huaura. Esta falla es casi subvertical y que el bloque NO bajó con un componente dextral de movimiento con respecto al bloque SE. El plano de la falla Huaura no se puede observar directamente en el campo, pero su existencia es documentada por la geomorfología, el valle marcado de Huaura que atraviesa todas las estructuras pre-existentes de pliegues y fallas; pero también por las observaciones en el campo: las estructuras particulares (pliegues, cabalgamientos, buzamientos de estratificación, litología) no corresponden en las cuestas opuestas del valle de Huaura. Es evidente que ocurrió un movimiento mutuo de los dos bloques.

En los cortes transversales al valle de Huaura (C-C', D-D' y E-E') existe una diferencia aparente entre la cuesta noroeste y sureste. Los cortes son paralelos a los ejes de pliegues y planos de cabalgamiento y por eso las capas individuales están ilustradas como sub-horizontales, aunque en el terreno tan deformado se trata de una cierta simplificación. En los tres cortes está indicada la falla que pasa por el valle de Huaura y que tiene una gran importancia ya que es la estructura que condiciona el ascenso de aguas termales.

7.3.4. Relación del marco estructural observado y las propiedades hidrogeológicas

En el área de estudio se encuentran dos tipos de fuentes, que se distinguen mucho en la composición química y la temperatura de la fuente. Sus propiedades físicas y químicas son tan diferentes que suponemos que existen dos sistemas diferentes de formación y migración, excluyendo el contacto y la mezcla de las aguas en la profundidad.

Aguas del grupo **Meseta** son muy ricas en calcio, como muestra una pila de travertina en los alrededores de la fuente. Las aguas contienen también bastante sulfatos, pero no contienen mucho hierro. La temperatura de la fuente es alrededor de 30°C, lo que sugiere las profundidades de su origen de 1,000 m o menos. Durante el ascenso, las aguas atravesaron las rocas ricas en Ca-SO₄, probablemente calizas con intercalaciones de yeso.

Se puede determinar del mapa geológico que el área probable de infiltración son las cuarcitas masivas y bien permeables de la Formación Chimú, aflorando en ambos lados del valle del Río Huaura al norte de Churín. Sobre estas cuarcitas yacen las calizas Santa, que dan lugar a la presencia de calcio en las aguas termales. Esquistos y lutitas de la Formación Carhuaz que son poco permeables sobreyacen estas formaciones. Toda la secuencia sedimentaria Cretácica cae debajo de lutitas y esquistos de la Formación Churín, también impermeables, por la falla de cabalgamiento de rumbo NO-SE. Las aguas se calientan en la profundidad y después ascienden a lo largo de la zona tectónica que pasa por el valle de Huaura. Las fuentes son alineadas en el valle paralelo al río, lo que implica su relación a la falla.

Aguas del grupo **Fierro y Tingo** son muy ricas en Fe, como muestra su color barroso, y las temperaturas de las fuentes alcanzan 60°C. De la geología de los alrededores de las fuentes concluimos que el área más probable de infiltración sea en las cuarcitas y areniscas cuarzosas de la Formación Cabracancha en la ladera de NO del Río Huaura, con una contribución posible de areniscas Cabracancha en la cuesta de SE y las rocas volcánicas (basaltos/andesitas) al oeste de Andajes.

Las capas tienen generalmente el rumbo NO-SE y un fuerte buzamiento, lo que permite el movimiento del agua a lo largo de las capas sedimentarias y su infiltración hasta las profundidades importantes (2 km). Las aguas se enriquecen con el Fe o directamente de las intercalaciones de lutitas entre las cuarcitas Cabracancha, o de las volcanitas de la Formación Oyotún, o de las lutitas y limolitas superior de la Fm. Churín ricas en Fe. Igualmente que por el grupo de fuentes Meseta interpretamos que el ascenso ocurre gracias a la falla inclinada Huaura, como implica la posición de pequeñas y grandes fuentes alineados en el eje del valle.

7.4. Condiciones hidrogeológicas

En la región de las fuentes de Churín afloran las formaciones plegadas del Cretáceo inferior (Ki) y de Jura (Ji-Jm), la clasificación de las cuales se ve en la tabla.

7.4.1. Clasificación hidrogeológica

Formación	Descripción de la unidad geológica / espesor	Clasificación hidrogeológica
Oyotún (Ji-oy)	Formación volcanoclástica / 280 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Cabracancha (Jm-ca)	Areniscas cuarzosas hasta cuarcitas que alternan con limoarcillitas que contienen estratos delgados de areniscas finas y filones de carbón / 400 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Miembro Churín (Jms-ch)	Limoarcillitas que alternan con calizas (estratos 2-4 m), areniscas y estratos delgados hasta lentejas de yeso / 600 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Oyón (Ki-oy)	Areniscas con intercalaciones de lutitas gris oscuras y estratos de carbón / 400 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Chimú (Ki-chi)	Areniscas cuarcíticas hasta cuarcitas con intercalaciones de limoarcillitas y estratos delgados de carbón. En la parte superior predominación de las areniscas cuarcíticas blancas en los estratos gruesos hasta 5 m / 500 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Santa (Ki-sa)	Areniscas con cemento de calcio que alternan con calizas arenosas y limoarcillitas; en la parte superior calizas, ricas en Fe, con estratos de limoarcillitas negras / 70 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Carhuaz (Ki-ca)	Arcillitas que pasan a areniscas cuarzosas en la parte superior con intercalaciones de lutitas / 400 m	Acuitardo (caudal pequeño)
Farrat (Ki-f)	Areniscas cuarzosas, conglomeratas con granos de cuarzo, arenisca y volcánitas / 80 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Chúlec (Ki-chu)	En la parte inferior estratos delgados de calizas con Fe con intercalaciones de limoarcillitas; en la parte superior bancos gruesos de calizas, a veces nodulares / 50 m	Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)
Pariatambo (Ki-pa)	Limoarcillitas que alternan con calizas conteniendo material orgánico (fétidas); en la parte superior estratos masivos de calizas / 200 m	Acuitardo (caudal pequeño) Acuífero en rocas fracturadas (caudal mediano)

Esta clasificación de las rocas y el modelo conceptual hidrogeológico básico, descrito en el próximo texto, fueron utilizados para la construcción de un mapa hidrogeológico en la escala 1 : 50 000. El mapa respeta los principios recomendados para este tipo de mapas y su leyenda para la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (W. Struckmeier, J. Margat, Volume 17, 1995, Verlag Heinz Heise).

El mapa hidrogeológico muestra:

- en color verde – los acuíferos en los que el agua se mueve en una red de fracturas regulares en las rocas sedimentarias sólidas (areniscas, cuarcitas, calizas de las formaciones Cabracancha, Chimú y Santa)
- en color marrón – acuicludes sin flujo del agua subterránea (arcillitas, lutitas, margas de las formaciones Churín y Carhuaz)
- en color azul – acuíferos en los que corre el agua en los poros de las rocas no consolidadas (sedimentos fluviales y coluviales)
- en color rojo marrón – acuíferos en los que el agua se mueve en una red irregular de las fracturas en las rocas sólidas (andesitas, dacitas, dioritas).

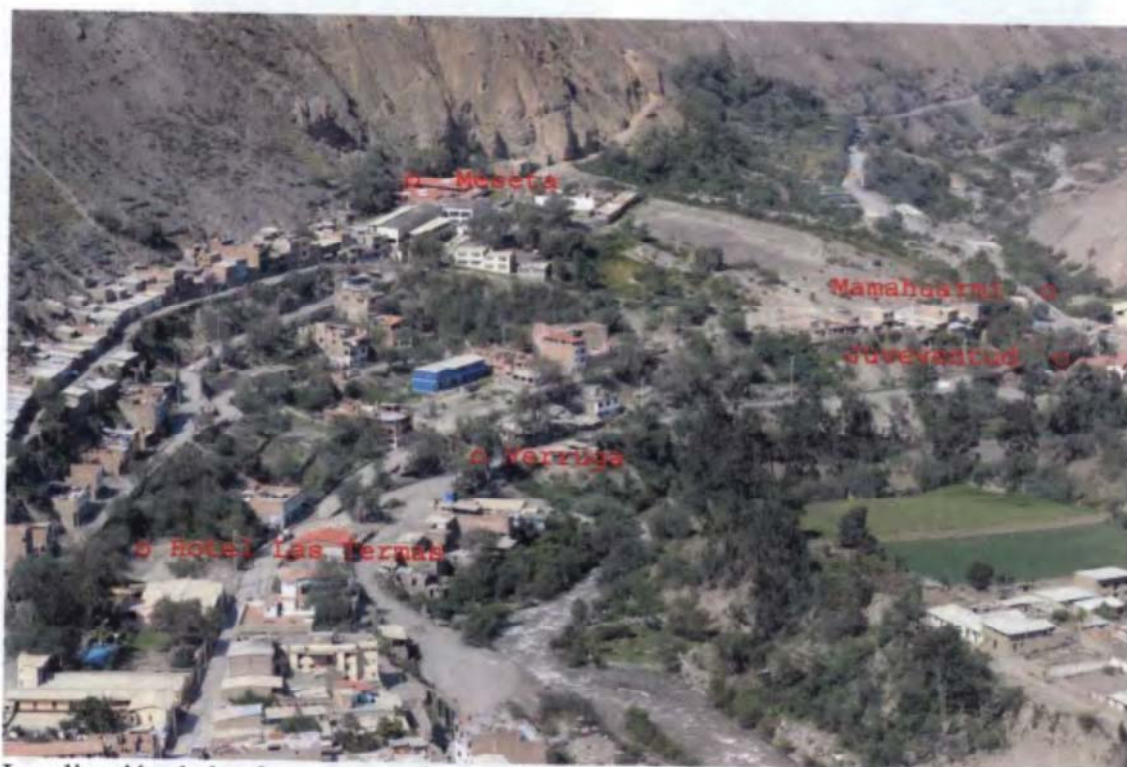
Para la clasificación cuantitativa, no teníamos datos suficientes. Por eso utilizamos el método de analogía, elaborado por prof. Krásný de la República Checa.

Color	Característica (definición)
Azul oscuro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y altamente productivo ($T > 100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q > 1 \text{ l/sm}$, $Q > 5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) con flujo de agua predominante en los poros
Azul claro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y mediamente productivo ($T = 10\text{-}100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,1\text{-}1 \text{ l/sm}$, $Q = 1\text{-}5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) o acuífero poco extenso ($< 100 \text{ km}^2$) pero altamente productivo con flujo de agua predominante en los poros
Verde oscuro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y altamente productivo ($T > 100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q > 1 \text{ l/sm}$, $Q > 5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) en el que el agua se mueve en una red de las fracturas regulares y por las cavernas kársticas
Verde claro	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) y mediamente productivo ($T = 10\text{-}100 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,1\text{-}1 \text{ l/sm}$, $Q = 1\text{-}5 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) o acuífero poco extenso ($< 100 \text{ km}^2$) pero altamente productivo ($< 100 \text{ km}^2$) en el que el agua corre predominantemente por las fracturas
Rojo marrón	Acuífero extenso ($> 100 \text{ km}^2$) de poca productividad ($T = 1\text{-}10 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,01\text{-}0,1 \text{ l/sm}$, $Q = 0,5\text{-}1 \text{ l/s}$ – pozos y fuentes) en el que el agua se mueve predominantemente en las facturas en las rocas intrusivas o metamórficas meteorizadas, o en una red irregular de las fracturas en las rocas volcánicas
Marrón claro	Acuitardo en el que se pueden acumular localmente pequeñas cantidades del agua subterránea ($T = 0,1\text{-}1 \text{ m}^2/\text{d}$, $q = 0,001\text{-}0,1 \text{ l/sm}$, $Q = 0,05 - 0,5 \text{ l/s}$)
Marrón oscuro	Acuicludo en el que casi no hay agua subterránea ($T < 0,1 \text{ m}^2/\text{d}$, $q < 0,001 \text{ l/sm}$, $Q < 0,05 \text{ l/s}$)

Cuarcitas y areniscas cuarzosas con los estratos del carbón de la formación Cabracancha forman el primer acuífero del area de Churín. El acuífero tiene espesor de 400 m. Es el ambiente de la formación de las fuentes Fierro y Tingo y probablemente también Viroc.

Encima se hallan las limoarcillitas que alteran con calizas (estratos de 2-4 m) y areniscas con la presencia frecuente del yeso de la formación Churín, y las areniscas y lutitas con intercalaciones del carbón de la formación Oyón. Si se trata de la secuencia no interrumpida de los estratos, estos tienen espesor a eso de 1000m y constituyen una separación poco impermeable del primer y segundo acuífero. .

Las areniscas cuarcitizas y cuarcitas con intercalaciones de limoarcillitas de la formación Chimú (500 m) y areniscas con el cemento calcáreo alteran con calizas arenosas y lutitas de la formación Santa (70 m) y constituyen el segundo acuífero en rocas fracturadas con el espesor total de 570 m. (Ambiente de la constitución del grupo de fuentes Churín y fuentes Huancachin y Paton.). Poco permeables lutitas y areniscas cuarzosas con las intercalaciones de las lutitas de la formación Carhuaz separan el segundo acuífero del tercero en la región de Churín.






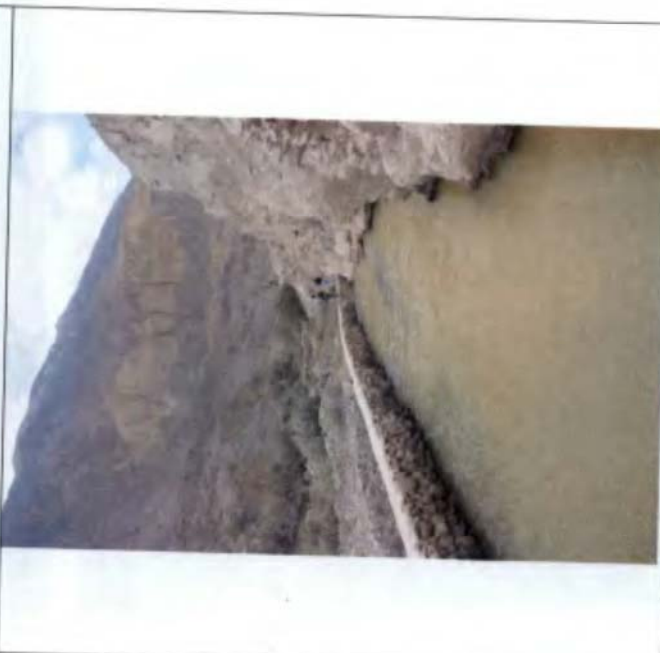
Localización de las fuentes termales en Churín


Areniscas y calizas de las formaciones Farrat (80 m) y Chúlec (50 m) forman un relativamente delgado macuífero que no ha sido estudiado. Tampoco han sido estudiados acuíferos en las formaciones litoestratigráficas más altas, así como las propiedades hidrogeológicas de las rocas volcánicas e ígneas de Cretáceo y Terciario.

En el área de Churín, hay algunas fuentes termales. La identificación de las fuentes, incluyendo las características físico-químicas, se halla en la tabla siguiente:



ID	Nombre/ Coordenadas	Descripción de afloramiento	Características físicas y químicas	Fotodocumentación
B1	Machay 294793 8803657 2322	<p>Grupo de 5 fuentes designada como Meseta a eso 100 m encima del valle del río Huaura.</p> <p>Fuentes: Esperanza I y II, Machay, Nahuin y Jatun. Caudal de las fuentes: Jatun - 30 l/s, Esperanza I + II 24 l/s. Caudal total estimado 74 l/s - descargas medidas 104 l/s.</p> <p>En la proximidad aflora de la pila de travertino una fuente para el hotel Las Termas con el caudal de 6 l/s. (midido 20.4.2006)</p> <p>El grupo aflora cerca de la cima de la pila de travertino en una línea de fuentes de 50 m de largo.</p>	<p>T = 33 °C (Mayo 2005) T = 32.9 °C (13.10. 2005) T = 32.6 °C (28.4.2006) Cond. = 1873 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1795 µS/cm (13.10. 2005) Cond. = 1755 µS/cm (28.4.2006) pH = 6.5 (Mayo 2005) pH = 6.76 (28.4.2006) Q = 10 l/s (20.4.2006)</p>	
B2	Nahuin	<p>Aguas subterráneas se forman en las rocas cuarzosas y calizas de las formaciones Chimú y Santa y suben a lo largo de la falla paralela con el valle de Churín a través del techo impermeable de las lutitas con las intercalaciones de areniscas y yeso de las formaciones Carhuaz y Churín.</p>	<p>T = 33 °C (Mayo 2005) T = 34 °C (13.10. 2005) T = 33.9 °C (28.4.2006) Cond. = 1873 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1850 µS/cm (13.10. 2005) Cond. = 1850 µS/cm (28.4.2006) pH = 6.3 (Mayo 2005) pH = 6.69 (28.4.2006) Q = 10 l/s (20.4.2006)</p>	

<p>B3</p>	<p>Agua de Verruga 294858 8803877 2271</p>	<p>Fuente que se derrama con una velocidad considerable del banco de travertino encima de la carretera principal. La fuerza del derrame indica que el agua viene de una distancia más grande por una caverna abierta en el banco. La fuente tiene una temperatura más baja que las otras del grupo y probablemente entra en el banco más bajo que el grupo en Meseta. La fuente no está captada y se utiliza solo para lavado local. El origen en las cuarcitas de la formación Chimú - desague a lo largo de una falla a través de lutitas con las intercalaciones de areniscas y yeso de los grupos Carhuaz y Churín.</p>	<p>T = 40 °C? (Mayo 2005) T = 29.1 °C (28.4.2006) Cond. = 1853 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1504 µS/cm (28.4.2006) pH = 6.4 (Mayo 2005) pH = 7.11 (28.4.2006) Q = 15 l/s (20.4.2006)</p>	
<p>B4</p>	<p>Juventud 294634 8803802 2262</p>	<p>Fuente captada por una ataguía de concreto bajo de la carretera. Baños viejos reconstruidos en 2006. Origen en las cuarcitas de la formación Chimú - desague a lo largo de la falla en arcillitas con intercalaciones de areniscas y yeso de las formaciones Carhuaz y Churín.</p>	<p>T = 31 °C (Mayo 2005) T = 31.8 °C (28.4.2006) Cond. = 1739 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1613 µS/cm (28.4.2006) pH = 6.6 (Mayo 2005) pH = 6.72 (28.4.2006) Q = 10 l/s (20.4.2006)</p>	

B5	<p>Velo de Novia Mama-Huarmi 294557 8803683 2257</p>	<p>La fuente con la ubicación más baja del grupo Churín. Salida de agua en una cueva pequeña formada en un banco de travertino.</p> <p>Origen en la cuarcitas de la formación Chimú – salida por una falla a través de lutitas con las intercalaciones de areniscas y yeso de las formaciones Carhuaz y Churín.</p>	<p>T = 31°C (Mayo 2005) T = 31.4 °C (28.4.2006) Cond. = 1753 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1731 µS/cm (28.4.2006) pH = 7.7 (Mayo 2005) pH = 7.72 (28.4.2006) Q = 20 l/s (20.4.2006)</p>	
B7	<p>Baños de Tingo 293192 8801374 (2153?)</p>	<p>Más baja del grupo de dos fuentes (Tingo a Fierro) en la entrada al valle de Churín. Fuentes dispersas afloran en los aluviones del río Huaura solo algunas decenas de centímetros encima del nivel del río.</p> <p>El agua es rica en gas – la cantidad de gas es la más grande en toda área. No tiene olor. Origen en las cuarcitas de la formación Cabracancha – salida por una falla en el valle del río a través de los sedimentos aluviales de un espesor no conocido.</p> <p>Agua subterránea normal, que aflora de las cuarcitas Cabracancha en el valle del arroyo Pucayaco tiene temperatura 22.5°C, pH 7.2 y conductividad 656 µS/cm, y contiene cantidad considerables de hierro.</p>	<p>T = 56 °C (Mayo 2005) T = 53°C (18.4.2006) Cond. = 3560 µS/cm (Mayo 2005) Cond. = 3730 µS/cm (18.4.2006) pH = 6.7 (Mayo 2005) Q = 10 l/s (incluyendo derrames fuera de la captación en la poza de concreto (21.4.2006)</p>	

B6	Baños de Fierro 293343 8801984 (2671?)	<p>Más alto del grupo de dos fuentes (Tingo a Fierro) en la entrada del valle de Churín.</p> <p>Una salida de agua concentrada está captada por un pozo de concreto algunos metros encima del nivel del río Huaura. Rica en gas, sin olor.</p> <p>Origen el las cuarcitas de la formación Cabracancha – salida por la falla en el valle del río a través de los sedimentos aluviales de un espesor desconocido.</p>	<p>T = 47 °C (Mayo 2005) T = 48 °C (18.4.2006)</p> <p>Cond. = 2450 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 2480 μS/cm (18.4.2006)</p> <p>pH – 5.7 (Mayo 2005) Q = 10 l/s (21.4.2006)</p>	
B8	Baños de Huan-cachiin 305503 8791472 2750	<p>Un derrame concentrado en la cima de una pila de travertino a eso de 20 m encima del río Checras.</p> <p>La fuente contiene un poco de gas (olor de ácido sulfhídrico).</p> <p>Aguas subterráneas del acuífero constituido en las rocas cuarzosas y calizas de las formaciones Chimú y Santa sale por una falla paralela con el río Checras a través del techo impermeable de lutitas con intercalaciones de areniscas y yeso de las formaciones Carhuaz y Churín y por los sedimentos aluviales.</p>	<p>T = 46 °C (Mayo 2005) T = 46°C (18.4.2006)</p> <p>Cond. = 3650 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 3880 μS/cm (19.4.2006)</p> <p>pH – 6.1 (Mayo 2005) Q = 15 l/s (19.4.2006)</p>	

B9	Baños de Huancahuasi 312637 8794568 3500	<p>Más alta del grupo de dos fuentes (Huancahuasi y Picoy). Un afloramiento disperso en un prado encima de los baños y un otro afloramiento bajo de los baños (foto). El agua de la fuente es constituida probablemente en las cuarcitas de la formación Cabracancha en la profundidad de aproximadamente 1000 m, y aflora en el sitio donde se cruzan fallas paralelas y perpendiculares al valle. Sale en la base de las cuarcitas de Chimú.</p>	<p>T = 56 °C (Mayo 2005) T = 60 °C (19.4.2006) Cond. = 1624 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1813 μS/cm (19.4.2006) pH = 7.9 (Mayo 2005) Q = 8 l/s (19.4.2006)</p>	
B10	Baños de Picoy 311899 8794358 3500	<p>Más baja del grupo de dos fuentes (Huancahuasi y Picoy). 4 fuentes con temperatura diferente. El agua de fuente es formada probablemente en las cuarcitas de Jura de la formación Cabracancha (tiene un contenido elevado de hierro y otros metales) en la profundidad de aproximadamente 1000 m y aflora en el sitio donde se cruzan fallas paralelas y perpendiculares al valle. Sale en len base a las cuarcitas de Chimú. (Ambas fuentes tienen cantidades muy pequeñas de un gas desconocido.)</p>	<p>T = 60 °C (Mayo 2005) T = 58 °C (19.4.2006) Cond. = 1780 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 1920 μS/cm (19.4.2006) pH = 7.2 (Mayo 2005) Q = 8 l/s (19.4.2006)</p>	

B11	Baños Viroc 302182 8817989 3210	de Un grupo de 3 pequeñas fuentes al lado de la carretera en la ribera del río Huaura. El agua de la fuente se forma probablemente en las cuarcitas jurásicas de la formación Cabracanch (contenido elevado de hierro) en la profundidad de aproximadamente 1000 m y aflora en el sitio donde se cruzan fallas paralelas y perpendiculares al valle a través de los estratos de la formación Churín y Oyón. La formación Oyón forma un anticlinal, la alteración estructural del cual podía formar un sifón termal.	<p>T = 58 °C (Mayo 2005) T = 59 °C (25.4.2006)</p> <p>Cond. = 700 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 688 μS/cm (25.4.2006)</p> <p>pH = 7.1 (Mayo 2005)</p> <p>Q = 3 l/s (25.4.2006)</p>	
B12	Baños Paton 313170 8819262 4036	de Una fuente concentrada debajo de la carretera aproximadamente 100 m más bajo que Laguna Paton. La fuente es probablemente formada en las cuarcitas de la formación Chimú y sale en un sistema de las fallas longitudinales y transversales. Contiene una cantidad pequeña del gas desconocido.	<p>T = 32 °C (Mayo 2005) T = 31.5 °C (25.4.2006)</p> <p>Cond. = 280 μS/cm (Mayo 2005) Cond. = 278 μS/cm (25.4.2006)</p> <p>pH = 7.6 (Mayo 2005)</p> <p>Q = 7 l/s (25.4.2006)</p>	

7.4.2. Modelo hidrogeológico conceptual

Las fuentes en el área de Churín constituyen un recurso excepcional del agua termal y mineral, y por eso tienen que ser consideradas para el futuro desarrollo. Las fuentes forman algunos grupos, el más importante de ellos siendo el grupo localizado directamente en la pequeña ciudad de Churín. Allí hay 9 fuentes que afloran en varios sitios, dispersos en el sentido horizontal y vertical en una pila grande de travertino. La pila es aproximadamente 300 m larga, 100 m alta y y toca SE borde del valle.

Un modo similar de la constitución del agua de la fuente se supone también en el caso de Huancachín. Al contrario de Churín, esta fuente contiene evidentemente gas. (En Churín, posiblemente hay también, pero los afloramientos están escondidos en los estratos del travertino. Se tomó la muestra del gas en Huancachín para los análisis.

Los cuarcitas de la formación Chimú junto con las areniscas y calizas de la formación Santa se consideran como un acuífero en el que se forman las aguas termales del grupo de fuentes Churín. Como se ve en el perfil geológico, los cuarcitas de la formación Chimú afloran a la superficie al NE de las fuentes. Allí se produce la infiltración en la altitud 2400 – 4000 m (anticlinal Huancho sin Pescado). La superficie para infiltración es de aproximadamente 30 km². Las rocas de la formación son cuarzosas, mientras que la cantidad de otros minerales es insignificante. Las fracturas no son rellenas por materiales meteorizados y por eso son muy bien permeables. El agua infiltrada baja por las fracturas en el acuífero hasta la base a él, que es formada por el contacto con las rocas poco permeables de la formación Oyón/Churín. Después de alcanzar la base del acuífero, el agua corre en la dirección del desagüe hasta el río Huaura. Continualmente el acuífero es más y más cubierto por lutitas y areniscas de las formaciones Carhuaz y Churín, que tienen función del techo impermeable del acuífero. Una parte del agua subterránea desagua directamente al río Huaura. El agua que bajó hasta el fondo del acuífero corre en la dirección de la inclinación de su base hasta la profundidad estimada 1370 – 1970 m bajo de la superficie (730 – 130 msnm) forma una acumulación extendida en el acuífero cautivo. La salida del agua al día se debe a una o más fallas de la dirección paralela con en valle de Churín que entrecortan las formaciones impermeables Carhuaz y Churín. Así las fuentes afloran en una línea. La falla también puede ser la causa del contenido de gas en el agua. Además de la mineralización, adquirida en el mismo acuífero, el agua puede también tomar elementos durante su salida en el contacto con las calizas de la formación Carhuaz o con el yeso de la formación Churín.

Se supone que la falla tiene carácter de una estructura profunda y que su actividad de hoy se manifiesta por un flujo termal elevado, por el conducto del gas de la profundidad y también por el conducto de las soluciones de clorita que influyen la composición química del agua poco mineralizada del acuífero en las cuarcitas de la formación Chimú.

Los procesos físico-químicos en la falla y la circulación relativamente profunda en el acuífero cautivo condicionan el origen de un sifón termal y del agua termal que es sometida a una presión elevada. Así el agua penetra un techo normalmente impermeable

y pasa a través de los sedimentos aluviales. Seguidamente, el grupo de fuentes alcanza una elevación bastante grande encima del fondo del valle por pilas de travertino.

El mecanismo más o menos idéntico se supone para la fuente de Huancachín.

Los elementos geológicos estructurales (la falla paralela con el valle y la pila de travertino) que tienen impacto principal a la formación de las aguas termales del grupo Churín se ven en la figura siguiente.



La falla en el pie del pendiente prepara un trayecto de ascenso para las fuentes que forman un domo de travertina

El origen del segundo grupo de las fuentes (Fierro y Tingo) tiene que ver con una situación geológica muy complicada en el confluente de los ríos Huaura y Checras. Las fuentes fueron evidentemente creadas en un medio diferente – probablemente en las areniscas cuarzosas y cuarcitas de la formación Cabracancha. El espesor original de la formación es aproximadamente 400 m, pero debido a la tectónica es mucho más grande en el área donde se forman las aguas termales. El acuífero aflora en la ladera al NO del río Huaura y en los alrededores de la población de Andajes. El buzamiento abrupto de los estratos hace posible el descenso del agua infiltrada a las profundidades de dos kilómetros y más, donde el agua se calienta. Después asciende, utilizando una falla que va a lo largo del lecho del río Huaura.

7.4.3. Propiedades hidráulicas de las rocas

Las propiedades hidráulicas han sido estudiadas solamente por los métodos indirectos, basados sobre la elaboración estadística de las mediciones de fracturas y sobre las pruebas de infiltración. La medición de frecuencia de fracturas se hizo en dos afloramientos: el primer representó la formación Cabracancha en la proximidad de los baños Fierro, y segundo la formación Chimú cerca de la carretera Churín – Pachangará.



Medición de las fracturas en la formación Cabracancha



Medición de las fracturas en la formación Chimú

7.4.4. Pruebas de infiltración

Las pruebas de infiltración fueron hechas en dos afloramientos. El primer representó la formación Cabracancha en la proximidad de los baños Fierro, pero no tenía buen resultado por la permeabilidad demasiado grande de las fracturas. Segundo representó la formación Chimú cerca de la carretera Churín – Pachangará.



Prueba de infiltración en la formación Chimú

Resultados de la prueba de infiltración se ven en el gráfico siguiente. Los valores de la permeabilidad se ven similares como los valores, medidos en la misma formación Chimú en la región de Cajamarca.

7.5. Modelo hidráulico del flujo de agua subterránea

En base a los datos existentes de geología de hidrometeorología, no era posible preparar un modelo hidráulico, como se ha hecho en el caso de Cajamarca. No obstante, se continúa en la colección de los datos y la investigación en el sitio. Así fue el intento de la creación del modelo aplazado a la primera mitad del año 2007.

7.6. Hidroquímica, geotermometría y química isotópica de las aguas termales

Las características que corresponden al título de este capítulo están contenidas en la parte concerniente Cajamarca. Este hecho refleja la necesidad de evaluar las propiedades físico-químicas de las aguas termales del Perú en total e después incorporar las fuentes particulares en los grupos de las propiedades idénticas o similares.

7.7. Característica balneológica

Churín tiene una tradición considerable de la balneología y una fama positiva especialmente entre la población de Lima. Ya el clásico de la balneología peruana, el médico checo Dr. Prazak, consideró los baños de Churín como „los primeros del país“ (1949).

7.7.1. Captación del agua termal

El agua termal está preparada para la utilización por una captación primitiva de una parte de las fuentes en las fracturas de la roca (Baños de Meseta) o por las piscinas (Baños de Juventud, Mamahuarmi). El caudal que se pueda aprovechar es ciertamente más que 200 l.s⁻¹, de los que se aprovecha en la actualidad aproximadamente 125 l.s⁻¹. El resto lo aprovechan por una parte los habitantes de Churín en sus domicilios, y por otra parte queda sin uso y corre en los canales a lo largo de la carretera principal y al río Huaura (por lo menos 15 l.s⁻¹).

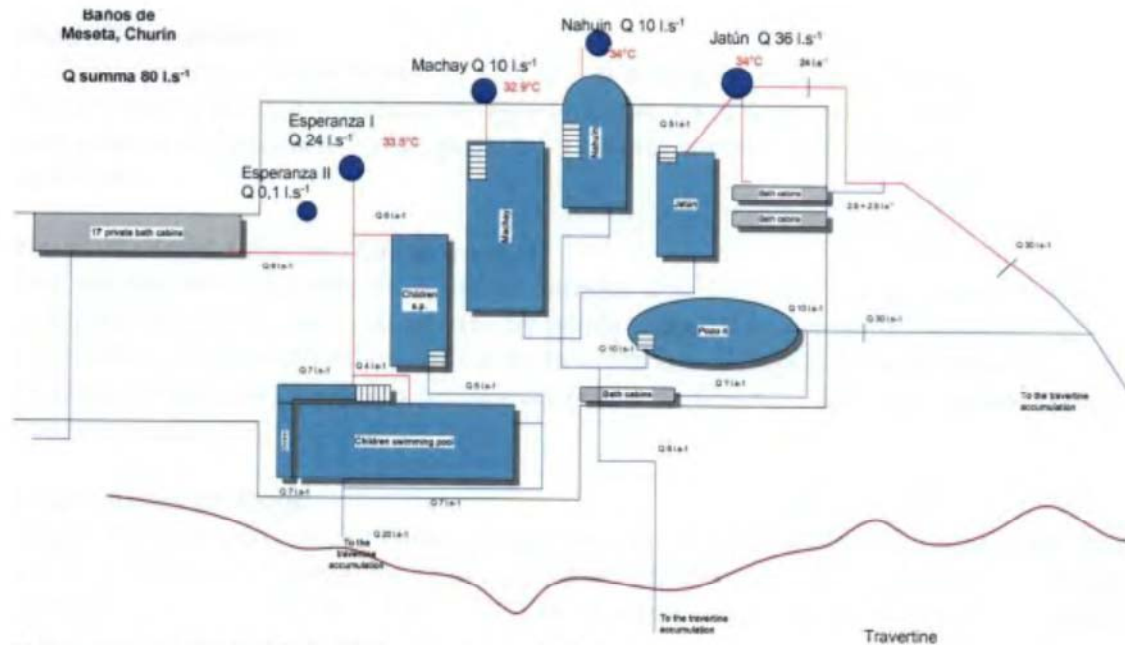
La vecindad de las pozas de captación (Esperanza II) o de las cavernas (Ñahuín y otras) es arreglada solamente rudimentariamente o dejada sin arreglos (Verrúga y otras). Las piscinas, pozas y baños de tinas están colocados directamente en los afloramientos del agua o en su proximidad. Una excepción es el hotel Las Termas, en el cual el agua está llevada por una tubería en la parte central de la acumulación del sínter. Cerca de Churín, hay todavía dos captaciones – Baños de Fierro y Baños de Tingo.

Los grupos y las fuentes principales:

Grupo La Meseta

Caudal aprovechable según las mediciones y cálculos – aprox. 80 l.s⁻¹:

- fuente Jatún: aprox. 36 l.s⁻¹
- fuente Ñahuín aprox. 10 l.s⁻¹.
- fuente Machay: aprox. 10 l.s⁻¹.
- fuentes Esperanza I y II : aprox. 24 y 0,5 l.s⁻¹.



Esquema del aprovechamiento del grupo La Meseta

Detalles del aprovechamiento: Piscina No. 1 Don Bosco (Machay Baños) tiene dimensiones 6,0 x 15 m para 45 personas; Piscina No. 2 Santa Rosa (Jatún Baños) tiene dimensiones 6,50 x 15 m para 50 personas; Piscina No. 3 La Cabanita (Ñahuín Baños) tiene dimensiones 4,0 x 7,0 m para 20 personas. En el área hay también pozas individuales con tinas, duchas, canales de escape y dos pequeñas piscinas para niños. La Esperanza I tiene dimensiones 9 x 20 m y Esperanza II tiene dimensiones 7 x 15 m.

Fuente en Las Termas

Una fuente independiente con el caudal aprox. 2 - 3 l.s⁻¹, conducida al hotel de una fractura en los sedimentos en el nivel bajo de La Meseta, aprox. 300 m al NE de ésta. Se utiliza por la piscina del hotel Las Termas.

Grupo de fuentes Baños de la Juventud

En total se trata de tres fuentes con el caudal total de 20 - 30 l.s⁻¹. La captación es por pozas o piscinas. Las fuentes están captadas por pozas y piscinas. En la actualidad, los baños se reconstruyen. Dos piscinas 8 x 16 m con la capacidad de 40 personas serán guardadas.

Fuente Verruga

Se encuentra al lado de la carretera principal de Churín. El caudal de la fuente de la temperatura relativamente baja es aprox. 15 l.s⁻¹. Se utiliza por la gente de Churín para lavar ropa y para la limpieza personal.

Fuente „Cerca de carretera“

Otra fuente al lado de la carretera, entre los grupos Juventud y Mamahuarmi. El agua viene obviamente de los drenes en la ladera adyacente. El caudal de la fuente es 0,4 l.s⁻¹.

Grupo Mamahuarmi

La fuente principal con el caudal $25 - 30 \text{ l.s}^{-1}$ está captada por una piscina. En la localidad hay una cueva kárstica y un salto de agua artificial. Es el único sitio donde se utiliza lodo para efectos terapéuticos. Por su posición y belleza natural, la localidad es más atractiva de Churín.

Grupo Baños del Fierro (Cabracancha)

Dos objetos balneológicos en la orilla derecha del río Huaura. Las fuentes tienen un contenido alto de los iones de hierro. Se puede observar la precipitación en el fondo de las piscinas y la microflora específica en la superficie del agua. La temperatura del agua es mucho más alta que en las fuentes del centro de Churín. Entre los objetos de baños, uno es privado.

Grupo Baños de Tingo

Objeto balneológico relativamente reciente, utilizando fuentes cerca del confluente de los ríos Huaura y Checras. El agua está conducida por un canal abierto de los bloques prefabricados de concreto. Así se resfría el agua y se hace más apropiada para la aplicación en las pozas y tinas.

En los alrededores de Churín hay otras fuentes termales en las localidades Viroc, Huancachín, Picoy, Huancahuasi, Paton.

7.7.2. Estado actual del aprovechamiento de las fuentes termales de Churín y sus alrededores

Se utilizan procedimientos interiores y exteriores para la curación de diabetes, enfermedades del aparato digestivo, hepatitis, úlceras gástricas, obesidad, enfermedades del aparato uro-genital, hemorroides, enfermedades reumáticas, dolores musculares, asma, bronquítis, lumbago. Las indicaciones están basadas en las investigaciones del Dr. Prazak (1949 y otros). Citaciones de su obra aparecen en las paredes de los baños de Churín.

Es necesario estudiar más detalladamente las posibilidades del uso interior (por beber) de las aguas de Churín de puntos de vista químico y balneológico.

7.7.3. Propuesta del aprovechamiento

Es recomendable concentrar el futuro desarrollo al aprovechamiento de las fuentes sobre todo para el uso exterior – para los baños en pozas, piscinas, tinas y duchas. El agua de todos los grupos de fuentes en Churín contiene una cantidad de componentes que son importantes del punto de vista balneoterapéutico. Por otro lado, hay que establecer una lista de contraindicaciones eventuales.

En cuanto al uso interior el agua de las fuentes es apropiada para la curación de las enfermedades del metabolismo (obesidad, diabetes mellitus, gota, hiperlipidamia). Una

mineralización relativamente baja del agua es también favorable para la curación de las enfermedades de riñones y del tracto de digestión. El uso interior no es solamente el uso del agua como bebida, sino también irrigaciones y lavados por boca y del tracto intestinal. Las condiciones climáticas hacen posible la curación del aparato respiratorio – bronquitis, asma, úlceras de estómago y de duodeno.

Descripción del estado actual de Churín desde el punto de vista del sitio de baños

- la región es rica en fuentes termales y minerales y tiene una larga tradición balnearia
- el impacto positivo de las agua de Churín al organismo humano es indudable
- el nivel de los hoteles y baños es baja
- una desventaja es el estado malo de las comunicaciones que conducen a Churín
- los nhuéspedes llegan sobre todo de Lima, mientras la clientela extranjera es mínima.
- Churín dispone de tres factores importantes para la curación balnearia – el caudal suficiente del agua termal, el ambiente limpio y la posición en una naturaleza muy bella
- la demanda del tipo de curación o prevención que puede ofrir Churín es creciente en el mundo entero, inclusivamente en América del Sur y Central

Métodos curativos propuestos concretamente para los baños de Churín

1. Enfermedades civilizadoras y enfermedades del metabolismo:

- obesidad
- diabetis
- hiperlipidemia (contenido excesivo de colesterol en la sangre)
- desórdenes de la glándula tiroides
- necesidad de la detoxificación del organismo

2. Enfermedades del sistema locomotor

- enfermedades crónicas de las articulaciones y de la columna vertebral: artritis, gonartritis, koxartritis, spolyartritis
- artritis reumática, spolyartritis
- dolores en las partes lumbar y cervical de la columna
- necesidad de la rehabilitación a largo plazo después de las operaciones ortopédicas y traumatológicas
- osteoporosis

3. Enfermedades de la piel

- dermatitis crónica,
- eczemas crónicos
- psoriasis
- urticaria
- otras enfermedades de piel crónicas

4. Curación climática de las enfermedades del sistema de respiración
 - bronquitis crónica
 - asma
 - alergia del sistema respiratorio

5. Curación preventiva y exámenes médicos para los visitantes de los baños
 - ergometría
 - cardioecografía
 - monitoring "Holter" de la presión arterial de la sangre
 - examen laboratorial – bioquímico, inmunológico, bacteriológico
 - examen parasitológico
 - examen ultrasonido de los órganos en la parte abdominal
 - endoscopia (colonoscopia, gastroscopia)
 - consultación urológica
 - examen ginecológico
 - mamografía

1. Enfermedades civilizadoras y enfermedades del metabolismo:

- obesidad
- diabetes
- hiperlipidemia (contenido excesivo de colesterol en la sangre)
- desórdenes de la glándula tiroides
- necesidad de la detoxificación del organismo

2. Enfermedades del sistema locomotor

- enfermedades crónicas de las articulaciones y de la columna vertebral: artritis, gonartritis, coxartritis, poliartritis
- artritis reumática, poliartritis
- dolores en las partes lumbar y cervical de la columna
- necesidad de la rehabilitación a largo plazo después de las operaciones ortopédicas y traumatológicas
- osteoporosis

3. Enfermedades del aparato de digestión (el uso interior)

- inflamaciones, úlceras de estómago y duodeno
- rehabilitación de hepatitis (tipos B y C)
- enfermedades de la vesícula, biliares
- enfermedades crónicas de páncreas
- enfermedades crónicas de vísceras y problemas de excreción

4. Curación climática de las enfermedades crónicas del sistema respiratorio

- bronquitis crónico
- asma
- alergia del sistema respiratorio

Métodos utilizados en la curación balneológica:

- electroterapia, magnetoterapia, mecanoterapia, fototerapia, laseroterapia, kryoterapia
- masajes, terapia de reflejo
- hidroterapia
- técnicas de rehabilitación, fisioterapia
- farmacoterapia, dietoterapia
- ejercicios curativos y actividades físicas

Electroterapia

- métodos electroanalgéticos: DD corrientes, IF corrientes, Träbert, TENS
- impulsoterapia
- galvanoterapia
- corrientes de alta frecuencia: SWD, USWD, diatermia microondas (MD)
- terapia combinada

Magnetoterapia y mecanoterapia

- magnetoterapia (campo magnético estático, alterno, pulsando), PST
- ejercicio con pesa (vertical o horizontal)
- aparatos de masaje (inyector de agua, lymfodrenaje, vasotrain, extremiter)
- ultrasonido (esábil, pulsando)

Fototerapia y termoterapia

- fototerapia: uso de lámpara biotróica o laser
- aplicación del calor : cera, parafango, infraradiadores, envolturas calientes
- krioterapia: agua, hielo, etylclórido (keleno), compresas frías de Priessnitz

Masajes

- masajes clásicos (total, parcial)
- masajes reflejos (superficial, profundos, de rostro, de planta, puntual)
- masajes de deporte
- masajes shiatsu, thai, aroma
- masajes con aparatos especiales
- masajes bajo el nivel del agua

Hidroterapia

- baños :
 - oxígeno-perlita
 - CO2
 - de lodo
 - con extractos curativos, sulfatos
- baños turbulentos, jacuzzi
- terapia de Kneipp
- hidrokinéziterapia – piscina (natación, ejercicios en agua)
- sauna

7.7.4. Protección legislativa de aguas termales

La protección legislativa de aguas minerales y termales está asegurada en Perú por la ley Decreto Ley no. 17752 del día 24.6.1969 (Ley General de Aguas – Aguas minero-medicinales).

La gestión de las aguas termales en la región de Churín es muy dispersa. Una parte está en manos de comunidades (Baños de Tingo), otra es privada (Las Termas, Baños de Fierro). La autorización para el uso de las fuentes del centro de Churín pertenece a 4 personas legales.

Es recomendable tener solo una autoridad única para la gestión del uso de las fuentes, que pueda traspasar partes de la capacidad aprovechable a otros sujetos en los casos específicos. La gestión central tiene formas de una larga experiencia histórica especialmente en Europa. En el territorio checo, por ejemplo, funciona la Inspectoría de las Fuentes desde 1911. Un ministerio (de Salud o de Turismo) podría otorgar concesiones para el uso de las fuentes siempre en base a la experticia, hecha por ej. por INGEMMET u otra organización estatal que disponga de especialistas y laboratorios. Igualmente es necesario examinar las regulaciones higiénicas y sanitarias peruanas en vista de la clientela supuesta del extranjero. Para un desarrollo exitoso de la balneología es deseable remontar el nivel de la higiene y otros elementos importantes al estándar europeo.

7.7.5. Parámetros físico-químicos y químicos de las fuentes

El tipo de agua que prevalece es CaNa-SO₄HCO₃(Cl), se trata entonces de un tipo multielemental complicado. Ya Prazak (1949) observó una analogía parcial con la composición de las fuentes de los baños de Karlovy Vary en la Checoslovaquia. Lo que hace diferencia es la mineralización total considerablemente más baja en Churín – menos que 1 g.l⁻¹ de las sustancias sólidas disueltas. En los alrededores de Churín la mineralización es más alta – hasta 4 g.l⁻¹ (Baños de Tingo, Huancachín y otros).

El factor pH se encuentra por la mayoría en la zona neutral. Las fuentes no tienen gases con la excepción de sulfano (algunas fuentes en Churín) y nitrógeno (Virroc). El contenido del CO₂ libre disuelto es siempre muy bajo.

Valores máximos de las concentraciones de los iones principales en Churín y alrededores:

Ca ²⁺	- 270 mg.l ⁻¹ (Ñahuín)
HCO ₃ ⁻	- 294 mg.l ⁻¹ (Tingo)
SO ₄ ²⁻	- 501 mg.l ⁻¹ (Juventud, Mamahuarmi)
Cl ⁻	- 725 mg.l ⁻¹ (Tingo).

En comparación no solo con Karlovy Vary, sino también con otros baños conocidos en la República Checa, la diferencia más grande consiste en el contenido de los iones de HCO₃⁻, que es mucho más bajo en Churín.

Los análisis isotópicos probaron que las fuentes termales de Churín tienen el origen meteórico, es decir que se trata del agua de la superficie que infiltra a una cierta profundidad, se hace termal y después asciende, utilizando fracturas y fallas en las rocas.

7.7.6. Protección del agua termal y propuesta de las zonas de protección de la estructura termal de Churín

La garantía del mantenimiento de la calidad del agua de las fuentes termales del grupo Meseta es posible solamente en el caso de que la fuente sea captada por las pozas colocadas en la línea del límite del afloramiento de la roca que forma la ladera del valle, y del domo de sínter de travertina. La colocación correspondería a los sitios de las fuentes actuales en las fracturas en los esquistos con intercalaciones de calizas. Se supone que la construcción de las pozas de captación no tenga impacto en el caudal ni en la temperatura actuales del grupo de fuentes Meseta.

La propuesta de la protección se basa en los conocimientos de la estructura geológica del terreno, completados por el modelo hidrogeológico conceptual de la región y por las conclusiones hidroquímicas.

El modelo hidrogeológico conceptual identificó las cuarcitas y areniscas cuarzosas de la formación Chimú junto con las areniscas calizas y calizas arenosas de la formación Santa, como el ambiente, donde se forma el agua termal (acuífero). Esta idea fue confirmada por la composición química del agua que corresponde a la creación en el ambiente con una disolución alta de los minerales (calizas, yeso). La infiltración de las precipitaciones que nutren el acuífero ocurre en los afloramientos de las cuarcitas de Chimú en la región del anticlinal conocida bajo del nombre Huancho Sin Pescado.

En base al este análisis hay que declarar la protección severa de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas del acuífero en las rocas de las formaciones Chimú y Santa. La protección debe incluir todos los afloramientos de las areniscas cuarzosas y calcáreas en el borde NE de Churín, hasta la divisoria de aguas de los ríos Huaura y Checras. Creación de esta zona de protección no será problemática, ya que la región se encuentra fuera de las comunicaciones y de la producción agrícola o industrial. El objetivo de la protección es la prevención de la colocación eventual de las sustancias químicas que podrían penetrar con el agua de lluvias al subterráneo y causar daños irreparables a las aguas. Visto que se supone una circulación relativamente rápida de las aguas en un acuífero bien permeable, hay que imposibilitar la contaminación biológica. Por eso es necesario evitar la avicultura o cría de otros animales en gran escala, y también regular una edificación civil eventual.

Queda sumamente difícil proteger las piscinas y afloramientos del agua termal en la parte baja de Churín, ya que las aguas salen aquí de una acumulación secundaria en un domo de travertina. Estas fuentes pueden ser contaminadas por los desagües sucios de los domicilios, por el transporte pesado y liviano y por otras actividades encima de las fuentes.

La protección del caudal de las aguas termales reside sobre todo en una regulación de la extracción. Después de la construcción y reconstrucción del establecimiento balneológico, hay que limitar las tomas suplementarias de las aguas termales del acuífero. Situación en Churín es específica, porque las fuentes se mantienen en la posición que no está exactamente en el trayecto de la salida de la roca, porque la roca es cubierta por el domo de travertina. Cualquiera intervención brutal en la acumulación de la travertina tendría un impacto negativo a las fuentes y a la configuración del vertiente que desciende hasta los objetos de los Baños de Meseta.

Por eso es necesario abordar una regulación de las actividades de construcción, especialmente las que ocurran en la proximidad del domo de travertina. Los proyectos tienen que ser sometidos a un análisis del experto hidrogeólogo, y en el caso de las construcciones grandes y complicadas, hay que asegurar una vigilancia hidrogeológica continual.

Un riesgo considerable radica en la relación con la ubicación de Churín en un valle muy profundo. La morfología extrema amenaza de derrumbes e inundaciones, y en esta región de una tectónica joven, no se puede excluir ni el peligro de terremotos. Los derrumbes y terremotos pueden alterar los trayectos naturales del agua subterránea y así desplazar los sitios de afloramientos de las fuentes. Los espesores masivos de los sedimentos fluviales (200 m) en el confluente de los ríos Huaura y Checras documentan la fuerza de los ríos en los períodos de las lluvias. Inundaciones, acumulaciones de piedras y erosión de las riberas pueden también tener un impacto negativo. Cambios de la morfología del fondo del valle no solo pueden dañar la infraestructura de Churín, sino también alterar la circulación del agua termal.

La evaluación de los riesgos naturales será objeto de la investigación en el cadre de la fase del proyecto en la primera mitad del año 2007.

8. Solución técnica – localidad Churín

La solución técnica se basa en la optimalización del aprovechamiento de las fuentes termales en el marco de la estructura urbanística de la ciudad.

Se puede deducir - en base a la situación urbanística y a la red de comunicación -, que Churín surgió en una localidad favorable en una encrucijada de las comunicaciones importantes cerca de una confluencia de dos ríos. La selección de la localidad fue condicionada por la existencia de las fuentes termales de buen caudal. La estructura de las calles corresponde a los sitios donde no había amenaza de deslizamientos y donde las fuentes quedaron bastante cercanas. Directamente dentro de la ciudad hay tres establecimientos que aprovechan agua natural termal, que son propiedad de la municipalidad, mientras que el cuarto establecimiento del mismo tipo es una propiedad privada.

Baños Termales La Meseta

El complejo más extenso con siete piscinas y con un número de pozas pequeñas para el uso individual. El bloque de acomodación ha sido dañado por un deslizamiento y desde entonces no es utilizado. Hay una oferta de los masajes y refrescamiento.



Estado del edificación La Meseta en 2006

Baños Termales La Juventud

El área está en vía de reconstrucción. Después de la terminación, habrá dos piscinas y varias cabinas individuales con bañeras para familias y para clientes particulares. Hay pequeños lagos con el agua termal en el aire libre. Del nivel más bajo es posible bajar hasta el río.

Baños Mamahuarmi

Se trata de una parte de paisaje excepcional con una serie de lagos pequeños, cuevas y saltos de agua. El complejo tiene una casa cerca de la comunicación de tránsito frecuentada y un objeto de los vestuarios, que está unido con el edificio de la escuela. Hay casitas pequeñas también en la ladera entre los pequeños lagos.

El hotel privado Los Termales

El hotel está ubicado en la Av. Mariscal Castilla y utiliza el agua termal en una piscina dentro del jardín del hotel. En el valle de los ríos Guaura y Checras existen algunos objetos aislados que aprovechan las aguas termales locales. Estos establecimientos no tienen otra edificación considerable.

Los establecimientos de agua termal existentes sirven en la mayoría de los casos a los visitantes del Perú, principalmente de Lima. En escasa medida se ven utilizado también por los habitantes locales y muy raramente también los extranjeros. La potencialidad de la localidad es mucho más grande. De los factores que tienen impacto al aprovechamiento insuficiente hay que mencionar la mala accesibilidad de la carretera Panamericana, la poca propagación hacia los visitantes extranjeros del Perú y también el deterioro de algunos objetos. En todos los establecimientos hace falta mejorar las condiciones higiénicas y operacionales.

Churín de hoy es inconvenientemente cargado con un transporte pesado y le hacen falta tramos seguros y sin barreras en el centro de la ciudad en dirección a los objetos de baños.

8.1. Propuesta de la solución urbanística y arquitectónica

La propuesta pone el acento al aprovechamiento balneológico de las fuentes termales en tres niveles básicos:

- Estructura urbanístico-arquitectónica de la ciudad
- Solución urbanística de las comunicaciones
- Solución arquitectónica de los objetos balneológicos

8.1.1. Estructura urbanístico-arquitectónica de la ciudad

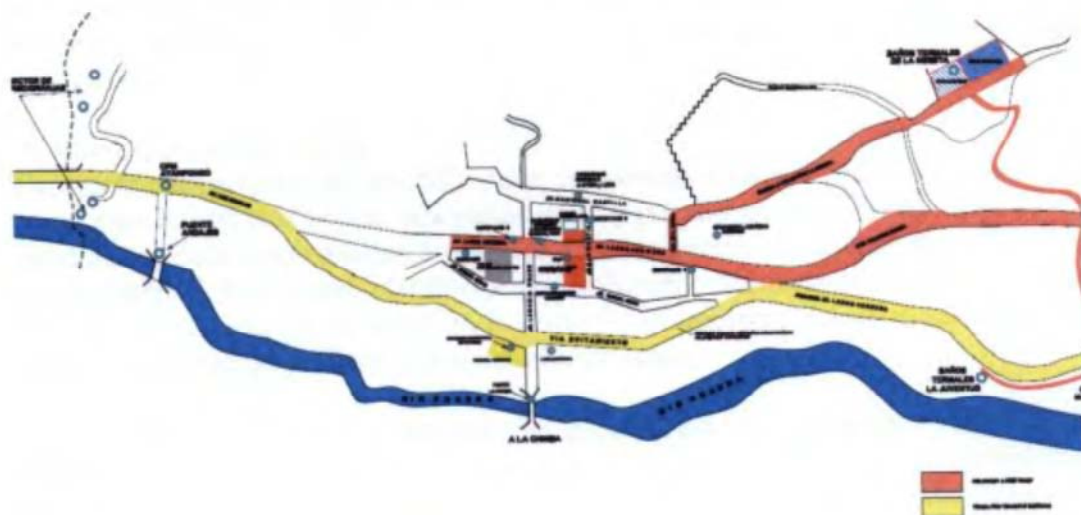
Considerando la tradición de Churín, donde las fuentes termales han sido aprovechadas desde tiempos inmemoriales, el próximo desarrollo tiene que ser concentrado a los servicios balneológicos. La localidad tan atractiva debería contar con visitantes no solo del Perú, sino también del extranjero.

El aspecto y equipamiento de la población tiene que corresponder a esta suposición. En la entrada, las piscinas serán reconstruidas y se añadirá un geysir artificial. En la continuación al centro de la ciudad, la calle principal será orillada por aceras con saltos de agua y por publicidad de los establecimientos balnearios particulares. Muy importante será la desviación del transporte hacia el río; así se alivia el centro, donde se preferirán aceras para peatones.

Un paso importante será la fundación de un centro de informaciones directamente en la Plaza de Armas. Esta oficina va a propagar Churín y así los visitantes conocerán la historia de la localidad. Habrán materiales informativos en varios idiomas sobre los establecimientos particulares y sobre los otros atractivos en los alrededores de Churín y Oyón. En el centro se pueden también concentrar las ofertas de las capacidades de alojamiento y los contactos a los médicos especializados. Desde el centro, los caminos sin barreras conducirán a los establecimientos con el agua termal.

Para la ampliación de la oferta de las rutas turísticas, se propone arreglar los caminos hacia Andajes y urbanizar los barrios en el lado del este, rumbo Oyón. También se propone trazar unos nuevos senderos turísticos exigentes en el paisaje bello entre Churín y las aldeas de los alrededores, así como hacer una pequeña exposición en el centro de informaciones, donde el visitante vaya a conocer la historia de la ciudad y se informará sobre las otras posibilidades de su estancia.

Los servicios turísticos y balneológicos de alta calidad van a generar nuevos requerimientos a la capacidad de alojamiento. Sería ventajoso concentrar los hoteles con el agua termal y con un propio programa curativo en el centro de la ciudad, y por otra parte ubicar los alojamientos turísticos en los lugares más elevados a lo largo de la Avenida Mariscal Castilla, de donde se abre una bella vista al río y a la montaña.



Propuesta de la unión de La Meseta con Juventud y Mamahuarmi por comunicación

8.1.2. Solución urbanística y solución de comunicaciones

Para tranquilizar las zonas centrales, es necesario desviar el tránsito pesado de la calle Vía de Fuitamento, y construir un terminal de autobuses cerca del puente en el rumbo de Andajes.

La comunicación principal para los peatones saldrá de la Plaza de Armas, continuará a la Avenida Herrera y además a la Urbanización Fuentes Rivera. Esta calle desembocará en una area arreglada nuevamente propuesta frente a los baños termales La Meseta. En el paisaje artificial se construirán pozas con el agua termal secundariamente usada, y una ruta va a ir al sesgo de la vertiente hacia La Meseta. La ruta baja va a ir encima de la carretera con una vista al río. En el nivel de los baños termales La Juventud se construirá un pequeño puente.

La rampa descendiente desembocará en una nueva acera que asegurará una entrada a los baños en la orilla del río. La ruta puede ser prolongada hasta el puente, donde se encuentran reconstruidos los Baños de Fierro.

8.1.3. Solución de la construcción arquitectónica de los objetos balneológicos

En el sistema de la oferta de la asistencia balnearia en Churín, parece que lo más ventajoso sería dejar los tres establecimientos existentes y hacer una oferta suplementaria de 4 o 5 hoteles privados especializados, que utilizarán el agua termal. El agua se conduciría a las pozas individuales. Los hoteles ofrecerían procedimientos curativos, concentrados a un cierto tipo de la diagnosis. Cada hotel ofrecería las horas de consultas de los médicos especializados.

Los baños en la propiedad de la ciudad de Churín podrían ser alquilados bajo condiciones exactamente definidas. Cada uno de los tres establecimientos balnearios debería tener un carácter inconfundible, condicionado por la posición, disposición y servicios suministrados.

Baños Termales La Meseta

Una parte del complejo de los baños que comprende espacios para los alojamientos así como para la administración, está perjudicada y por eso no es utilizada. A pesar de eso, estos baños mantienen, gracias a su ubicación, la función dominante de la "casa central de los baños". Este papel mantendrá probablemente también en el futuro: aunque el número de personas que se bañan en la poza (7) no aumente, el área se puede aprovechar para las consultas de médicos y consultantes privados.

Será oportuno renovar la capacidad del alojamiento en un número reducido de las habitaciones, y modificar la concepción para el uso de los pacientes con problemas del aparato de movimiento. En el año 1999 fue hecho un estudio arquitectónico de la reconstrucción del tracto con las pozas (Ruba Arquitecto). Los autores mantienen el número de las pozas y proponen modificar vestuarios y establecimientos higiénicos.

Teniendo en cuenta el interés de la clientela del extranjero, recomendamos respetar los reglamentos higiénicos de los Estados Unidos y la Unión Europea.



Idea de la reconstrucción y reedificación del objeto balneológico Meseta

En el futuro, la oferta de los programas balneológicos deberá ser ampliada de otros métodos curativos.

- saunas, inhalaciones de vapor y aromáticas
- masajes
- ejercicios de prevención y correctivos
- consultorios y estudios de belleza
- pozas con flujo artificial y aireación
- senderos de masaje con superficie y temperatura variable

También se ve necesario modernizar las pozas de baños individuales. Desde el punto de vista de la concepción arquitectónica, lo óptimo será construir un nuevo objeto escalonado en el lado sur. La entrada del complejo va a quedarse en el norte.

En el lado del valle, los espacios accesibles para el público tendrán paredes de vidrio que ofrecerán una vista atractiva a la área de las pozas artificiales con el fondo de la montaña. Para el público, habrá una zona de tranquilidad del solarío sobre el techo. El objeto de cemento original con las piscinas, la parte del alojamiento reconstruida y la nueva construcción serán armonizados en colores naturales terrosos.

Como una parte del área de baños central estará abierta muy tarde en la noche, habrá refrescamiento con la oferta de las especialidades locales y los suplementos de dieta especiales.



Visualización del área

La adaptación del paisaje en los alrededores será excepcionalmente importante. El transporte motorizado se permitirá solamente hasta la entrada en la parte norteña. En la continuación se construirá un sendero para los peatones, ciclistas y caballistas.

Como ya fue dicho arriba, el área artificialmente adoptada frente al objeto de baños con piscinas y el agua termal corriente va representar Churín como una localidad de baños importante con una capacidad del agua termal poco limitada.

Baños De La Juventud

En el marco de los arreglos de las comunicaciones será asegurado. el acceso seguro al área Un proyecto de la reconstrucción del edificio de los baños fue hecho en el año 2005 (Urvisac – urbanismo vivienda y vialipad s.a.c. – Lima). La reconstrucción será terminada probablemente en este año.

Se mantienen dos piscinas, la disposición se amplía considerablemente y también las pozas individuales y establecimientos higiénicos serán mejorados por la reconstrucción. Es probable que la reconstrucción tocará también a los alrededores con los pequeños lagos del agua termal y la gruta atractiva en el nivel del río. Se ofrece una bella vista del valle con el fondo de la cordillera.

Complejo Mamahuarmi

El área de Mamahuarmi es la atracción más grande en la oferta del provechamiento de las aguas termales en el distrito Pachangará.

La comunicación propuesta para los peatones hará accesible el área sin la colisión con el tránsito pesado de la carretera. Será necesario construir una nueva entrada, pero en el resto se quedan solo los fenómenos naturales, originados por el impacto del agua termal a largo plazo. Las aceras del hormigón en el área serán reemplazadas por rocas planas, los camarotes de vestuarios y cabinas higiénicas serán hechas en bloques de adobe o contruidos en madera. Todos los arreglos deben ser absolutamente inocuos para las formaciones naturales. En las grutas y bajo los saledizos se fabricarán pasarelas de madera y los caminos no conducirán muy cerca de las rocas calcáreas. Se determina el número máximo de los visitantes que garantiza que no se produzcan daños irremediables de la naturaleza.

Hay objetos como los vestuarios, cabinas higiénicas y oficina del gerente del área que evidentemente no son convenientes para los visitantes. Se recomienda remover el objeto y proponer un nuevo usando los ladrillos Adobe para la pared del ámbito y con el techo con alfombra de hierba.

En el objeto se concetrarán todas las funciones necesarias (dirección y manutención, vestuarios, establecimientos higiénicos, refrescamiento y el cuarto para los masajes). Teniendo en cuenta el interés de la clientela del extranjero, también aquí recomendamos respetar los reglamentos higiénicos de los Estados Unidos y de la Unión Europea.

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

ANEXO 1

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN EL CAMPO Y DE LOS ANALISIS QUIMICOS

1. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EN EL CAMPO (MAYO 2005)

Designación de la fuente	Región	Localidad	Temperatura °C	Conductividad µS/cm	pH
A1	Cajamarca	Yumagal - 1	51	94	6.25
A2	Cajamarca	Yumagal - 2	50	99	6.30
A3	Cajamarca	Tragadero - 1	71	686	6.43
A4	Cajamarca	Tragadero - 2	69	691	6.24
A5	San Marcos	La Grama	45	924	5.73
A6	Cajabamba	Oscol - 1	35	830	6.96
A7	Cajabamba	Oscol - 2	31	1586	6.80
A8	Cajabamba	Chorro - 1	49	578	6.20
A9	Cajabamba	Chorro - 2	51	572	6.12
A10	Cajabamba	Chorro - 3	47	589	6.74
A11	Cajamarca	Baños de Inca - 1	61	708	7.2
A12	Cajamarca	Baños de Inca - 2	68	698	7.1
B1	Oyón / Pachangara	Machay - Churín	33	1873	6.5
B2	Oyón / Pachangara	Nahuin - Churín	33	1873	6.3
B3	Oyón / Pachangara	Agua de Verruga-Churín	40	1853	6.4
B4	Oyón / Pachangara	Juventud-Churín	31	1739	6.6
B5	Oyón / Pachangara	Velo de la Novia-Churín	31	1753	7.7
B6	Oyón / Andajes	Fierro-Cabracancha	47	2450	5.7
B7	Oyón / Pachangara	Huacho Corazón - Tingo	56	3560	6.7
B8	Oyón / Pachangara	Aguas Termales - Huancachín	46	3650	6.1
B9	Oyón / Pachangara	Baños Termales - Huancahuasi	56	1624	7.9
B10	Huaral/Santa Leonor	Baños Medicinales - Picoy	60	1780	7.2
B11	Oyón / Oyón	Aguas de Viroc - Viroc	58	700	7.1

Designación de la fuente	Región	Localidad	Temperatura °C	Conductividad µS/cm	pH
B12	Oyón / Oyón	Aguas Termales - Patón	32	280	7.6
D1	Rio Calientes	Manantial 1 Margen derecha	86	5830	7.5
D2	Rio Calientes	Calientes Margen Izquierda	87	6420	7.5
D3	Rio Calientes	Manantial Nivel	87	6370	7.5
D4	Rio Calientas	Cuatro ojos	88	6230	7.7
D5	Rio Calientes	Ojo Margen derecha	87	3560	7.8
D6	Rio Calientes	Manantial Geyser	86	4060	8
D7	Rio Calientas	Manatial Agua Hirviente	84	6320	7.5
D8	Rio Calientes	Manantial Geyser	84	5080	7.7
D9	Rio Calientes	Manantial RC 44	85	5670	7.7
D10	Azufre	Azufre Grande	62	1460	2.9
D11	Azufre	Azufre Chico	49	1420	2.9
D12	Tacalaya	No1	48	2340	6.9
D13	Tacalaya	No2	50	2170	7
D14	Tacalaya	No3	51	2620	7
D15	Tacalaya	No4	49	2610	7.2
D16	Tacalaya	No5	49	3100	7.1
D17	Tacalaya	No6	49	2340	7.5
C1	Chivay	La Calera - 1	68	6260	7.2
C2	Chivay	La Calera - 2	61	6580	7.4
C3	Chivay	Geyser	92	400	7.7
C4	Chivay	Baños de Chacapi Yanque	40	1470	7.4
C5	Chivay	Colca Logde - 1	76	5120	7.7
C6	Chivay	Colca Logde - 2	65	5120	7.7

2. Composición básica de las aguas termales

No	Fuente	pH	TDS mg/L	Conductividad µs/cm	Na mg/L	K mg/L	Li mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl- mg/L	NO3- mg/L	HCO3- mg/L	SO4- mg/L	SiO2 mg/L
1	Nº 1 Yumagual Nº 01 Fuente	6.7	52	103	10.4	2.6	0.05	5.2	1.2	7.0	0.124	18.4	4.94	27.0
2	Nº 2 Yumagual Nº 02 Mezcla	7.3	64	127	7.1	1.8	0.03	14.5	1.8	7.0	0.419	28.9	5.76	18.6
3	Nº 3 El Tragadero Nº 01	6.9	347	693	85	8.3	0.31	46	5.0	90.7	0.050	90.6	37.0	30.7
4	Nº 4 El Tragadero Nº 02	7	358	714	89	8.1	0.3	46	5.0	90.7	0.015	90.6	41.2	30.9
5	Nº 5 Aguas Calientes Fuente (La Grama)	6	464	926	124	13.4	0.98	31.1	12.9	195.5	0.749	72.2	35.8	18.3
6	Nº 6 Oscol Fuente Nº 1	7.1	420	838	101	5.2	0.11	93	20.1	41.9	0.023	157.6	69.6	23.6
7	Nº 7 Oscol Fuente Nº 2	6.9	736	1469	113	6.0	0.12	151	48.6	76.8	0.208	157.6	237.9	21.0
8	Nº 8 El Chorro Fuente Nº 1	6.1	293	586	54	6.9	0.2	35	15.0	62.8	0.080	78.8	45.7	30.5
9	Nº 9 El Chorro Fuente Nº 2	6.3	288	574	48	6.7	0.18	39	14.7	55.8	0.068	78.8	24.7	26.8
10	Nº 10 El Chorro Nº 3 Mezcla	6.8	307	614	52	7.0	0.2	40	15.3	62.8	0.050	89.3	44.0	30.1
11	Nº 11 El Perolito Nº 1	7	359	717	87	8.6	0.32	47	5.2	90.7	0.379	90.6	39.1	31.6
12	Nº 12 El Perolito Nº 2	7	365	729	86	8.4	0.33	36	5.0	90.7	0.113	92.0	40.3	31.3
13	Nº 1 La Calera. Nº 1	7.4	3280	6550	1254	74	2.14	112	11.5	1657.8	0.10	409.8	304.2	64.2
14	Nº 2 La Calera Nº 2	7.2	3420	6883	1329	75	3.07	119	12.1	1657.8	0.24	420.3	305.4	63.5
15	Nº 3 Geyser Infernillo - Pinchollo	7.7	200	400	10	3.9	<0.1	48	7.1	1.40	1.0	18.4	146.1	20.5
16	Nº 4 Baños de Chacapi - Yanque	8.2	700	1400	267	17	1.26	30	1.91	97.72	2.0	206.2	209.5	151.3
17	Nº 5 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 1	8.0	2710	5420	1053	75	5.52	73	7.2	593.3	0.20	411.1	348.2	98.4
18	Nº 6 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 2	7.8	2680	5360	1010	76	5.52	81	8.1	2268.6	0.25	412.5	333.4	109.4
19	Nº 1 Pozo el Tigre	7.1	940	1880	174	18	0.27	130	89	132.6	0.03	606.85	0.41	155.7
20	Nº 2 Pozo Zamacola	7.6	980	1960	181	18	0.28	130	95	111.7	0.18	621.3	1.23	155.5
21	Nº 1 Manantial Margen derecha (Nº 1)	7.5	2920	5830	1100	115	9.7	34	0.68	3455.2	0.89	74.9	61.3	287.7
22	Nº 2 Calientes Margen Izquierda	7.5	3210	6420	1415	141	11.2	30	0.27	977.2	0.88	51.2	72.85	378.9
23	Nº 3 Manantial Nivel Superior Margen Izquierda		3190	6370	1203	136	10.6	30	0.33	924.9	1.22	44.7	69.6	345.9
24	Nº 4 Cuatro ojos Margen derecha	7.7	3120	6230	1156	100	1.01	31	0.15	924.9	0.98	23.6	86.0	339.9
25	Nº 5 Un Ojo Margen derecha	7.8	1780	3560	671	37	5.3	29	0.50	1954.5	0.55	51.2	60.1	215.4
26	Nº 6 Manantial Geyser Nº 1 Margen Izquierda		2030	4060	790	58	6.2	48	3.6	2233.7	0.54	103.8	102.1	265.5
27	Nº 7 Manantial Agua Hirviente Margen Izquierda		3160	6320	1200	67	9.8	45	0.29	907.4	0.75	22.3	129.2	301.9

No	Fuente	pH	TDS mg/L	Conductividad µs/cm	Na mg/L	K mg/L	Li mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Cl- mg/L	NO3- mg/L	HCO3- mg/L	SO4- mg/L	SiO2 mg/L
28	Nº 8 Manantial Geyser Nº 02	7,7	2540	5080	975	63	8,1	47	2,81	2861,9	0,54	72,2	102	263,1
29	Nº 9 Manantial RC-44	7,7	2840	5670	1103	48	9,0	43	0,04	3245,8	0,61	21,0	128,0	378,7
30	Nº 1 Machay Baños	6,6	902	1800	87	11	1,16	260	33	111,7	<0,01	228,6	483,6	32,8
31	Nº 2 Nahuin Baños	6,7	942	1879	90	13	1,18	270	34	125,6	<0,01	210,2	491,4	
32	Nº 3 Agua de Verruga	7,2	784	1565	62	9,0	0,78	230	30	83,8	0,18	190,5	435,5	28,8
33	Nº 4 Baños de la Juventud	7,0	880	1756	81	11	1,00	250	34	111,7	0,33	211,5	500,9	31,0
34	Nº 5 Mamahuarmi-Baños Velo de Novia		840	1677	84	9,2	0,95	230	34	111,7	0,53	151,1	500,9	31,2
35	Nº 7 Baños de Tingo		1852	3720	460	87	7,2	140	55	725,9	1,18	294,2	267,5	68,7
36	Nº 8 Aguas Termales de Huancachin	6,7	1929	3870	270	42	3,36	490	79	390,9	<0,01	333,6	1133,1	43,5
37	Nº 9 Baños Termales de Huancahuasi	7,2	887	1770	62	8,1	0,29	280	35	41,88	0,02	93,26	829,3	46,1
38	Nº 6 Baños de Fierro	6,6	1263	2540	270	48	3,73	130	55	383,9	0,25	176,0	379,1	59,1
39	Nº 10 Baños Medicinales de Picoy	7,5	966	1929	71	10	0,33	310	39	34,90	<0,01	93,26	936,8	46,6
40	Nº 11 Aguas de Víroc	7,2	372	742	16	7,6	0,18	97	19	1,4	<0,01	40,72	304,6	47,8
41	Nº 12 Aguas Termales de Patón	7,8	143	283	5,6	2,1	0,03	32	9,6	1,4	<0,01	57,79	41,16	
42	Nº 1 Tu - 23 Azufre Grande	2,9	1480	2950	189	27	0,79	155	38,7	383,9	1,20	26,3	977,9	270,0
43	Nº 2 Tu - 12 Azufre Chico	2,8	1420	2840	165	20	0,58	154	39,6	167,5	3,01	26,3	1030,6	249,5
44	Nº 1 Manantial Tacalaya, Margen izquierda Nº 1		1510	3020	593	45	2,00	59	10,1	802,7	1,16	346,8	373,1	215,2
45	Nº 2 Manantial Tacalaya, Margen derecha Nº 2		1170	2340	522	37	1,47	47	6,27	286,2	0,88	262,7	303,7	139,3
46	Nº 3 Fuente Nº 03 Margen derecha	7,0	1090	2170	431	33	1,42	43	5,27	265,3	0,77	237,8	286,5	128,8
47	Nº 4 Fuente Nº 05 Margen derecha	7,2	1310	2620	579	39	1,70	55	6,21	342,0	0,32	294,2	340,4	141,2
48	Nº 5 Fuente Nº 07 Margen izquierda	7,1	1310	2610	521	40	1,64	54	6,43	328,1	0,93	292,9	329,7	138,8
49	Nº 6 Fuente Nº 09 Margen izquierda	7,5	1550	3100	620	45	2,06	64	6,74	411,8	1,14	346,8	387,3	145,9

3. Elementos minoritarios en las aguas termales

No	Fuente	Fe	Mn	Al	As	Ba	Sr
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	Nº 1 Yumagual Nº 01 Fuente	0,028	0,12	<0,002	0,010	0,04	0,13
2	Nº 2 Yumagual Nº 02 Mezcla	0,05	0,009	0,146	0,007	0,03	0,14
3	Nº 3 El Tragadero Nº 01	<0,01	0,22	<0,002	0,012	0,16	0,88
4	Nº 4 El Tragadero Nº 02	<0,01	0,23	<0,002	0,011	0,18	0,89
5	Nº 5 Aguas Calientes Fuente (La Grama)	<0,01	0,006	<0,002	0,522	0,04	0,28
6	Nº 6 Oscol Fuente Nº 1	<0,01	0,21	0,002	0,182	0,06	0,68
7	Nº 7 Oscol Fuente Nº 2	<0,01	0,11	<0,002	0,351	0,09	1,5
8	Nº 8 El Chorro Fuente Nº 1	<0,001	<0,002	<0,002	0,033	0,03	0,58
9	Nº 9 El Chorro Fuente Nº 2	<0,01	<0,002	<0,002	0,032	0,02	0,49
10	Nº 10 El Chorro Nº 3 Mezcla	0,027	0,048	0,004	0,030	0,03	0,57
11	Nº 11 El Perolito Nº 1	<0,01	0,20	0,002	0,013	0,18	0,91
12	Nº 12 El Perolito Nº 2	<0,01	0,23	0,002	0,012	0,19	0,9
13	Nº 1 La Calera. Nº 1	<0,01	0,76	0,005	1,0	0,11	5,0
14	Nº 2 La Calera Nº 2	<0,01	1,01	0,017	0,9	0,1268	5,2
15	Nº 3 Geyser Infernillo - Pinchollo	<0,01	0,15	0,098	<0,005	0,282	0,1
16	Nº 4 Baños de Chacapi - Yanque	<0,01	0,01	<0,005	0,058	0,380	0,6
17	Nº 5 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 1	<0,01	0,20	0,0016	0,009	0,837	3,3
18	Nº 6 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 2	<0,01	0,16	<0,005	<0,005	0,1015	3,2
19	Nº 1 Pozo el Tigre	<0,01	0,21	<0,005	<0,005	1,0	1,2
20	Nº 2 Pozo Zamacola	<0,01	0,26	0,006	<0,005	1,4	1,1
21	Nº 1 Manantial Margen derecha (Nº 1)	<0,01	0,09	<0,005	9,4	0,071	0,9
22	Nº 2 Calientes Margen Izquierda	<0,01	0,04	0,029	11,4	0,200	0,9
23	Nº 3 Manantial Nivel Superior Margen Izquierda	<0,01	0,05	0,014	11,1	0,138	0,9
24	Nº 4 Cuatro ojos Margen derecha	<0,01	0,03	0,039	10,5	0,113	0,8
25	Nº 5 Un Ojo Margen derecha	<0,01	0,05	0,040	2,46	0,90	0,7
26	Nº 6 Manantial Geyser Nº 1 Margen Izquierda	<0,01	0,36	0,023	6,1	0,115	1,2
27	Nº 7 Manantial Agua Hirviente Margen Izquierda	<0,01	0,03	0,048	12,3	0,977	1,2

No	Fuente	Fe mg/L	Mn mg/L	Al mg/L	As mg/L	Ba mg/L	Sr mg/L
28	Nº 8 Manantial Geyser Nº 02	0,07	0,28	0,008	8,2	0,109	1,2
29	Nº 9 Manantial RC-44	0,01	0,02	0,034	9,5	0,978	1,0
30	Nº 1 Machay Baños	<0,01	0,029	<0,005	<0,005	0,104	4,31
31	Nº 2 Nahuin Baños	<0,01	0,036	<0,005	<0,005	0,112	4,48
32	Nº 3 Agua de Verruga	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	0,095	3,70
33	Nº 4 Baños de la Juventud	<0,01	0,014	<0,005	<0,005	0,156	4,32
34	Nº 5 Mamahuarmi-Baños Velo de Novia	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	0,098	4,16
35	Nº 7 Baños de Tingo	0,01	0,738	<0,005	<0,005	0,165	3,13
36	Nº 8 Aguas Termales de Huancachín	<0,01	0,093	<0,005	<0,005	0,21	8,2
37	Nº 9 Baños Termales de Huancahuasi	0,02	0,667	0,007	<0,005	0,146	6,62
38	Nº 6 Baños de Fierro	0,65	1,22	<0,005	<0,005	0,117	2,22
39	Nº 10 Baños Medicinales de Picoy	0,02	0,619	<0,005	0,007	0,14	7,27
40	Nº 11 Aguas de Virroc	0,30	0,573	<0,005	<0,005	0,035	1,78
41	Nº 12 Aguas Termales de Patón	<0,01	<0,005	<0,005	0,020	0,117	2,96
42	Nº 1 Tu - 23 Azufre Grande	30,43	2,35	20,7	3,35	0,062	<0,1
43	Nº 2 Tu - 12 Azufre Chico	29,34	2,42	36,9	1,65	0,106	0,1
44	Nº 1 Manantial Tacalaya, Margen izquierda Nº 1	0,09	0,41	0,096	0,57	0,057	1,5
45	Nº 2 Manantial Tacalaya, Margen derecha Nº 2	0,05	0,33	0,061	0,41	0,047	1,2
46	Nº 3 Fuente Nº 03 Margen derecha	0,09	0,33	0,024	0,38	0,055	1,2
47	Nº 4 Fuente Nº 05 Margen derecha	0,05	0,41	0,034	0,28	0,046	1,3
48	Nº 5 Fuente Nº 07 Margen izquierda	0,06	0,39	0,011	0,66	0,043	1,4
49	Nº 6 Fuente Nº 09 Margen izquierda	0,03	0,41	0,016	0,46	0,044	1,6

4. Metales trazas en las aguas termales

No	Fuente	Cd mg/L	Co mg/L	Cr mg/L	Cu mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L	Hg µg/L
1	Nº 1 Yumagual Nº 01 Fuente	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,006	<0,2
2	Nº 2 Yumagual Nº 02 Mezcla	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,017	<0,2
3	Nº 3 El Tragadero Nº 01	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,008	<0,2
4	Nº 4 El Tragadero Nº 02	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,009	<0,2
5	Nº 5 Aguas Calientes Fuente (La Grama)	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,011	<0,2
6	Nº 6 Oscol Fuente Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,011	<0,2
7	Nº 7 Oscol Fuente Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,013	<0,2
8	Nº 8 El Chorro Fuente Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,013	<0,2
9	Nº 9 El Chorro Fuente Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,013	<0,2
10	Nº 10 El Chorro Nº 3 Mezcla	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,010	<0,2
11	Nº 11 El Perolito Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,009	<0,2
12	Nº 12 El Perolito Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,005	<0,2
13	Nº 1 La Calera. Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,093	<0,2
14	Nº 2 La Calera Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,079	<0,2
15	Nº 3 Geyser Infiernillo - Pinchollo	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,033	<0,2
16	Nº 4 Baños de Chacapi - Yanque	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,051	<0,2
17	Nº 5 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,035	<0,2
18	Nº 6 Hotel Colca Lodge, Yanque Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,018	<0,2
19	Nº 1 Pozo el Tigre	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,065	<0,2
20	Nº 2 Pozo Zamacola	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,030	<0,2
21	Nº 1 Manantial Margen derecha (Nº 1)	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,024	<0,2
22	Nº 2 Calientes Margen Izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,044	<0,2
23	Nº 3 Manantial Nivel Superior Margen Izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,115	<0,2
24	Nº 4 Cuatro ojos Margen derecha	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,050	<0,2
25	Nº 5 Un Ojo Margen derecha	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,254	<0,2
26	Nº 6 Manantial Geyser Nº 1 Margen Izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,033	<0,2
27	Nº 7 Manantial Agua Hirviente Margen Izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,037	<0,2

No	Fuente	Concentraciones (mg/L)									
		Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg		
28	Nº 8 Manantial Geyser Nº 02	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,033	<0,2		
29	Nº 9 Manantial RC-44	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,043	<0,2		
30	Nº 1 Machay Baños	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
31	Nº 2 Nahuin Baños	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
32	Nº 3 Agua de Verruga	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
33	Nº 4 Baños de la Juventud	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
34	Nº 5 Mamahuarmi-Baños Velo de Novia	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
35	Nº 7 Baños de Tingo	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
36	Nº 8 Aguas Termales de Huancachin	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
37	Nº 9 Baños Termales de Huancahuasi	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
38	Nº 6 Baños de Fierro	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
39	Nº 10 Baños Medicinales de Picoy	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
40	Nº 11 Aguas de Viroc	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
41	Nº 12 Aguas Termales de Patón	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	<0,005	<0,2		
42	Nº 1 Tu - 23 Azufre Grande	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,692	<0,2		
43	Nº 2 Tu - 12 Azufre Chico	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,533	<0,2		
44	Nº 1 Manantial Tacalaya, Margen izquierda Nº 1	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,032	<0,2		
45	Nº 2 Manantial Tacalaya, Margen derecha Nº 2	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,100	<0,2		
46	Nº 3 Fuente Nº 03 Margen derecha	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,033	<0,2		
47	Nº 4 Fuente Nº 05 Margen derecha	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,066	<0,2		
48	Nº 5 Fuente Nº 07 Margen izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,022	<0,2		
49	Nº 6 Fuente Nº 09 Margen izquierda	<0,0002	<0,005	<0,005	<0,002	<0,005	<0,002	0,037	<0,2		

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Anexo 2

**MAPA GEOLOGICO DE LA LOCALIDAD
CAJAMARCA**

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Anexo 3

MAPA GEOLOGICO DE LA LOCALIDAD CHURIN

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Anexo 4

MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA LOCALIDAD CAJAMARCA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Anexo 5

MAPA HIDROGEOLOGICO DE LA LOCALIDAD CHURIN