

P-460

ENERGIA GEOTERMICA

Presentado por :

- Mecanismo de Emisión. (Volcanismo).
- La surgida geotermal.

DANIEL TRUJILLO DE LA CRUZ.

- Futuro de la
- Desarrollo del Proyecto Geotermal y Avances Logrados en el

JULIO CHIRIBOGA MINAYA.

- Estudio de Reconocimiento Geotermal de la Región Volcan

GERMAN LOPEZ VERGARA.

- Cálculo de Geotermómetros de Sil, con base en Datos de Sil
- Análisis del Reporte de Aguater.

RODOLFO NUÑEZ CHAVEZ.

- La Energía Geotermal en beneficio de la Agricultura.
- Conclusiones.

Profesor : NESTOR CHACON ABAD

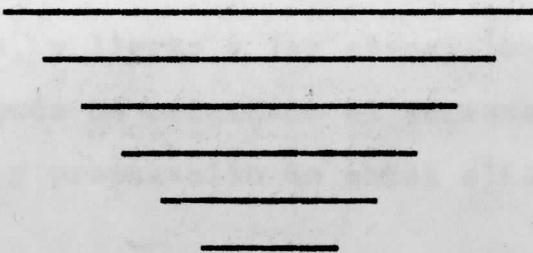
AGRADECEMOS A :

ING. HUGO RIVERA

ING. MARIA LAU.

I N D I C E.

- Estructura Interna de la Tierra. Su estado termico.
- Mecanismo de Emisión. (Volcanismo).
- La enrgía geotérmica.
- Futuro de la Energía Geotérmica.
- Desarrollo del Proyecto Geotérmico y Avances logrados en el Perú.
- Estudio de Reconocimiento Geotérmico de la Región Volcanica del Sur.
- Calculo de Geotermómetros de SiO<sub>2</sub> con Base en Datos de Silice "Reactiva" Incluidos en & Analisis del Reporte de Aquater.
- La Energía Geotérmica en beneficio de la Agricultura.
- Conclusiones.





Del comportamiento de estas ondas elásticas, complementando con otras observaciones geológicas y geofísicas, se ha deducido la existencia en el interior de la Tierra de una serie de capas concéntricas con diferente composición química o mineralógica, densidad y compactación, rigidez, etc. Aunque estas capas no son totalmente homogéneas ni regulares pueden considerarse como tales de acuerdo con las grandes discontinuidades que se han localizado a unas profundidades medias de 80, 400, 1.200, 2.900, 5.000 kilómetros. En la base del manto inferior, a unos 2.900 Km. de profundidad, se localiza la discontinuidad más importante, ya que al llegar a ella desaparecen las ondas sísmicas transversales o secundarias (ondas S, de shake, sacudida) mientras que las ondas longitudinales o primarias (ondas P, de push, empuje) disminuyen su velocidad desde 13 a 8 kilómetros por segundo. Este brusco cambio en la última capa o núcleo se ha interpretado de diferentes maneras, teniendo en cuenta otros parámetros como la presión que alcanza los tres millones de atmósferas en el centro de la Tierra y la temperatura superior a los 6.000 °C. El núcleo debe tener una densidad muy superior a la de las rocas que componen el manto y la corteza, puesto que la densidad media de la Tierra es de 5,5 gr./cm<sup>3</sup>. Sin embargo, esta elevada densidad podría explicarse por las enormes presiones que soporta el

el núcleo, sin necesidad de recurrir a importantes diferencias en su composición. La hipótesis de que en el núcleo se concentran los elementos más pesados como Níquel (Ni) y Hierro (Fe) dio el nombre de nife a esta zona interna imaginándola también en estado líquido, debido a las elevadas temperaturas que se le suponían .

Realmente, el núcleo se comporta como un líquido con respecto a la propagación de las ondas sísmicas, pero su composición y el estado de agregación de sus elementos es todavía desconocido. Recientes investigaciones señalan la posibilidad de que en el centro de la Tierra quede materia primigenia y que el Hidrógeno a elevadas presiones se comporte como un material de un metal, formando aleaciones con Fe, Ni y Si. Las teorías más generalizadas coinciden en que la Tierra estaba inicialmente fría cuando se formó por acumulación de polvo cósmico, hace más de 4.600 millones de años. La energía gravitatoria desarrollada por la concentración de estas partículas generó el calor que posteriormente se fue incrementando al separarse núcleo y manto. Otras fuentes ya extinguidas de calor fueron, posiblemente, la desintegración de isótopos de vida corta y la absorción de energía cósmica. La Tierra, a su vez irradia calor, calculándose el flujo térmico actual en  $7,7 \cdot 10^{12}$  cal/seg. lo que supone un fabuloso almacenamiento de energía .

La energía calorífica ha condicionado la evolución

del planeta, cuyo estado térmico apenas conocemos ya que la temperatura es uno de los parámetros terrestres menos estudiado, y los cálculos teóricos dependen de la hipótesis de partida sobre el estado térmico inicial del planeta. Actualmente conocemos bastante bien la distribución de temperaturas en la corteza, donde el calor se propaga casi exclusivamente por conducción. El gradiente geotérmico medio en la corteza es de 1°C cada 33mt. que basta para que el manto superior alcancen temperaturas suficientemente altas para fundir sus materiales. Sin embargo, a menor profundidad se requiere otra fuente adicional de calor para explicar la generación de magmas corticales o simplemente las anomalías térmicas de algunas regiones. Esta fuente energética podría ser de origen mecánico o ser en gran parte de origen radiactivo, al desintegrarse isótopos de vida larga como  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$  muy abundantes en la corteza y casi ausentes en el manto.

El transporte de calor en las capas subcorticales no debe realizarse por conducción, ya que al ser prácticamente constante la conductividad térmica del manto, éste se encontraría totalmente fundido a una cierta profundidad si la temperatura continuase aumentando a razón de 1°C cada 33 mt.. Posiblemente el calor sea transportado por convección, tal como ocurre en el volcanismo o las aguas termales, aunque en estos casos el transporte de calor lo rea-

lizan fluidos cuya dinámica es claramente comprensible. El problema de la convección en el manto radica en su estado sólido, por lo que pese a su rigidez debemos admitir que se comporta como un material plástico, capaz de desarrollar un lento pero eficaz, movimiento convectivo durante millones de años .

Se sabe que la Astenosfera (70-150 km. de profundidad) es un millón de veces menos viscosa que la geosfera y se comporta como un material no rígido cuando es sometida a esfuerzos de período corto , como las sacudidas sísmicas, pero el problema radica en conocer el mecanismo para convertir el calor en trabajo mecánico.

Con este objetivo se han estudiado modelos experimentales que justifican la convección en el manto, pero estas hipótesis no son generalmente aceptadas, por lo que la incógnita terrestre se mantendrá hasta que nuevas técnicas más resolutivas abran paso a teorías satisfactorias.

En los últimos años se han intensificado los programas conjuntos investigación para determinar la naturaleza y condiciones termodinámicas del manto . En uno de estos programas el proyecto Mohole se intentaba alcanzar el manto mediante perforaciones que atravesasen la corteza en sus zonas más delgadas. Este proyecto fracasó por dificultades técnicas y económicas (Greenberg, 1972), pero sus escasos resultados significaron un notable progreso en el estudio de la corteza oceánica.

MECANISMOS DE EMISION.-

El volcanismo es una pequeña manifestación de la energía acumulada en nuestro planeta, pero la generación de magmas no tendría ninguna manifestación externa si no existiesen los conductos apropiados para su salida a la superficie. La apertura de vías de comunicación entre las zonas profundas y la atmósfera o hidrosfera, así como los mecanismos de ascenso de los magmas, plantean problemas que no han sido totalmente resueltos.

Las fracturas por las que circulan los fundidos hasta la superficie, deben abrirse como resultado de complicados esfuerzos tensionales en la base de la litosfera. Dichas fracturas pueden intervenir también decaásivamente en la generación de los magmas al crearse zonas de menor presión donde se facilita la fusión de rocas del manto. Las fracturas se ensanchan a su vez sobre la cámara magmática como consecuencia del aumento de volumen que acompaña al proceso de fusión. Al abrirse la grieta se crean zonas de vacío que tienden a ser ocupadas por el fundido que rellena y amplía la fisura inicial al aumentar progresivamente la presión de volátiles. Sucesivamente, las fracturas progresan hacia la superficie a la vez que asciende el magma, empujado también por la presión de carga ejercida sobre el techo de la cámara y por la presión dirigida de la roca encajante.

De lo anteriorme expuesto se deduce que en las zonas

más delgadas o débiles de la corteza, los magmas encuentran las condiciones más favorables para su salida; teniendo en cuenta además que es precisamente bajo estas zonas donde tiene lugar preferentemente la generación de magmas. Esta evidente relación entre tectónica, espesor de corteza y generación de magmas, esta evidente relación entre tectónica, espesor de corteza y generación de magmas es la clave del volcanismo, aunque sigue siendo difícil establecer con detalle el desarrollo de los procesos y mecanismos volcánicos que preceden a la erupción.

Aunque las áreas volcánicas coinciden con regiones tectónicamente activas, el mecanismo eruptivo no parece estar condicionado por la tectónica regional.

Las principales fuerzas que impulsan el ascenso del magma son sus diferencias de presión y densidad con las rocas encajantes; otro factor que controla este movimiento es la viscosidad, que no depende sólo de la composición y volumen de gases iniciales, sino también de la temperatura y del agua que el magma incorpora durante su ascenso.

Indudablemente, los procesos que conducen a la erupción volcánica son lentos, pero su duración no puede determinarse, ya que escapan a nuestro control. En algunos volcanes de Hawaii se ha podido medir el tiempo que tarda la columna magmática en llegar a la superficie desde su zona de generación, pero la gestión de este ascenso tiene un origen mucho más remoto





el sistema geotérmico; las denominaciones campo geotérmico y provincia geotérmica implican consideraciones económicas que afectan a la realidad o viabilidad de una explotación rentable.

En el mejor de los casos un acuífero sometido a temperaturas superiores a su punto de ebullición puede convertirse en un reservorio de vapor sobrecalentado; este como, vapor natural captado mediante sondeos puede ser conducido directamente a las turbinas para producir electricidad.

Es difícil encontrar una situación óptima con producción de vapor sobrecalentado tal como ocurre en los campos de Larderello y Monte Amiata (Italia) y los Geysers (E.E.U.U.), por lo que la mayoría de los campos geotérmicos es de esperar contengan vapor o agua caliente.

Más frecuentemente el reservorio está ocupado por agua caliente la vaporización se produce en niveles superiores al acuífero o en los mismos pozos al disminuir la presión (flashing). Cuando el fluido extraído es sólo agua caliente tiene dos posibilidades de empleo a) vaporizarla a presiones inferiores o b) impidiendo la ebullición, utilizar su contenido calorífico para calentar y evaporar un fluido motor intermedio de bajo punto de vaporización.

Es interesante constatar que si bien esta la primera fuente de energía que conoció y utilizó rudimentariamente el hombre prehistórico no se haya intentado a-

aprovecharla a una escala significativa hasta fechas muy recientes. La explicación a este hecho es de índole económico ya que la disponibilidad de combustibles convencionales a bajo costo era superior a la demanda prevista. No obstante, desde el año 1904 poco después de inventarse la turbina funciona en Larderello (Italia) una central eléctrica accionada por energía geotérmica, que comenzó utilizando el vapor extraído en pozos de pocas decenas de metros y por hoy produce casi el 3% de la energía eléctrica que consume Italia..

Durante muchos años el "fenómeno Larderello" se consideró como una curiosidad geológica irrepetible, pero la expansión económica que sucedió a la II Guerra Mundial condujo a un mayor interés en la producción de energía y algunos países reemprendieron las investigaciones sobre sus recursos geotérmicos. Italia, Nueva Zelanda y Estados Unidos consiguieron aplicar el vapor natural a la producción de electricidad a precios competitivos; otros países, como Hungría, Rusia, Islandia y Japón, comenzaron a utilizar estos recursos para la calefacción de habitaciones e invernaderos. Actualmente se ha ensayado o propuesto el uso de estos fluidos endógenos para : desalinización de agua marina, procesos industriales como papeleras, hilaturas e industrias azucareras, extracción de productos químicos contenidos en los fluidos endógenos, etc.

Puede decirse que el interés mundial por la energía geo-

térmica parte de las recomendaciones efectuadas por las Naciones Unidas después de la "Conferencia sobre Nuevas Fuentes de Energía" celebrada en Roma el año 1961. En la década de los sesenta se produjo el auge de la geotermia, y recientemente, la amenaza de una crisis en las fuentes energéticas tradicionales ha impulsado definitivamente la prospección de estos recursos en casi todos los países.

La exploración de estos recursos naturales lleva consigo el planteamiento de una serie de interrogantes acerca de la índole del fenómeno, cuya respuesta no es fácil, dado el nivel actual de conocimientos. Sin embargo, el riesgo de prospección geotérmica no es superior al de cualquier prospección minera o petrolífera. Por término medio el período exploratorio abarca unos cinco años y dado el tipo de problema, no existen reglas comunes para todos los campos conocidos, habiéndose puesto de manifiesto, por el contrario, importantes diferencias entre ellos, que aunque dificultan la aplicación de una metodología estandarizada, evitan por otra parte que se desestimen a priori campos geotérmicos cuyas características no respondan a las ya conocidas.

En líneas generales las fases de una prospección geotérmica pueden resumirse en el siguiente cuadro :

INVESTIGACION  
PRELIMINAR

Esudios de Factibilidad



La existencia de un campo geotérmico explotable se basa en la siguientes condiciones geológicas y económicas:

- 1) Una fuente de calor relativamente escasa profundidad que garantice un elevado flujo térmico por un largo período de tiempo.
- 2) Un acuífero apropiado, asequible por sondeos mecánicos y sometido a las altas temperaturas de la fuente de calor. El reservorio debe ser muy permeable y algunos autores señalan que esta propiedad debe ser capaz de mantener un sistema de convección.
- 3) Un complejo de materiales impermeables (con impermeabilidad primaria o secundaria) sobre el acuífero, aunque esta condición no es necesaria en el caso de fluidos en estado líquido. La base del acuífero debe ser impermeable o tener una permeabilidad muy inferior a la del reservorio productivo.
- 4) Una zona de recarga del acuífero, puesto que del equilibrio hidrológico del sistema depende en gran parte la producción y la vida activa del campo. Se ha comprobado en los campos productivos actuales un amplio margen en la edad de los fluidos que se extraen, pero en todos los casos tienen un origen meteórico, aunque a veces existe la posibilidad de contaminación con fluidos magmáticos.
- 5) Una extracción y explotación rentable del sistema fluido-calor y de los subproductos si los hubiese.

La explotación de un campo geotérmico es un problema

técnico y en este terreno el avance de los últimos años ha resuelto cualquier dificultad que pueda plantearse.

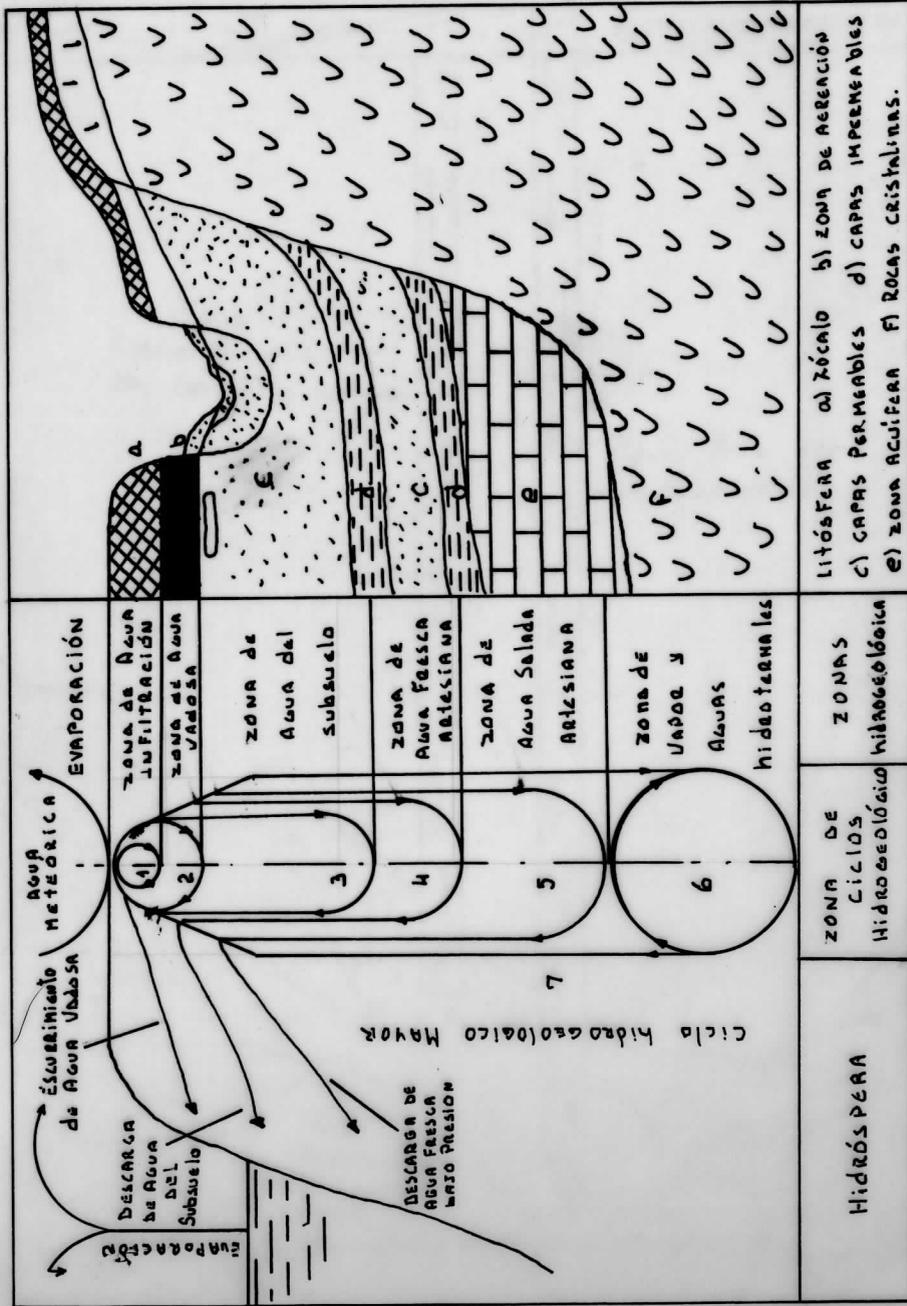
La metodología del sondeo, elección de turbinas, sistemas de conducción, separación de fases fluidas, producción, etc. no constituyen, mayor dificultad en la mayoría de los casos y el control, evaluación, mantenimiento, etc, de las plantas geotérmicas, son actualmente labores casi rutinarias, calculándose en unos 20 años el período óptimo de rentabilidad.

La gran esperanza, por otra parte, es la puesta a punto de técnicas que permitan generalizar el uso de fluidos de baja entalpía. Esta problemática centra la atención de los investigadores y puede confiarse en un rápido y efectivo progreso.

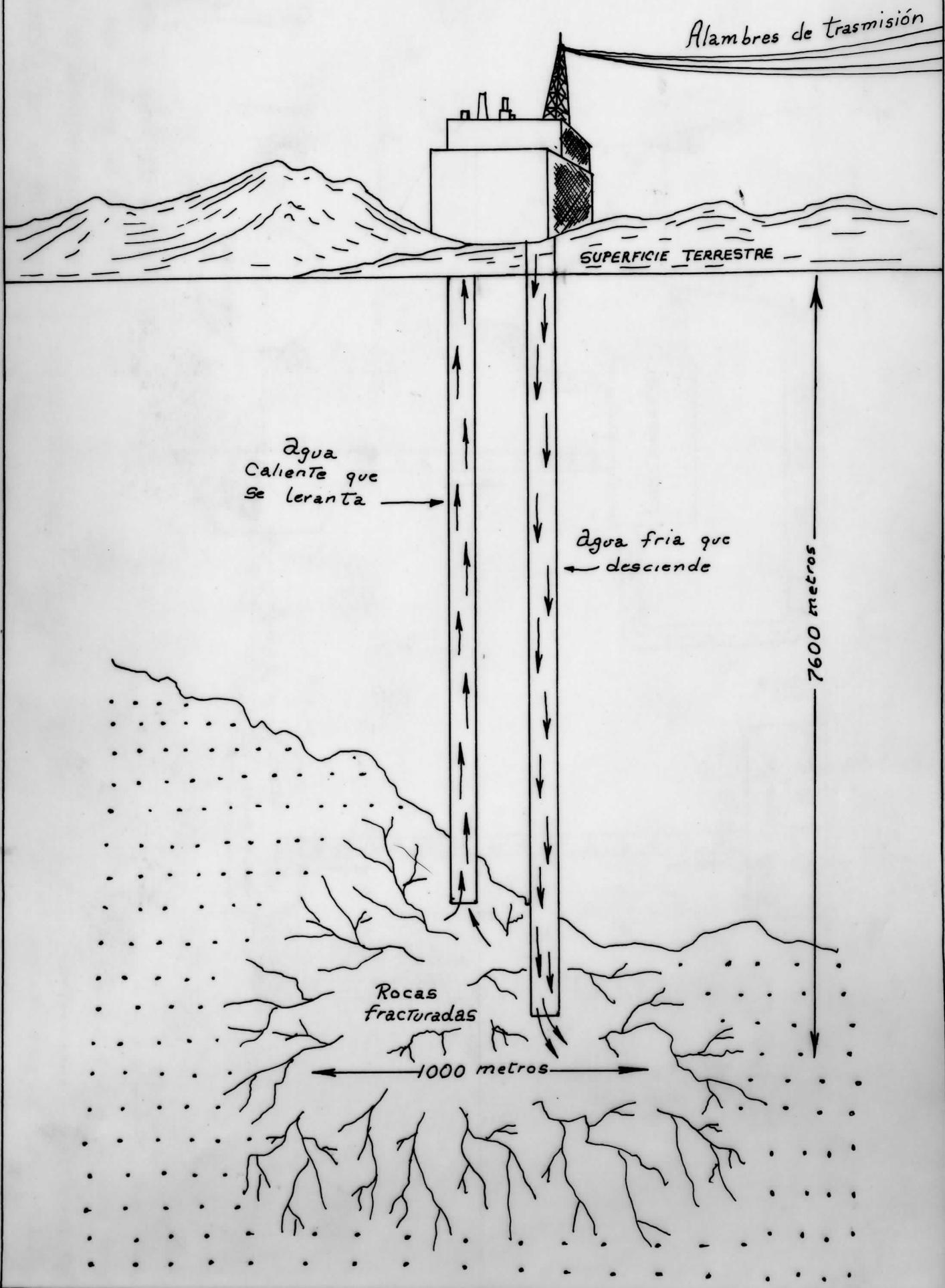
En la prospección geotérmica se han seguido los mismos pasos que en la de hidrocarburos. A partir de unas manifestaciones superficiales aparatosas se hicieron los primeros sondeos y después de obtener una producción interesante se amplió la investigación a regiones sin fenómenos externos, pero cuya estructura y ambiente geológico permitían suponer que eran favorables para la explotación. La entidad y categoría de las manifestaciones superficiales no son en sí mismas un índice para evaluar la importancia económica del campo, por ello no son en absoluto despreciables las menores indicaciones de actividad geotérmica. De hecho uno de los campos geotérmicos más rentables de Italia (Monte Amiata) poseía unas manifestaciones superficiales es-







\* Diagrama de una planta de Energía geotérmica





FUTURO DE LA ENERGIA GEOTERMICA .-

La energía geotérmica que aprovecha las altas temperaturas de las rocas subterráneas, ofrece grandes rendimientos con un costo de explotación relativamente bajo y sin los peligros de contaminación que ofrecen los reactores nucleares, y en menor escala los combustibles fósiles.

Actualmente se está utilizando la energía geotérmica en Italia, Nueva Zelanda, EE.UU., URSS, Japón, México, Islandia, Hungría y China Popular. Las Naciones Unidas patrocinan proyectos de prospección en El Salvador, Nicaragua, Chile, Turquía, Etiopía y Kenia. En otros muchos países (Taiwan, Argelia, Marruecos, Colombia, Yugoslavia, Indonesia, Filipinas, España, etc.), se llevan a cabo trabajos exploratorios por compañías privadas u organismos estatales.

España ha iniciado recientemente un programa de prospección geotérmica en las Islas Canarias, si bien otras regiones peninsulares presentan características favorables para la exploración de sus recursos geotérmicos, tanto por su ambiente estructural como por la existencia de manifestaciones superficiales.

A mediados de 1930, las Naciones UNIDAS patrocinaron un seminario de energía geotérmica al que asistieron 250 delegados. Uno de los peritos rusos, el doctor Barnea dijo que el potencial geotérmico en su país es probablemente igual al potencial combinado de petróleo, carbón y lignito.

En cuanto al costo de producción se estima que el de la

energía geotérmica en 1975 fue entre 100 y 150 dólares por kilovatio, mientras que el de los combustibles fósiles de 200 o 300 dólares y el de la energía nuclear a cerca de 500 dólares.

Aunque las exploraciones de energía geotérmica usualmente han perforado la corteza terrestre en busca de depósitos de agua o vapor "seco" a temperaturas de 200 grados centígrados o más, últimamente en los laboratorios científicos de los Alamos, en California, se ha dado marcha a la técnica de perforar millares de metros en busca de rocas calientes y secas. En la perforación se utiliza el mismo equipo mecánico con que se perforan los pozos de petróleo hasta 8000 metros de profundidad. Se perforarían dos pozos para recubrirlos con tubería metálica. En uno de ellos, cuya tubería tendría perforaciones a un centenar de metros del fondo, se bombearía a presión agua fría que al hacer contacto con la roca ardiente la fracturaría. El segundo pozo llegaría hasta la parte superior de la roca fracturada, y a distancia de unos diez metros del primer pozo. El agua bombeada por el primer pozo circularía por las grietas de la roca adquiriendo un intenso calor y ascendería por el segundo pozo hasta la central geotérmica, donde se la utilizaría para producir energía eléctrica.

A medida que la roca subterránea va perdiendo calor, se supone que se contraerá, creando nuevas fracturas, lo que permitiría que la circulación de agua siga funcionando por muchos años.

Pese a la significativa expansión de la investigación

geotérmica, el incremento de producción ha sido escaso y por esto su interés no alcanza todavía al gran público. Debe tenerse en cuenta que la situación actual de la producción, explotación e investigación geotérmica se encuentra en una fase similar a los inicios de la prospección petrolífera y que todavía pasarán muchos años hasta que la producción alcance una cifra significativa, multiplicándose los 1000MW que actualmente alcanza teniendo en cuenta sus múltiples aplicaciones.

El aprovechamiento de los recursos geotérmicos está supe-  
ditado a una serie de factores económicos y geopolíticos, puesto que la energía geotérmica no tiene en sí un valor absoluto, al tener que explotarse insitu y depender su consumo de la competitividad con otras fuentes energéticas. Sin embargo, estos condicionamientos a la utilización en gran escala de la energía geotérmica, no afectan a las pequeñas instalaciones que estén llamadas a adquirir la máxima importancia por su bajo costo y rápida amortización.

Debe considerarse también el posible alumbramiento de aguas u otros recursos naturales, cuya explotación se depende de la culminación el proyecto o de su interrupción en un determinado momento. Se deberán valorar también los productos secundarios que pueda obtenerse, ya que los fluidos endógenos contienen sales cuya separación es rentable. En varios campos geotérmicos se encuentra ácido bórico en los fluidos endógenos; la explotación de uno de sus derivados (borato sódico) llegó a tener

una gran importancia industrial en Larderello, aunque hoy constituye un aprovechamiento muy secundario en relación con la producción de electricidad.

En cualquier caso es evidente que todos los países deben investigar la potencialidad de sus recursos geotérmicos. En este sentido la URSS y los EE.UU. realizan actualmente un gran esfuerzo cuyos resultados demuestran en gran parte del subsuelo existen recursos geotérmicos aprovechables. En los EE. UU. cálculos optimistas estiman que sus recursos geotérmicos tienen un potencial capaz de producir unos 95.000 MW el año 2.000.

El gran porvenir de la energía geotérmica no reside exclusivamente en la utilización directa de vapor natural para poner en marcha una turbina (Italia, Nueva Zelanda, EE.UU., México, Japón, El Salvador, etc.) sino en los fluidos de baja entalpía. La investigación realizada en este campo experimenta notables progresos, que van desde producir la ebullición del agua caliente disminuyendo la presión (Nueva Zelanda) hasta la utilización de gases de bajo punto de ebullición como el freón o el isobutano ( URSS, EE.UU. , Inglaterra). Por otra parte los fluidos de baja entalpía admiten numerosas aplicaciones directas, o bien pueden ceder sus calorías para otros fines por medio de intercambiadores de calor.

Proyectos más sofisticados contemplan la posibilidad de aprovechar las zonas de flujo elevado donde existan acuíferos provocando la formación de un reservorio artificial donde se introduciría agua fluvial o marina.

DESARROLLO DEL PROYECTO GEOTERMICO Y AVANCES LOGRADOS  
EN EL PERU :

El Perú posee un gran potencial geotérmico que recién empieza a ser evaluado. Un inventario de fuentes termales efectuado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, en 1978, marca el inicio del Proyecto Geotérmico y revela la existencia de más de 200 manifestaciones de aguas termales con temperaturas desde 16 hasta 92°C que se distribuyen tanto a lo largo de la Cordillera Occidental de los Andes como entre ésta y la Cordillera Oriental. Dado a su ubicación geográfica y a sus relaciones con la geología local se agruparon en 6 regiones I) Cajamarca- La Libertad, II) Callejón de Huaylas, III) Churín, IV) Central, V) Cordillera Volcánica del Sur VI) Cuzco-Puno.

Con la finalidad de dar un orden de prioridades para los estudios de exploración en cada región se hizo, en base a la información disponible, una interpretación geológica y se relacionó la ocurrencia de las manifestaciones termales con la tectónica y el emplazamiento del magmatismo joven o reciente; además una visualización de los aspectos socio-económicos y desarrollo industrial, así como el consumo de petróleo en centrales térmicas.

El resultado del análisis, permitió establecer el siguiente orden de prioridades:

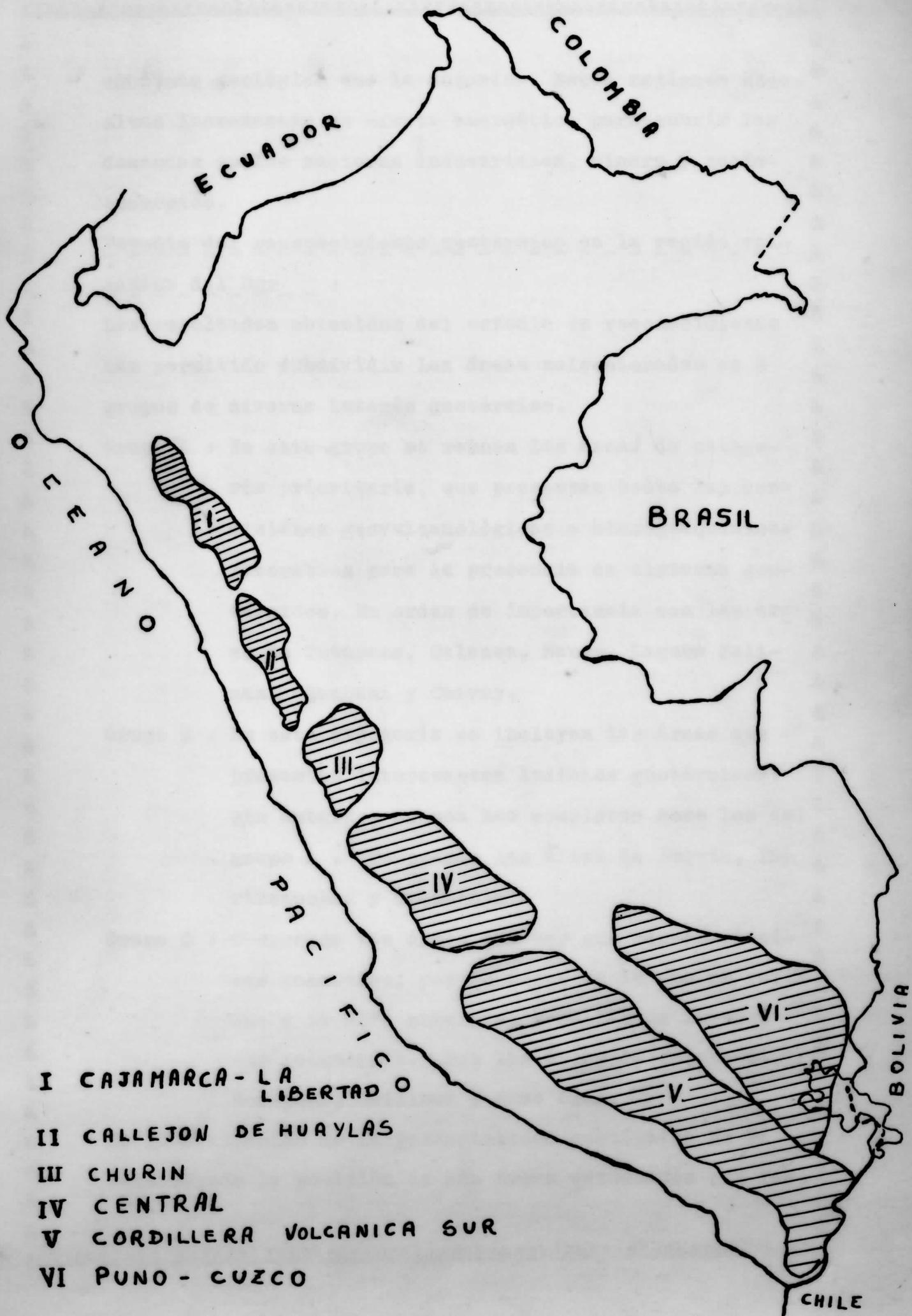
- 1) Región Cordillerana Volcánica del Sur, esta región está localizada en el Sur del Perú, entre los 14 y 18 grados de latitud Sur, sobreimpuesta en la Cordillera Occidental a lo largo de 700 km. Está constituida por

un vulcanismo joven y aún activo en estado fumarólico, ofreciendo las mejores condiciones para obtener fluidos de alta entalpia para su aprovechamiento en generación eléctrica. Por otra parte, en la región, existen importantes centros mineros como Toquepala, CUAJONE y Cerro Verde que satisfacen su demanda energética mayormente con centrales térmicas, puesto que la capacidad hidroeléctrica instalada es insuficiente. Además la puesta en marcha de otros proyectos mineros requerirán de energía adicional. A las necesidades energéticas de estos centros mineros se suma como factor aleatorio la demanda de energía necesaria para el desarrollo industrial de las ciudades de Arequipa, Moquegua y Tacna.

2) Región Puno-Cuzco, en parte de similares características geológicas que la anterior, necesita para el desarrollo de los proyectos mineros de Tintaya, Corocohuayco, Ferrobamba, Chalcobamba y Quechua entre otros, contar con una mayor oferta de energía; asimismo para cubrir la demanda industrial y la electrificación de numerosos centros poblados.

3) Región de Cajamarca y la Libertad, esta región carece de vulcanismo reciente y se supone que las manifestaciones geotermales estén vinculadas con fallas profundas. El proyecto minero de Michiquillay, la mediana minería así como la ciudad de Cajamarca, requieren de energía eléctrica para su puesta en operación y expansión industrial, respectivamente.

4) Regiones del Callejón de Huaylas, Churín y Central, las manifestaciones geotermales se encuentran en en mismo





pecto a las líneas geotectónicas y vulcanológicas.

En particular se ha examinado prioritariamente la posición de cada área respecto al frente volcánico activo, que constituye verosímilmente la faja de anomalía geotérmica más elevada de carácter regional.

Otro factor importante, tomado en cuenta, es el tipo de actividad volcánica, naturaleza y evolución de los productos emitidos y su edad. También los resultados de los estudios hidrogeológicos e hidrogeoquímico.

Area de Puquio.- El vulcanismo del área está caracterizado por ignimbritas potentes que se presentan siempre falladas, plegadas y fuertemente alteradas, sobre estas descansa en discordancia una cobertura ignimbritica de edad Mioceno medio ( 11.3 m.a.) de composición dacítica y en algunos lugares está cubierta por lavas andesíticas. El vulcanismo más reciente, probablemente pleistocénico se encuentra en una zona a más o menos 30 km. al norte del área estudiada y está relacionado con lineamientos tectónicos de dirección andina (NW) y a veces en el cruce de éstos con otros de dirección aproximada N-S .

Los manantiales tienen una temperatura de 80-83 °C, caen en la clasificación de sulfatada sódicas de cierto origen geotérmico, tratándose por lo tanto de mezclas de aguas.

Los geotermómetros de Na/K/Ca indican una temperatura de 168 °C y el de Na/K , 120 °C . El área de puquio es de interés geotérmico, aunque no prioritario.

Area de Parinacochas.- Presenta un vulcanismo relativamente reciente con productos generalmente de composición andesítica y en relación con directrices tectónicas de di-

rección andina. Sin embargo se encuentran importantes lineamientos con dirección N-S y antiandinas (NE) .

El área está alineada a lo largo de la dirección del vulcanismo activo, presenta fuentes con temperaturas de 40 a 44 °C, especialmente en la parte norte cerca del pueblo de Coracora y son de composición sulfatada sódicas. Los geotermómetros (Na/K y Na/K/Ca ) indican temperaturas entre 77 y 168 °C. En cuanto al interés geotérmico de esta área es menor que el de Puquio.

Áreas de Cotahuasi y Coropuna .- En el área de Cotahuasi en discordancia sobre el basamento mesozoico se encuentra las ignimbritas que constituyen el altiplano y más al sur soportan los grandes edificios centrales del Coropuna y el Solimana. La edad de la ignimbrita es relativamente antigua de 13.9 m.a perteneciente al Mioceno medio. El vulcanismo más reciente está constituido por las últimas coladas dacíticas del Coropuna de estas áreas presentan baja termalidad a excepción de la muestra de Lucha (14) del área de Cotahuasi, que cae en la clasificación hidroquímica como agua clorurada sódica de medio ambiente subterráneo. Los geotermómetros le asignan una temperatura media de 180°C y la graficación hidrogeoquímica indica mezcla de aguas con predominancia de aguas geotérmicas.

ÁREA de Arcata-Orcopampa .- En toda el área del altiplano entre Arcata y Orcopampa el vulcanismo está dominado por un paisaje ignimbrítico, en algunos lugares con coberturas de lavas andesíticas y relativamente escasos aparatos centrales. Estos productos volcánicos se encuen-

tran en general erosionados y tectonizados.

En el valle de Andahua, sobre el basamento sedimentario mesozoico o sobre la secuencia volcánica más antigua se encuentran productos de composición generalmente andesítica que pueden ser considerados actuales.

Están constituidos por flujos anchos de lava y conos de cenizas y escorias de dimensiones limitadas. Los aparatos están alineados según una dirección aproximada N-S, que parece ser una directriz tectónica más reciente que la principal andina. Los datos químicos y petrográficos indican que entre los productos examinados sólo algunos son relativamente fraccionados.

Las fuentes termales son sobre todo de contacto y brotan de la base de los niveles ignimbríticos. La fuente de Orcopampa brota en el profundo valle de Andahua en los bordes de una escarpa de notable altura; mientras que la de Aracata (Maripujio) se encuentra en la parte alta del altiplano y parece mas interesante desde el punto de vista geotérmico.

Las dos fuentes muestreadas tienen un caracter químico simple: la muestra 9 ( Maripujio) es bicarbonatada sódica y la 10 ( Huancarama) clorurada sódica. Los Geotermos indican baja temperatura de 53 grados C.

En conjunto el área presenta un moderado interés geotérmico.

4.5.- AREA de Chivay- Cailloma .- El vulcanismo reciente de ésta área está ubicada en la zona de Chivay, relacionado con tendencias tectónicas de dirección andina. También son evidentes directrices tectónicas antiandinas sobre

~~~~~

& las cuales se formaron edificios volcánicos relativa- &  
& mente viejas. La edad es de 0.4 ma y la de los pro- &  
& ductos dacíticos procedentes del volcan Hualca Hualca &  
& es muy reciente de aproximadamente 80,000 mil años. &  
& Las fuentes termales de Chivay se encuentran alineadas &  
& a lo largo de un importante directriz tectónico por la &  
& cual afloran los sedimentos Jurásicos. &

& En el área d Cailloma la serie volcánica más reciente &  
& empieza con una cobertura igninbritica bien soldada, &  
& muy fracturada sobre las cuales descansan lavas de na- &  
& turalaleza andesítica, procedentes de aparatos centrales &  
& afectados por erosión glaciár y cuya edad absoluta es &  
& de 1 m.a.. &

& Todas las muestras a exepción de quebrada Malata pre- &  
& sentan termalidad media entre 130 a 180 grados C., con &  
& el Geotermómetro de Na / K / Ca , así mismo, caen en &  
& las clasificaciones hidroquímicas de aguas cloruradas &  
& sódicas y de medio ambiente subterráneo, con circulaci- &  
& ón restringida, lo cual favorece la existencia de un &  
& reservorio geotérmico. La graficación hidrogeoquímica &  
& apoya la existencia de un reservorio en el subsuelo in- &  
& dicandonos que se tratan de aguas netamente geotérmicas &  
& El área de Chivay parece mucho más interesante y pueden &  
& merecer una exploración más profunda. &

& Area de La Laguna SALINAS -> CHACHANI .- El área ha si- &  
& do dividida en dos sectores en los cuales se han obser- &  
& vado una evolución vulcano-geológico del todo análoga, &  
& sin embargo, del punto de vista geotérmico presenta ca- &  
& racterísticas peculiares que justifican la subdivisión. &  
& Sector Lagunas Salinas.- La serie volcánica plio-cua- &  
& ternaria está caracterizada por una actividad erosiva &  
& de tipo ignimbrítico a la cual siguió una actividad &  
& sobre toda efusiva. &

& Los aparatos centrales mas recientes y volumetricamente &  
& mas importantes resultan alineados en una directris que &  
& comprende los volcanes Chachani-Misti-Huaynaputina, y &  
& corresponde al borde occidental del antiplano. &

& ~~~~~

La serie volcánica fué afectada por una tectónica de tipo rígido . La dirección regional de las fallas más recientes es de NW- SE que cortaron al antiplano en bloques degradantes hacia su margen occidental. Esta situación estructural favoreció la formación de zonas relativamente deprimidas ( cuencas intravolcánicas ) , sede de la sedimentación reciente. La cuenca de la Laguna Salinas representa una de la más importantes depresiones de éste tipo.

En el grado de evolución de los aparatos centrales más recientes resulta relativamente escaso. Las rocas andesíticas de composición intermedia (  $\text{SiO}_2$  58-60 % ) dominan a los otros tipos.

La edad de vulcanismo inmediatamente alrededor de la Laguna Salinas es relativamente antigua, sus productos más recientes según dataciones radiométricas resultan de edad pliocénica.

Sin embargo toda el área termal está ubicada en la proximidad del frente volcánico activo y comprendida entre dos grandes aparatos el Misti y el Ubinas , y pueden ser considerada sustancialmente interesante desde el punto de vista geotérmica.

Las muestras San Jose, Huito , y Pampalizama indican termalidad media a elevada. Con índices químicos Na/ K medios y contenido de Mg bajo, caen en la clasificación hidroquímica de aguas cloruradas sódicas de medio ambiente subterráneo. Los geotermómetros de Na/ K y Na /K Ca, indican temperaturas de 175 a 25 grados C., inclusive efectuando la corrección por Mg.

La graficación hidrogeoquímica nos indica que son aguas netamente geotérmicas.

Se considera un exedente sitio para continuar con el siguiente estudio de pre-factibilidad.

Sector Chachani : Comprende el volcan central mixto de Chachani y la zona termal adyacente al NW del mismo aparato. Este volcan, constituido por flujos lávicos intercalados con productos piroclásticos, tuvo una actividad probablemente muy prolongada en el tiempo, debido a

que se haya afectado en parte, por la erosión glaciaria y las lavas mas recientes de naturaleza dacítica del aparato excentrico del Portaderas, tienen una edad aproximada de 330,000 mil años. Las muestras de Jesús y Uchupampa situadas al NW y SW del Chachani, presentan características de elevada termalidad, con un índice de Na/ K bajo , de composición química Clorurada-sódicas y de medio ambiente subterráneo. En la primera en el geotermómetro sodio potasio no es aplicable, sin embargo, Na/ K / Ca arroja una temperatura de 290 grados C. en profundidad. En la segunda ambos geotermómetros indican alta temperatura entre 223 y 282 grados C. .

Area De Calacoa-Ticsani.- El área presenta vulcanismo tanto efusivo como explosivo, que sin embargo dió lugar a volúmenes no muy elevados de materiales.

La edad de ésta actividad es muy reciente, la datación radiométrica ( K / Ar ) en una muestra de lava del Ticsan determinó una edad aproximada de 190,000 mil años. Los productos eructados son relativamente refraccionados de tipo dacítico, los datos petrográficos químicos sugieren la hipótesis que los productos volcánicos aflorantes sean derivadas de un magma más básico, probablemente de tipo andesítico, por medio de un proceso de fraccionamiento relativamente superficial.

La geoquímica de las muestras de Sayasayani y Putina exponen índices químicos Na/ K de valores medios, contenido bajo en Mg, cayendo en la clasificación hidroquímica de aguas cloruradas sódicas de origen subterráneo, bajo condiciones de estacamiento. Se detectó cierta mezcla con aguas superficiales razón por la cual los geotermómetros de Na/ K y Na / K / Ca indican temperaturas medias de 190 grados C., mientras que el SiO<sub>2</sub> da 110 grados C.. La gráfica hidrogeoquímica muestra un carácter netamente geotérmico de dichas aguas.

Las evaluaciones geológicas y geoquímicas conducen a considerar la probable existencia de un importante

reservorio geotérmico.

Area de Candarave Tutupaca.- Los sistemas volcánicos recientes se encuentran sobre prociones de ignimbritas y sedimentos que constituyen el altiplano y limitados por grandes fallas de caracter regional donde se presentan manifestaciones de termalidad relativamente elevada.

La actividad volcánica más reciente ha utilizado para la subida de los magmas una dirección aproximadamente andina, mientras que, durante la fase más antigua de éste ciclo volcánico fue utilizada preferentemente una dirección transversal a la anterior.

Los aparatos recientes o activos han eruptado en las fases mas recientes, abundantes productos fraccionados generalmente de tipo dacítico. Esto sugiere su relación con sistemas de alimentación intermedios relativamente superficiales.

Las muestras de aguas de Azufre Grande , rio Callazas y Quebrada Huayjaque son cloruradas sódicas y sulfatadas sódicas resultando difícil la identificación de su medio ambiente mediante u origen por la cercania y asociación con el vulcanismo local. Dichas muestras presentan elevadas temperaturas con los geotermómetros de Na/ K y Na/ K / Ca de 200 a 250 grados C.. La gráfica hidrogeoquímica indica que se trata de aguas netamente geotérmicas. Esta área se considera primordial en la continuación de los estudios, tanto por su carácter netamente geotérmico de las aguas, como por la gran extensión de la alteración hidrotermal y la presencia de manifestaciones evidentes ( temperatura, caudales etc. ) .

Area de Maure- Masacruz..- Esta región constituye la parte mas meridional del antiplano andino en el Perú, cerca de la frontera, con Bolivia. La geomorfología del Area la caracteriza numerosos conos volcánicos de edad variable que se levantan a partir de una altitud media que aproximadamente 4,000 metros.

Los aparatos centrales de tipo mixto están constituidos por andesitas relativamente básicas que prevalecen sobre los productos más fraccionados. Las dataciones efectuadas sobre los productos mas antiguos indican que los aparatos se han desarrollado por lo menos desde el mioceno Superior. Los sistemas volcánicos más recientes estan constituidos por domos dacíticos cuya edad es de 100,000 mil años.

El área de Maure ( Chayapallca ) resulta potencialmente más interesante desde el punto de vista geotérmico, respecto al área de Mazo Cruz.

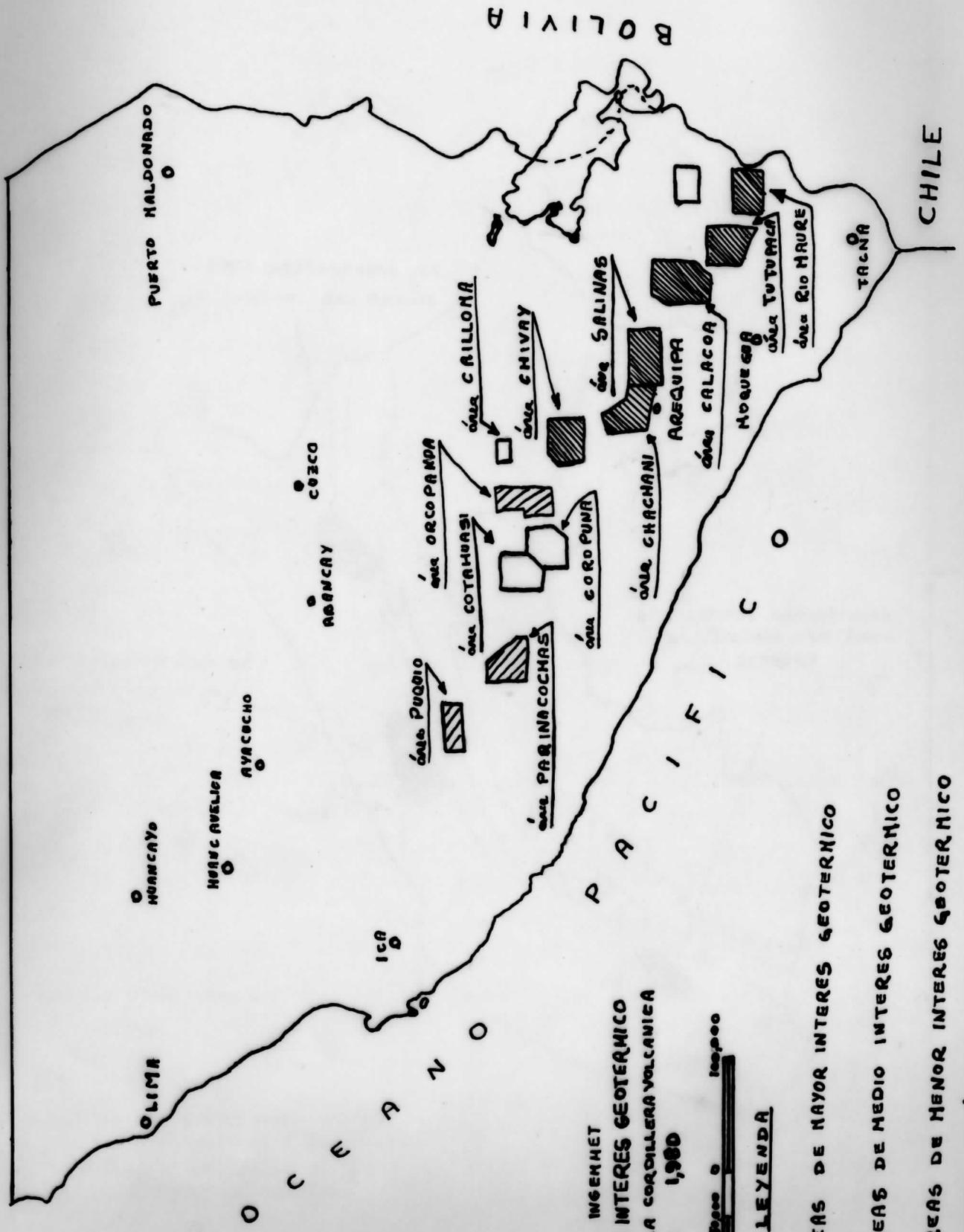
La mayor parte de las muestras de agua evaluadas del área de Maure presentan exelente termalidad en el subsuelo, con indices de Na / K medio y escaso contenido de Mg. Son aguas cloruradas sódicas de origen subterráneo, algunas de ellas existentes bajo condiciones de estancamiento en el subsuelo.

Los geotermómetros indican temperaturas hasta de 230 grados . Por lo tanto en el área de Maure se presentan condiciones propicias para la existencia de un reservorio geotérmico de grandes dimensiones.

#### Estado actual del Proyecto.-

Personal del Departamento de Geotermia de INGEMMET , siguiendo las indicaciones del estudio de reconocimiento ha efectuado la foto interpretación geovulcanológica orientada a determinar la estratigrafia de los productos volcánicos resientes, la relaciones del vulcanismo con la tectónica y la interpretación estructural del basamento y vulcanismo reciente con la posible ocurrencia de depresiones tectónicas que constituirían " reservorios " potenciales de tres áreas prioritarias del grupo A : Tutupaca-Calientes, Calacoa y Maure.

Asimismo, se ha dado inicio a los estudios de campo en las tres áreas indicadas, que consisten en un levantamiento geológico vulcanológico a la escala 1:50,000 y recolección de muestras de aguas de manantiales calientes y frios, en concordancia con la metodología de OLADE para estudios de pre-factibilidad.



INGEMMET  
**AREAS DE INTERES GEOTERMICO**  
 REGION DE LA CORDILLERA VOLCANICA  
 1980



**LEYENDA**

-  AREAS DE MAYOR INTERES GEOTERMICO
-  AREAS DE MEDIO INTERES GEOTERMICO
-  AREAS DE MENOR INTERES GEOTERMICO

**ESCALA: 1/5'000,000**

CAMPOS GEOTERMALES DE  
CAJAMARCA, SAN MARCOS

CAMPOS GEOTERMALES DE  
YANAHUANCA, CHURÍN,  
CONO COCHA

LIMA

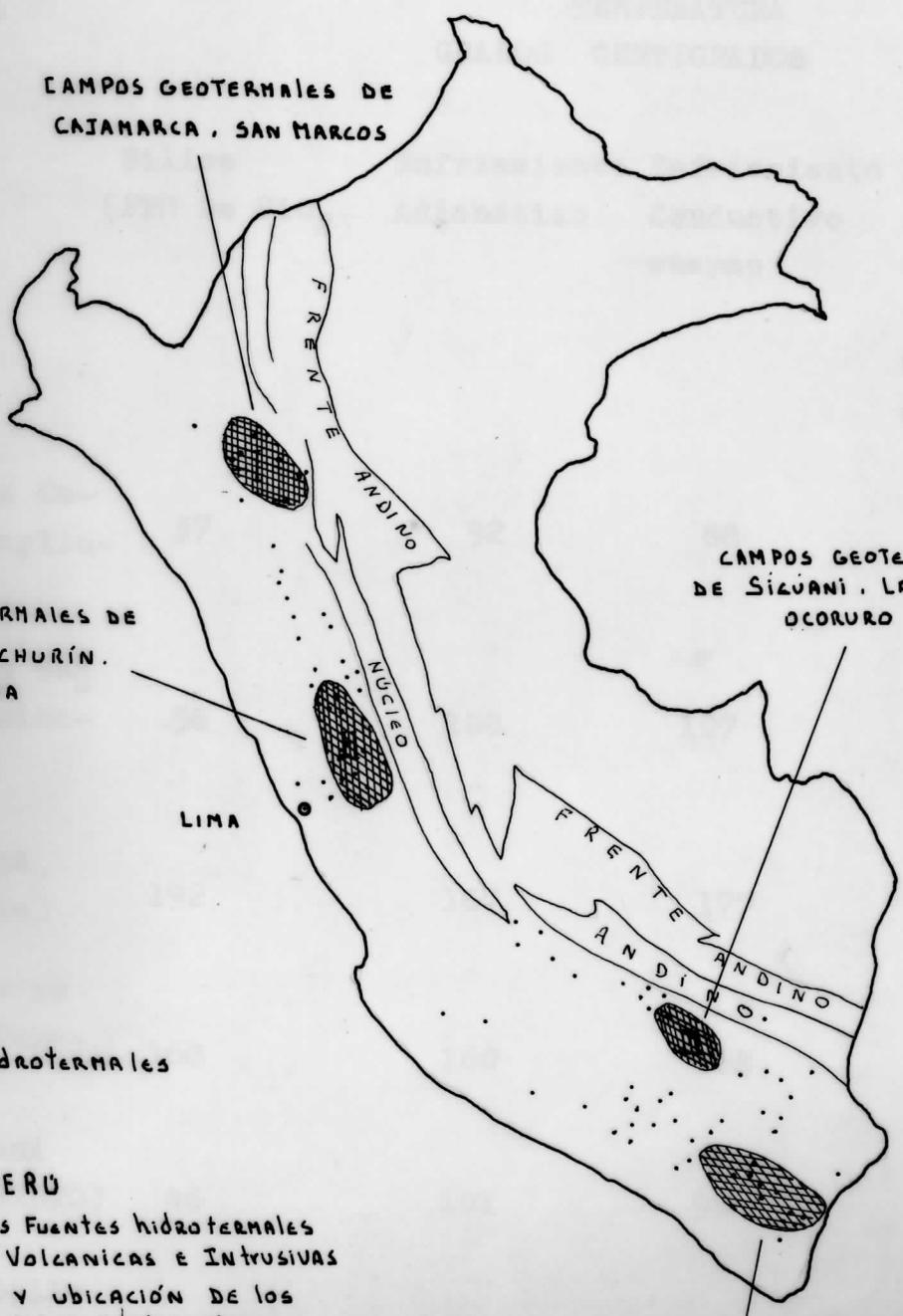
CAMPOS GEOTERMALES  
DE SIVUNI, LA RAYA  
OCORURO

..... Fuentes hidrotermales

PERU

Relación de las Fuentes hidrotermales  
con las Rocas Volcánicas e Intrusivas  
mas modernas y ubicación de los  
Campos (Potenciales) Geotermales:

CAMPOS GEOTERMALES DE  
SALINAS, UBINAS, CALACOA  
EL BARROJO



CALCULO DE GEOTERMOMETROS DE SiO<sub>2</sub> CON BASE EN DATOS DE  
SILICE "REACTIVA" INCLUIDOS EN & ANALISIS DEL REPORTE  
DE AQUATER

|  | <u>MUESTRA</u>                               | TEMPERATURA                          |                            |                                      |                                                         |
|--|----------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|  |                                              | Silice<br>(PPM De SiO <sub>2</sub> ) | Enfriamiento<br>Adiabatico | Enfriamiento<br>Conductivo<br>cuarzo | Enfria-<br>miento<br>Conduc-<br>tivo<br>Calce-<br>donia |
|  | 3 Baños La Ca-<br>lera (Cayllo-<br>ma)       | 37                                   | 92                         | 88                                   | 55                                                      |
|  | 16 Baños de Sen-<br>gata (Parina-<br>cochas) | 56                                   | 108                        | 107                                  | 76                                                      |
|  | 40 Sapiutapa<br>(Chucuito)                   | 192                                  | 167                        | 177                                  | 155                                                     |
|  | 47 Qda. Azufre<br>Grande (Tara-<br>ta)       | 168                                  | 160                        | 168                                  | 145                                                     |
|  | 55 Sayasayani<br>(Mcal. NIETO)               | 46                                   | 101                        | 98                                   | 67                                                      |
|  | 57 Puente Bello<br>(Gral. S. Cerro)          | 176                                  | 162                        | 171                                  | 148                                                     |
|  | 60 Ulicán<br>(Gral. S. Cerro)                | 156                                  | 156                        | 163                                  | 139                                                     |

GEOTERMOMETROS DE SODIO, POTASIO Y CALCIO

| MUESTRA                  | ORIGEN | TEMPERATURA            |           |         |                    |
|--------------------------|--------|------------------------|-----------|---------|--------------------|
|                          |        | Na/K(W&T)              | Na/K(F&T) | Na/k/Ca | GRADOS CENTIGRADOS |
|                          |        | CORRECCION<br>MAGNESIO |           |         |                    |
| 1 P PATILLANA            |        | 220.2                  | 219.6     | 38.2    | 38.2               |
| 2 P PATILLANA            |        | 240.0                  | 241.4     | 201.9   | 201.9              |
| 3 P Baños LA CA-<br>LERA |        | 135.7                  | 128.3     | 182.4   | 182.4              |
| 4 P QDA. MALATA          |        | NA                     | NA        | 52.4    | 52.4               |
| 5 P YANQUE               |        | 154.0                  | 147.8     | 165.9   | 165.9              |
| 6 P SIBAYOC              |        | 63.4                   | 52.7      | 143.8   | 143.8              |
| 7 P Baños UCO            |        | 94.0                   | 84.4      | 153.3   | 153.3              |
| 8 P CONIGMAYO            |        | 87.3                   | 77.4      | 131.9   | 131.9              |
| 9 P MARIPUJIO            |        | 54.8                   | 43.8      | 53.6    | 53.6               |
| 10 P HUANCARAMA          |        | 26.8                   | 15.1      | 53.0    | 53.0               |
| 11 P MAUCA LLACTA        |        | NA                     | NA        | 47.8    | 47.8               |
| 12 P TAURISMA            |        | 156.7                  | 150.7     | 42.8    | 42.8               |
| 13 P LUICHO              |        | 181.1                  | 177.0     | 99.0    | 99.0               |
| 14 P LUCHA               |        | 189.8                  | 186.3     | 178.8   | 178.8              |
| 15 P Viraco              |        | NA                     | NA        | 230.6   | 230.6              |
| 16 P GERONTA             |        | 119.7                  | 111.4     | 168.7   | 168.7              |
| 17 P STA. CLARA          |        | 77.3                   | 67.1      | 126.3   | 126.3              |
| 18 P B. DE SENGATA       |        | 153.0                  | 146.8     | 168.1   | 168.1              |
| 19 P SOCOSANI            |        | 171.6                  | 166.7     | 74.1    | TRB                |
| 20 P SOCOSANI            |        | 187.5                  | 183.9     | 176.9   | TRB                |
| 21 P POZO TIGRILLO       |        | 117.5                  | 109.1     | 143.6   | TRB                |
| 22 P YURA                |        | 212.8                  | 211.5     | 198.2   | TRB                |
| 23 P YURA                |        | 184.4                  | 180.6     | 170.8   | TRB                |
| 24 P JESUS               |        | NA                     | NA        | 291.5   | 291.5              |
| 25 P UCHUPAMPA           |        | 276.6                  | 282.2     | 223.2   | 223.2              |
| 26 P CHAMPI              |        | NA                     | NA        | 389.0   | TRB                |
| 27 P SAN JOSE            |        | 304.9                  | 314.3     | 251.3   | 251.3              |
| 28 P STGO. CHACA         |        | NA                     | NA        | 96.9    | 96.9               |
| 29 P TACUNE              |        | NA                     | NA        | 45.3    | 45.3               |

LA ENERGIA GEOTERMICA EN BENEFICIO DE LA AGRICULTURA.-

El ingeniero Angel Peñaloza opina que la industria minera y los complejos agricolas deberian marcar el despegue de la energia geotermal. En la cordillera, no solo las dificultades por la escacez de agua, sino tambien las "heladas" perjudican los cultivos y originan zonas desérticas. El suelo es frio - comprueba el Ing. Peñaloza, pero si en las zonas altas se regara con agua tibia, extraida justamente de estos pozos el riego constante permitiría mantener una temperatura adecuada para que crezcan bosques. Con los bosques, se entusiasma el Ingeniero, se podría proteger a los futuros cultivos de los vientos helados. Además el vapor que se obtiene es agua pura de la cual se podría conseguir agua potable para el consumo humano.

El Ingeniero menciona el aleccionador caso de Siberia. Considerada como una de las regiones más frías del Mundo, en Siberia sin embargo se ha llegado a construir gracias a centrales de energia geotermal unos 800 campos geotermales que han facilitado la construcción de invernaderos. En total se cuentan con unas 200 Ha. de invernaderos que rinden de 5 a 6 cosechas anuales que alimentan aproximadamente unos 200 habitantes al año.

El Ing. Peñaloza menciona otros propositos que podría cumplir este tipo de energia, si se cumple en nuestro País, como son, ademas de los industriales y agricolas, los turisticos y medicinales ( por el aprovechamiento racional de las aguas ricas en minerales )

CONCLUSIONES

- 1) La energía geotérmica es una fuente de energía de nueva aplicación que puede hallarse en todas las regiones que tienen anomalías térmicas positivas y determinadas condiciones geológicas.
- 2) En el Perú existen numerosas regiones con anomalías geotérmicas positivas que pueden poseer las condiciones geológicas necesarias para la industrialización del vapor endógeno .
- 3) El valor industrial de la energía geotérmica ya no se encuentra en el campo de la especulación o de la experimentación, si no que esta comprobada.  
El costo para el desarrollo de su proyecto es competitivo en cualquier otro tipo de energía, llámese hidroeléctrica, es una de la más económicas fuentes de energía.
- 4) Por alagador que sea el hallazgo de nuevos campos petrolíferos y de yacimientos carboníferos, del ritmo de consumo es elevado, y su duración se calcula en años: son recursos totalmente agotables y no renovables.
- 5) Por lo que se refiere al territorio del Perú y así como de los países andinos se puede adelantar que posee condiciones favorables potencialmente pues dispone de batolitos cretácicos probablemente en proceso de enfriamiento, estructuras paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas de almacenamiento, volcanes de discreta actividad fumarólica, y cobertura impermeables plio-pleistocénicas, así como los manantiales termominerales.
- 6) En caso del país Chile, la corporación de Fomento de Chile se mandara a explotar el campo geotérmico de Tatio, con estudios avanzados y positivos. La similitud geológica entre ambas regiones conforma la posibilidad de ser país con fuente de energía geotérmica



Bibliografía

- 1.- DESARROLLO DEL PROYECTO GEOTERMICO Y AVANCES LOGRADOS EN EL PERU por Luis Vargas Vilchez- INSTITUTO GEOLOGICO MINERO METALURGICO.
- 2.- ENERGIA GEOTERMICA - Almanaque Mundial 1974.
- 3.- Boletin Tecnico-asociación de Geologos del Perú Filial del Noroeste. Vol 1, No 1. Set-1964. Posibilidades de Energía Geotérmica en el Perú.
- 4.- GEOTERMIA - Parodi Isolabella. Anotaciones sobre el Campo Geotermal de Calacoa (Moquegua).