

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

**Evaluación del Potencial Aprovechable de los
Fluidos Geotérmicos y otras Consideraciones de
Importancia.**

TRABAJO DE TESIS
PRESENTADO POR

**Nilda Celina Bolaños Valiente
Carmen Aída Castañeda López
Sandra Elizabeth Marcía Rosales
Laura Izabel Moreira Olmedo**

PARA OPTAR AL TITULO DE

LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA

DICIEMBRE DE 1980

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

CENTRO AMERICA.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

**Evaluación del Potencial Aprovechable de los
Fluidos Geotérmicos y otras Consideraciones de
Importancia.**

TRABAJO DE TESIS

PRESENTADO POR



**Nilda Celina Bolaños Valiente
Carmen Aída Castañeda López
Sandra Elizabeth Marcía Rosales
Laura Izabel Moreira Olmedo**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

LICENCIADA EN QUIMICA Y FARMACIA

DICIEMBRE DE 1980

T-DES
1971
110
11

U.E.S BIBLIOTECA
QUIMICA Y FARMACIA



Inventario: 16102739

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

EVALUACION DEL POTENCIAL APROVECHABLE DE LOS FLUIDOS GEOTERMICOS
Y OTRAS CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIA

TRABAJO DESARROLLADO POR:

NILDA CELINA BOLAÑOS VALIENTE

CARMEN AIDA CASTAÑEDA LOPEZ

SANDRA ELIZABETH MARCIA ROSALES

LAURA ISABEL MOREIRA OLMEDO

ASESOR:

DR. ARMANDO BUKELE KATTAN

MIEMBROS DEL JURADO:

LIC. ELSIE CAÑAS DE ROSALES

LIC. CESAR ALBERTO RUIZ VASQUEZ

ING. MARIO GONZALEZ SUVILLAGA

Realizado en el departamento de Química
(224566)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR EN FUNCIONES: Dr. Napoleón Rodríguez Ruíz

SECRETARIO GENERAL: Lic. Ricardo Ernesto Calderón

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO: Dra. Margarita Monge Rico

VICE-DECANO: Dra. Alba Gloria Cañas

SECRETARIO: Lic. César Alberto Ruíz Vásquez

DEPARTAMENTO DE ANALISIS QUIMICO E INSTRUMENTAL

JEFE DE DEPARTAMENTO: Lic. Consuelo Molina

RECONOCIMIENTO

Nuestros agradecimientos a la Superintendencia de Recursos Geotérmicos de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa - CEL, por la oportunidad brindada para la realización del presente trabajo. De igual manera dejamos constancia de nuestro agradecimiento al personal de los Laboratorios Geoquímico y Geotérmico de CEL, por su valiosa cooperación y, a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo del mismo.

Nilda Celina Bolaños V.

Carmen Aída Castañeda L.

Sandra Elizabeth Marcía R.

Laura Isabel Moreira O.

San Salvador, Diciembre de 1980.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor, Doctor Armando Bukele Kattán, por su dedicado empeño y oportunas sugerencias en la realización del presente trabajo.

Nilda Celina

Carmen Aída

Sandra Elizabeth

Laura Isabel

DEDICATORIA

Con amor, agradecimiento y admiración a mis abnegados
padres:

José Julio Bolaños

Elda Valiente de Bolaños

Así también a mis hermanos y familiares.

Nilda Celina

DEDICATORIA

Con todo mi amor a quienes debo lo que soy:

Mis Queridos Padres

Manuel Antonio Castañeda (Q.E.P.D.)

Sarita López de Castañeda

Carmen Aída

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo con amor y agradecimiento
a mis padres:

Ricardo Aníbal Marcía Aguirre

María Hilda Rosales de Marcía

Con todo mi amor a mi esposo: Fernando Augusto Pereira M.

Con especial cariño:

A mis hermanos: Lucía y Nelson

A mi sobrina: Lucía Francesca

A mi abuelita: María Teresa vda. de Rosales

A mis demás familiares.

Sandra

DEDICATORIA

Con un gran amor y agradecimiento a mis padres:

Raúl A. Moreira

y

Laura Olmedo de Moreira

En especial a mi abuela: Isabel vda. de Moreira

A mi querida hermana: Lorena G. Moreira

Con el amor que se merece a mi esposo: Jorge Alberto
por su apoyo y comprensión

A la mejor parte de mi misma: mi hija Gaby

A mis familiares.

Laura Isabel

I N D I C E

RESUMEN	iii
INTRODUCCION	v
I. ANALISIS SOBRE LOS RECURSOS ENERGETICOS A NIVEL MUNDIAL Y SUS LIMITACIONES. ANALISIS ESPECIFICO DE EL SALVADOR. ENERGIA GEOTERMICA.	
A. GENERALIDADES SOBRE RECURSOS ENERGETICOS MUN- DIALES	1
B. RECURSOS ENERGETICOS DE EL SALVADOR	6
C. GENERALIDADES SOBRE ENERGIA GEOTERMICA	9
D. POTENCIAL GEOTERMICO EN EL SALVADOR	13
E. ASPECTOS RELEVANTES SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO EN AHUACHAPAN	16
1. Historia	16
2. Ubicación y Origen	18
3. Descripción del Funcionamiento de la Planta Geotérmica de Ahuachapán	19
II. ESTUDIO DE LOS FLUIDOS GEOTERMICOS	
A. CARACTERISTICAS DEL AREA	23
B. ELIMINACION DE LOS FLUIDOS	26
C. ANALISIS QUIMICO DE LOS FLUIDOS	30

1. Muestreo	30
a) Zonas de Muestreo	
b) Descripción de las Zonas de Muestreo	
c) Equipo de Muestreo (Material y Reactivos)	
d) Metodología de Muestreo	
2. Metodología de Análisis	35
3. Tabulación de Resultados	58
4. Interpretación y Discusión de los Resultados.	60
D. CALCULO DE LA CANTIDAD DE SALES CONTENIDAS EN EL AGUA RESIDUAL EN UN PERIODO DETERMINADO	67
E. DE LA CONTAMINACION PRODUCIDA Y SUS EFECTOS	69
1. Generalidades	
2. Estado Actual de la Contaminación Producida	
III. USO DE LOS DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y SUS PRINCIPALES DERIVADOS.....	77
IV. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y ALGUNAS CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIA.	
A. PROYECTOS DE UTILIZACION DE LOS SUBPRODUCTOS EN OTROS PAISES.	
1. Proyectos de Extracción de Sales Minerales a partir de los Fluidos Geotérmicos	108
2. Proyectos de Utilización de los Fluidos Geotérmicos en Otros Campos	119

B. POSIBLE UTILIZACION DE LOS SUBPRODUCTOS A NIVEL NACIONAL	127
C. RECUPERACION DE COMPUESTOS QUIMICOS PRESENTES EN LOS FLUIDOS GEOTERMICOS	131
D. ANALISIS DE IMPORTACION DE MATERIAS PRIMAS POR LA INDUSTRIA DE EL SALVADOR	141
E. ANALISIS DE LAS LEYES DE FOMENTO INDUSTRIAL, TERMINOS ECONOMICOS Y RECOMENDACIONES	147
CONCLUSIONES	152
RECOMENDACIONES	156
APENDICES	160
BIBLIOGRAFIA	191

R E S U M E N

Actualmente en el país, no se cuenta con un estudio que comprenda el aprovechamiento de todo el potencial explotable de los fluidos geotérmicos. Los análisis químicos de los fluidos geotérmicos efectuados hasta el momento, han sido realizados con objetivos totalmente diferentes especialmente dirigidos a eliminar los problemas de sedimentación e incrustaciones en los equipos y tuberías; ninguno ha sido realizado con la mentalidad de utilización industrial de los compuestos químicos encontrados. A partir de ésto, consideramos que es necesario y valedero el presente trabajo; y por lo tanto, los resultados y conclusiones que de él se han obtenido.

Inicialmente se hace una introducción al tema desarrollando aspectos generales sobre: recursos energéticos a nivel mundial y en El Salvador principalmente, potencial geotérmico nacional y una descripción de los principales aspectos del Campo Geotérmico Ahuachapán.

Luego, usando los métodos de absorción atómica, colorimétrico y potenciométrico, se determina la concentración de los compuestos disueltos en las aguas geotérmicas residuales, se calcula además, la cantidad de sales que pueden ser extraídas en un período de tiempo.

También, se hace una evaluación de la contaminación producida por la descarga de los fluidos geotérmicos al océano.

Se realiza una recopilación de los diversos usos de los compuestos presentes y de sus derivados más importantes.

Finalmente, tomando en cuenta los proyectos de extracción que han sido desarrollados por diversos países que cuentan con recursos geotérmicos, los cuales se resumen en el trabajo, se hace un estudio de la posible utilización que a nivel nacional podría hacerse de estos compuestos químicos, sugiriéndose además una forma de recuperación de los mismos.

Para completar este trabajo, se hacen las consideraciones necesarias para establecer la importancia e influencia de las Leyes de Fomento Industrial vigentes, sobre el desarrollo de la industria química extractiva en especial y sobre la industria nacional en términos generales.

Tomando en cuenta lo anterior, se hacen todas las recomendaciones que se consideran necesarias para aprovechar al máximo el potencial geotérmico nacional que se pretende explotar en el futuro.

I N T R O D U C C I O N

El Salvador, cuenta con muy pocos recursos para la obtención de energía: importa el 90% de la madera que necesita, carece de combustibles fósiles, no es un país productor de petróleo; por lo tanto, los únicos recursos con los que cuenta para la obtención de energía a escala industrial son: la energía hidráulica - la cual será prácticamente agotada con la puesta en marcha de la Presa Hidroeléctrica San Lorenzo, que comenzará a funcionar en el año de 1982 - y la energía geotérmica de la cual, todavía queda un potencial explotable.

Actualmente nuestro país, cuenta con una planta generadora de electricidad a partir de energía geotermal que es la del Campo Ahuachapán, en donde están siendo descargados diariamente al océano gran cantidad de aguas residuales, con un elevado contenido de sales aprovechables.

Es de todos conocido, la necesidad que tiene la industria, especialmente la química y la farmacéutica de una gran variedad de sales minerales para la elaboración de diversos productos de gran demanda en nuestro país. En el presente la mayoría de estas materias primas, están siendo importadas de otros países.

Por lo que la extracción de los compuestos químicos disueltos de las aguas residuales geotermales, desarrollaría todo un complejo

químico industrial del cual, se obtendrían nuestras propias materias primas, de por sí escasas, lo que traería como consecuencia, generación de empleos, ahorro de divisas, industrialización, desarrollo económico y tecnológico y además, algo muy importante: minimizaría la contaminación causada por la descarga de estas aguas al mar.

Además, debe tenerse en cuenta que la energía geotérmica, no debe ser considerada únicamente para la obtención de energía eléctrica, como se hace actualmente en nuestro país, ya que ha sido comprobado por otras naciones que cuentan con este recursos que las aplicaciones no eléctricas del potencial geotérmico revisten una importancia de igual magnitud que la generación de energía eléctrica; por lo tanto, siendo El Salvador un país en vías de desarrollo y de escasos recursos, no puede darse el lujo de desperdiciar estas fuentes potencialmente explotables.

C A P I T U L O I

ANÁLISIS SOBRE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS A NIVEL MUNDIAL Y SUS LIMITACIONES. ANÁLISIS ESPECÍFICO DE EL SALVADOR.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

A- GENERALIDADES SOBRE RECURSOS ENERGÉTICOS MUNDIALES

Es indudable que enfrentemos un serio problema a nivel mundial: la necesidad de abastecer una demanda creciente de energía. El consumo de energía mundial es enorme, siendo sus fuentes tradicionales: el petróleo, el carbón, el gas natural, la energía atómica, la energía hidroeléctrica y otros combustibles fósiles; y es evidente que si el aumento del consumo energético continúa y no se crean nuevas fuentes, algún día las reservas del planeta, se agotarán.

Es muy conocido para todos nosotros, la carestía energética mundial causada por el alza del petróleo, y ésta a su vez, acompañada por la disminución paulatina de las reservas existentes en el mundo. Por lo tanto, la inquietud universal actual, es depender lo menos posible del petróleo y enfocar los esfuerzos en el aprovechamiento de otros recursos energéticos.

De lo anterior, es imprescindible al hombre el hallazgo de nuevas formas energéticas, puesto que los países industrializados han

comenzado ya a transitar por un callejón que parece sin salida: la necesidad de más energía para sostener su evolución; afortunadamente existen formas de energía inagotables que para todos los fines prácticos, son eternas puesto que durarán tanto como la tierra misma. Se conocen tres de estas fuentes: la energía geotérmica, la energía solar y la fuerza disponible en la fusión termonuclear controlada. Las dos últimas disponen de un potencial virtualmente ilimitado en lo que a satisfacer las necesidades mundiales se refiere, siempre que puedan superarse las inmensas barreras tecnológicas que por ahora bloquean su utilización.

Se conocen también otros recursos naturales para la producción de energía, los cuales han tomado importancia en los últimos años entre ellos: la energía de las olas, energía de los mares, biomasa (combustión directa de desperdicios), utilización del hidrógeno como combustible, separándolo del oxígeno del agua.

Todo esto pone al hombre en la necesidad de utilizar todos los recursos tecnológicos, económicos y políticos necesarios para aprovecharlos, antes que las fuentes energéticas existentes disminuyan peligrosamente.

En América Latina, la llamada crisis energética de 1973, fue una advertencia. La actual, una amenaza que abre angustiosas interrogantes y exige urgentes transformaciones para satisfacer las demandas económico sociales de 350 millones de latinoamericanos.

¿Hasta qué punto América Latina debe continuar dependiendo de manera determinante de una fuente energética no renovable, de existencia limitada y por ende, cada vez más revalorizable?

¿Hasta qué punto nuestras 28 Repúblicas están en condiciones de incrementar su capacidad de oferta energética sobre la base de alternativas que no sean únicamente el petróleo y sus derivados?

Según estadísticas de OLADE (Organización Latino Americana de Energía), la situación del consumo de energía en la región, es sin duda alguna, desequilibrada, ya que para 1977 de un consumo total de 224 millones de toneladas equivalentes de petróleo, los hidrocarburos representaron alrededor del 80% del total, repartiéndose la hidroelectricidad y el carbón mineral, prácticamente los restantes, ya que la energía nuclear y geotérmica son de hecho todavía marginales; de lo anterior, no toma en cuenta el uso de combustibles vegetales que según estimaciones, representan un 25% adicional.^{48/}

Al impulsar un programa regional sobre exploración geotérmica, OLADE ha considerado fundamentalmente el hecho que ya no es posible la tesis de un crecimiento sostenido a base de petróleo, antes barato y hoy todavía escaso o ausente del territorio del 80% de los países Latinoamericanos. Por otro lado, se cree que la gran mayoría de estos países, especialmente los localizados en el Litoral Pacífico, poseen una de las mayores potencialidades geotérmicas del mundo; de allí la importancia regional que OLADE asigna a este re-

curso, lo que aunado a la solicitud de demanda eléctrica en los países importadores de petróleo con excepción de Brasil, hace que el mínimo logro geotérmico de la región, tenga una participación importante con el consecuente ahorro del petróleo.

La situación de los países del Istmo Centroamericano, en lo que se refiere al sector energía, se caracteriza por una creciente dependencia del exterior. En efecto, en 1960 del consumo bruto total de energía primaria (3.8 millones de toneladas de petróleo equivalente), se importaba el 42% y se obtenía localmente el 58% restante (51% de energía no comercial y 7% de hidroenergía); en 1974 en cambio de un consumo de 8.2 millones el 52% se adquirió en el exterior y el 48% se produjo en el área (36% no comercial y 12% de hidroenergía).

El volumen de las importaciones de petróleo crudo y combustible, pasó de 6.3 millones de toneladas en 1970 a 7.2 millones en 1973, creciendo a una tasa de 4.8% anual; en 1974 en cambio, las importaciones descendieron a 6.9 millones de toneladas. A causa de la reciente alza en los precios unitarios de los combustibles, no sólo se redujo el volumen de las importaciones, sino que lo más importante, su valor fue aumentando cada año en varios millones de pesos centroamericanos^{1/}, con el consiguiente deterioro en la balanza de pagos de los países. Los argumentos y cifras anteriores, aconsejan la adopción por parte de los países de una política de

sustitución progresiva y acelerada de las importaciones de petróleo y derivados a base del aprovechamiento de los recursos energéticos de que se dispone en la región. Dentro del futuro previsible, se estima que el desarrollo de fuentes propias de energía, deberá concentrarse en recursos hidroeléctricos y geotérmicos, los cuales podrían desplazar en su casi totalidad a los combustibles importados para la generación de electricidad; junto con el uso racional del recurso leña y utilización de biogas, ambos factores básicos, sobre todo, en el sector de la energía rural.

1/ Un peso centroamericano, equivale a un dólar de los Estados Unidos.

B- RECURSOS ENERGETICOS DE EL SALVADOR

La vida de los salvadoreños, depende en gran parte, de una provisión segura y suficiente de energía. El combustible y la electricidad proveniente del petróleo, gas natural, la energía hidroeléctrica, energía geotérmica y combustibles fósiles, se han hecho cargo cada vez más de nuestras tareas cotidianas.

En 1976, el consumo de energía en el país, fue del orden de 1.5 millones de toneladas de petróleo equivalente, de los cuales 0.6 millones corresponde a energía no comercial (uso de leña y bagazo de caña); 0.2 millones a la generada por medios hidráulicos y geotérmicos y 0.7 millones a otros que incluye básicamente petróleo y sus derivados. El consumo global de energía, creció en los últimos 10 años a una tasa de 5.2% y el consumo anual de energía eléctrica, en 10.5%; con estos datos y haciendo una proyección del consumo de energía, para 1990, tendríamos 1.05 millones de energía hidráulica y geotérmica, 0.9 millones de energía no comercial y 1.15 millones de otros, aquí dando un total de 3.1 millones de toneladas de petróleo equivalente. 50/

En nuestro país, la forma de energía más utilizada es la electricidad, cuya generación se basa principalmente en dos recursos naturales propios (hídrico y geotérmico) y uno importado (petróleo).

Dentro de los hídricos, los recursos principales que drenan

nuestro territorio son: el Río Lempa (Fig. 1), el Paz y el Goascorán.

El primero es el más caudaloso e importante de Centro América, que desemboca en el Océano Pacífico y drena la parte Norte y Central del territorio; con una longitud de 350 Kms. La cuenca hidrológica del Río Lempa, por su condición propiamente nacional, es el recurso hídrico que actualmente está desarrollando el país en la producción energética, cuenta con tres presas hidroeléctricas concluidas (5 de Noviembre, 82 MW; Guajoyo, 15 MW; Cerrón Grande, 135 MW) y una en construcción (San Lorenzo, 180 MW). Tres presas más han sido estudiadas parcialmente (Paso del Oso, Zapotillo, El Tigre) y una evaluación de los extremos del río (alto y bajo), está pendiente de estudio. 16/

El Salvador con recursos hídricos limitados y con reservas petrolíferas, hasta hoy desconocidas, se vé obligado a recurrir al aprovechamiento de sus ricos yacimientos geotérmicos, los cuales están en su fase inicial de explotación. Sólo la planta geotérmica de Ahuachapán, está en operación y constituye una prueba real del proceso tendiente al aprovechamiento de estas fuentes energéticas.

Los otros campos geotérmicos más importantes, están en las etapas de estudio (Santiago de María y San Vicente) y perforaciones profundas (Berlín).

Debido a que estas dos fuentes naturales hídricas y geotérmicas

son finitas, es necesario considerar la investigación y explotación de nuevas fuentes de energía, también llamadas no convencionales (el sol, el viento, las corrientes marinas y la biomasa), que son una esperanza para el futuro, también lo sería el petróleo si se llegara a encontrar dentro de nuestro límite territorial.

La energía solar es quizás nuestro recurso natural más importante, después del hidráulico y el geotérmico, esto se debe a que El Salvador, goza de una cantidad considerable de horas diarias de sol, lo cual hace interesante la transformación de la insolación recibida en otras formas útiles de energía. El aporte del viento a la generación eléctrica en el país, puede que sea pequeño, pues en el trópico los vientos normalmente son de baja velocidad y se hace necesario establecer con precisión las características de los vientos con que cuenta el país, para determinar la energía que podemos obtener del mismo. Nuestro mar territorial ofrece también, la probabilidad de utilizar las corrientes marinas, para la generación de energía; pero esto depende de una tecnología que debe ser desarrollada aún. 18/

Actualmente en El Salvador, la biomasa se está utilizando en forma de combustión directa a partir de leña y bagazo de caña, también la biomasa puede ser convertida en gases o líquidos combustibles (metano, alcoholes metílico y etílico) por medio de fermentación, lo cual todavía no se lleva a cabo con fines de generación eléctrica.

C- GENERALIDADES SOBRE ENERGIA GEOTERMICA

¿Qué es la energía geotérmica?

De manera sencilla, puede definirse la energía geotérmica como una manifestación del calor interno de la tierra.

Este calor es conducido hacia la superficie desde el interior de la tierra a una razón promedio de 150 BTU por milla cuadrada por segundo en su equivalente en unidades eléctricas a razón de 158 KW por milla cuadrada.

El flujo del calor total a la superficie de la tierra en un año, sería aproximadamente igual al valor calorífico de unos 170 billones de barriles de petróleo. Desgraciadamente, no es posible utilizar estas grandes cantidades de calor con fines energéticos, debido a su naturaleza tan dispersa.

Solamente podemos utilizar aquellas zonas de calor concentrado de alta temperatura, proveniente de rocas calientes y las cuales con tienen agua y/o vapor.

Estas concentraciones de calor extraíble, se conocen como depósitos geotermales.

Para explicar el origen de estas rocas subterráneas de altas temperaturas, es necesario hablar un poco sobre Geología.

Las diferentes capas concéntricas de la tierra, varían en composición química. El centro de la tierra, es un núcleo metálico

compuesto mayormente por hierro y níquel y está rodeado por el manto terrestre, el cual contiene principalmente oxígeno y silicio e iones metálicos ricos en magnesio y hierro. El manto terrestre se extiende de unas 1,800 millas hasta el límite superior del núcleo central.

El núcleo y el manto componen el 99.6% de la masa total de nuestro planeta tierra. La única porción de tierra sólida que podemos ver, es su corteza. Mide ésta unas 2 a 8 millas de grosor debajo de los océanos y de 20 a 25 millas bajo los continentes (Fig. 2).

A profundidades de 13 millas o más, la temperatura es tan alta que las rocas pierden su consistencia convirtiéndose moldeables o comienzan a derretirse. Algunas de estas rocas derretidas, conocidas como magma, logran su paso por grietas en la parte superior de la tierra y forman grandes masas de roca intrusiva (conocida como rocas ígneas), a pocas millas de la superficie, debido al enfriamiento del magma.

Podrían además, irrumpir en la superficie de la tierra formando volcanes y flujos de lava.

Los depósitos geotermales con mayores oportunidades de ser utilizados como recurso energético no se encuentran diseminados por el mundo al azar, más bien se hallan concentrados a lo largo de un cinturón de conocida actividad volcánica, caracterizados por la presencia de valles en el fondo de los océanos, formados por depresiones en las placas continentales.

De manifestaciones geotermales, solamente podemos reconocer la existencia de estas zonas de depósitos geotermales a lo largo del lado oeste de las Américas desde Alaska hasta Chile, en el medio este de Turquía, el este de Africa y en la región de actividad volcánica que circunda el Océano Pacífico.

Los requisitos comunes aplicados a los depósitos geotermales con posibilidades de explotación, son los siguientes:

- 1- Una fuente de calor en forma de roca ígnea a poca distancia de la corteza terrestre, posiblemente dentro de unas 5 millas de la superficie, la cual nos permita perforaciones más económicas.
- 2- Un acuífero o formación permeable sobre la fuente de calor, el cual permita que aguas subterráneas, lleguen hasta la roca ígnea y circunden por convección transportando calor a un nivel más alto.
- 3- Una capa de roca impermeable sobre el acuífero, para prevenir la pérdida de fluidos en gran escala a la superficie.

Cumplido esto, existen tres tipos de depósitos geotermales, presentes en el interior de la tierra:

- 1- Vapor seco (vapor sobrecalentado).
- 2- Agua caliente a temperatura bajo el punto de ebullición o aguas a temperaturas intermedias (no lo suficiente para usarse económicamente como fuente de vapor en plantas de

generación convencionales).

- 3- La energía derivada de rocas calientes secas. Debido a la ausencia de formaciones permeables o suministro de aguas en este tipo de depósitos, no se produce en forma espontánea vapor o agua caliente.

Los depósitos de vapor seco (vapor sobrecalentado), son los mejores para ser utilizados en la generación de electricidad, compiten económicamente con las otras fuentes convencionales de producción de energía.

Dos son las categorías básicas de energía geotérmica:

- 1- La de zonas puras, donde el calor está concentrado en reservorios relativamente cerca de la superficie.
- 2- La de calor, que puede hallarse a cualquier profundidad, siempre que se perfora lo suficiente como para alcanzar la concentración deseada.

Las zonas puras, están en regiones volcánicas y cuencas sedimentarias, donde la roca es lo suficientemente porosa, como para que el agua subterránea forme reservas de calor, o sea en forma de vapor o de agua caliente.

Este calor, se puede canalizar y extraer a la superficie, perforando un pozo no muy distinto de los petrolíferos o gasíferos. La diferencia radica en que el calor geotérmico, tiende a reconstituirse alimentando por la hoguera permanente del núcleo terrestre.

Hasta ahora, hay unos 50 países alrededor del mundo, activamente interesados en la explotación geotérmica. Las zonas geotérmicas son usualmente encontradas cerca de montañas geológicamente nuevas. Algunas de estas áreas, forman una cadena que se extiende desde Sur América a través de Centro América, Norte América y alrededor del Pacífico Oeste, la Península Kamchatka, Japón, la Península Indonesia, Sur Africa, y la Europa Sur. Estas áreas son llamadas como "el anillo de fuego". ^{36/} (Fig. 3).

D- POTENCIAL GEOTERMICO DE EL SALVADOR

El Salvador es un país casi en su totalidad de origen volcánico joven; por su posición geográfica pertenece al denominado cinturón de fuego del Océano Pacífico y posee un sin número de manifestaciones geotermales naturales, con todo esto, tomando en cuenta los éxitos obtenidos en otros países, respecto al aprovechamiento económico de la energía geotérmica para la producción de energía eléctrica, se pensó también en esta República en un posible aprovechamiento de estas fuentes de energía. Lo primero a hacer, fue una recopilación de todas las manifestaciones geotermales naturales existentes en el ambiente salvadoreño y un estudio general de las condiciones geológico-tectónicas del país. (Fig. 4).

Las condiciones geológicas dominantes, resultaron ser sumamente

atravesados para la eventual localización de yacimientos económicamente explotables para la producción de energía eléctrica.

La mayoría de las manifestaciones termales, conocidas popularmente por ausoles, muestran temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua y probablemente representan el vapor proveniente de reservorios cercanos a la superficie. Este vapor, arrastra consigo pequeñas cantidades de compuestos químicos que son indicadores de las temperaturas existentes en el sub-suelo. Estas numerosas manifestaciones geotérmicas superficiales que existen en El Salvador, se muestran en la Figura 5 y parecen estar agrupadas a lo largo de 2 líneas casi paralelas. Una línea (A-A₁), está relacionada con la actividad volcánica cuaternaria en el flanco Norte de dicho vulcanismo.

En la zona Norte del país, asociado con formaciones geológicas del Terciario, existe el otro alineamiento de fuentes termales (B-B₁), las cuales parecen estar relacionadas con temperaturas menores que las de la parte central.

En el año 1967 se iniciaron las investigaciones con el fin de localizar y evaluar los recursos geotérmicos existentes, obteniéndose resultados positivos. Se identificaron 18 áreas geotérmicas separadas (de las cuales 9 presentaban alto potencial); se seleccionó el área de Ahuachapán, para desarrollar en ella, perforaciones exploratorias y de la evaluación de la potencialidad, se estableció

la factibilidad de su explotación a escala comercial, por medio de una central de 90 MW de potencia con 3 unidades de 30 MW cada una.

El Gobierno de El Salvador, decidió en 1971 construir la central, la que fue concluída en 1975, habiéndose iniciado en este año, la fase de explotación del vapor subterráneo a raíz de la puesta en marcha de la primera unidad de 30 MW; en la actualidad, funcionan 2 unidades con capacidad de 60 MW; y se está instalando una tercera unidad de 35 MW, la que entrará en operación a mediados de 1981, para alcanzar una capacidad instalada de 95 MW. 15/

El éxito obtenido en Ahuachapán, fijó las bases para nuevas investigaciones, las cuales comenzaron en Marzo de 1976, en la zona oriente del país y cubren una superficie aproximada de 2,500 Km², siendo las principales zonas de manifestaciones geotérmicas reconocidas:

- a) Berlín - Lempa - Obrajuelo.
- b) Chinameca.
- c) San Vicente.

Por la proximidad existente entre ellas, se decidió realizar los estudios en forma integral; iniciándose éstos en el campo geotérmico de Berlín, para continuar la exploración de detalle en los campos geotérmicos de San Vicente y Chinameca. 16/

Los estudios realizados demostraron que Berlín, tiene buenas condiciones de temperatura, presión y proporción agua-vapor suficien

tes para justificar su aprovechamiento para la generación de electricidad. Su desarrollo se llevará a cabo, mediante un programa de perforaciones continuo, con el correspondiente estudio de detalle, lo cual permitirá la instalación de una cuarta unidad geotérmica con una capacidad de 35 a 55 MW, para 1984-1985. 15/

E- ASPECTOS RELEVANTES SOBRE EL CAMPO GEOTERMICO DE AHUACHAPAN

1- Historia

En el año 1953, se empezaron en El Salvador, las investigaciones geotérmicas existentes en el país. La primera perforación exploratoria, se profundizó en 1956 en el campo geotermal Agua Shuca.

Investigaciones preliminares indicaron que los campos geotermales existentes en la región de Ahuachapán, parecen ser los testigos más intensos para una actividad geotérmica en el subsuelo, por lo que se iniciaron y limitaron los estudios correspondientes a esta región.

Esto se confirma ya que existe allí en un área relativamente limitada, un gran número de manifestaciones que abarcan tanto fuentes termales, como agua hirviendo, sopladores de vapor húmedo y seco. Fuera de eso, la región esta caracterizada por una actividad tectónica pronunciada, que continúa todavía como demuestra su actividad sísmica, lo que habla en favor de procesos magmáticos en la

profundidad que pueden favorecer la formación de cuerpos de agua caliente o vapor. Así, en el período comprendido entre 1956 y 1959, fueron perforados once agujeros de investigación con profundidades que van de los 32 a 373 metros, en proximidad de las manifestaciones termales de Agua Shuca (3 pozos), Playón de Ahuachapán (4 pozos) y Playón de Salitre (4 pozos) todos en el Departamento de Ahuachapán. Las perforaciones efectuadas en las 3 áreas mencionadas, tuvieron carácter prospectivo y fue el inicio de los conocimientos endógenos en el país. 21/

Un pozo descubridor AH-1, fue completado en el campo de Ahuachapán en Junio de 1968, dando aproximadamente 8 MW y expeliendo chorros de vapor a 240 grados centígrados, elevándose la masa compacta de las descargas a unos 40 metros de alto. 30/

Después de la terminación de la primera fase en 1968, una misión de evaluación de NU/PNUD recomendó una segunda fase del proyecto para ser concentrada en el área de Ahuachapán, la cual incluiría perforación de 5 pozos de evaluación, ensayo de producción, solución del problema de disposición de aguas geotérmicas usadas, diseño preliminar y estudio de factibilidad de la primera estación de energía de 20-30 MW. El estudio de factibilidad demostró que una planta de energía geotérmica de 30 MW en Ahuachapán, sería competitiva con plantas convencionales de energía térmica. Con base en ésto, la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, decidió en Mayo

de 1971, construir la primera planta de energía de 30 MW, la cual fue puesta en operación a mediados de 1975, seguida de una segunda unidad del mismo tamaño en 1976; una tercera unidad de 35 MW, estará en operación en 1979-1980. 30/

La perforación todavía continúa en el campo de Ahuachapán a fin de explorar su potencial, aumentar la producción de vapor y proporcionar pozos adicionales para inyección de agua de desperdicio.

2- Ubicación y Origen

El campo de Ahuachapán, está localizado en la parte Oeste de El Salvador, a 120 Kms., de la capital por carretera y 18 Kms. al Este del Río Paz.

Las coordenadas geográficas aproximadas son: 13°55' N y 89° 49"0. La parte Sur de la zona, cuenta con cumbres volcánicas que alcanzan alturas de 1,500 hasta 2,000 metros sobre el nivel del mar, mientras que la parte central está representada por llanuras que inclinan suavemente hacia el Norte desde unos 800 metros, hasta unos 400 metros sobre el nivel del mar y pertenecen a una cordillera volcánica cuaternaria (el grupo de Laguna Verde). 22/

La región abarca aproximadamente unos 200 Kms., y entre las principales manifestaciones están las siguientes: Playón de Ahuachapán, Agua Shuca, El Sauce y San José, San Carlos, Cerro Blanco, Cuyanausul, Las Termópilas, Amaya, La Labor, Playón de Salitre y

otras menores como: las de Chipilapa, San Rafael y además, las fuentes de San Lorenzo y las del área del Río Paz. 22/

El origen de las aguas termales en esta área, es de tipo meteórico proveniente de la precipitación atmosférica y que luego se filtra al interior del subsuelo (Fig. 6). La posibilidad de considerar origen magmático o marino, ha sido descartada por no encontrarse evidencias químicas específicas que respalden tales suposiciones.

Una explicación breve del origen de los fluidos geotérmicos, puede darse tomando en cuenta en primer lugar, que bajo la superficie terrestre, existe una enorme cantidad de roca a altas temperaturas, estando algunas de ellas, cerca de su punto de fusión o fundidas.

El agua proveniente de las lluvias (agua meteórica) o el agua subterránea, al entrar en contacto con rocas calientes situadas cerca de la superficie da origen a manifestaciones termales, tales como: fumarolas o geysers.

3- Descripción del Funcionamiento de la Planta Geotérmica de Ahuachapán

Para los fines que se persiguen en este trabajo, se ha considerado únicamente la descripción del proceso de separación del sistema vapor-agua.

Por medio de pozos perforados entre profundidades de 600 a 1,200 metros, se extrae del reservorio el fluido geotérmico que es una mezcla de agua y vapor a temperatura aproximada de 240°C y presión de 8 a 10 Kg/cm².

El agua geotérmica del reservorio, sufre una disminución marcada en la presión a medida que el fluido sube por el pozo. Con la disminución de presión, parte del agua se evapora, obteniendo en la boca del pozo una mezcla de agua y vapor. A la salida del pozo se encuentra un separador ciclónico con una capacidad de 350 ó 550 Ton/h, dependiendo de la producción de cada pozo, en donde por la acción de la fuerza centrífuga, el agua se pega a las paredes del separador, descendiendo luego al fondo de donde sale a temperatura de 152°C, por un tanque nivelador, hacia la canaleta de desecho de aguas residuales, pasando por un silenciador de torres gemelas tipo vertical, los cuales amortiguan el ruido producido por la descarga a la atmósfera, en donde parte del agua se evapora por efecto de una baja considerable de presión, al ponerse en contacto con la atmósfera (efecto flasheo).

Algunos pozos, además de enviar parte del agua a la canaleta, reinyectan el resto al reservorio natural, actuando como una recarga natural del sistema. Esta reinyección, se realizó hasta después de la construcción de la canaleta. De haberse considerado antes el tamaño de la canaleta, sólo por este motivo, hubiérase

reducido drásticamente.

El agua que ha pasado por los silenciadores, debería ser conducida a las piletas de transformación, para permitir el cambio de la sílice disuelta en el agua del estado monomérico al estado polimérico en suspensión y eliminar así sustancialmente, las incrustaciones que puedan ocurrir en la canaleta, lo cual disminuye apreciablemente el volumen útil de la misma. En la actualidad sólo existe una pileta correspondiente al pozo AH-1.

El vapor sale de los separadores con 0.1% de humedad y es conducido a través de tuberías hasta el colector principal de vapor (existe uno de estos por cada unidad generadora instalada); los colectores principales de vapor, también están comunicados a un silenciador de tipo vertical, por donde se mandan al ambiente excedentes en el caudal de vapor, manteniéndose así una presión constante en ellos.

El vapor dentro de los colectores principales, pasa a un segundo separador de humedad, de donde sale con 0.085% de humedad y siempre mezclado con los gases no condensables (96% CO_2 ; 4% SH_2). Este vapor va a la turbina de doble entrada que está acoplada al generador eléctrico. Otra parte del vapor, se utiliza tanto para los sellos de vapor en las chumaceras de la turbina, como para la unidad extractora del gas del condensador.

El vapor saturado que sale de la turbina, pasa al condensador

de contacto directo en donde es condensado totalmente y enviado al "pozo de condensado". La temperatura del agua en el pozo es de 36°C; para enfriarla, un par de bombas centrífugas envían agua hasta una torre de enfriamiento (una para cada unidad generadora instalada) que consta de cinco ventiladores tipo " tiro inducido" y que bajan la temperatura del agua hasta 27°C, para luego ser empleada en el condensador. El excedente es desechado. (Fig. 7).^{15/}

C A P I T U L O I I

ESTUDIO DE LOS FLUIDOS GEOTERMICOS

A- CARACTERISTICAS DEL AREA

El campo geotérmico de Ahuachapán, consta de 24 pozos profundos perforados para fines de producción, exploración y reinyección, de los cuales, 10 son productores, 4 de reinyección y 10 exploratorios con algún tipo de producción algunos de ellos. Dichos pozos están distribuidos en la siguiente forma:

PRIMERA UNIDAD: 6/

POZO	PROFUNDIDAD	TEMP. MAX.	CAUDAL
Ah-1	1,205 mts.	234°C	82 Lt/seg.
Ah-4	640	232	92
Ah-5	952	227	53
Ah-6	591	239	72
Ah-7	950	230	60

SEGUNDA UNIDAD: 6/

POZO	PROFUNDIDAD	TEMP. MAX.
Ah-4	640 mts.	234°C
Ah-8	988	232
Ah-11	943	185
Ah-12	600	135

POZO	PROFUNDIDAD	TEMP. MAX.
Ah-3	802 mts.	235°C
Ah-2	900	232
Ah-13	831	232

El fluido extraído del reservorio geotérmico, es una mezcla vapor-agua en proporciones de 11% hasta 46%, que en condiciones atmosféricas, están constituidas por un 25% de vapor mezclado con gases y 75% de agua altamente mineralizada, conteniendo unos 25 g. de minerales disueltos por litro. El rango de producción es de 102 a 550 Ton/h de mezcla.

En la mezcla vapor-agua, el contenido de gases no condensables asciende a un 0.006% por peso, constituidos básicamente en un 99% por CO₂ y H₂S; el 1% restante, lo integran trazas de hidrógeno, metano y nitrógeno.

La concentración de sales en el agua geotérmica, es homogénea, observándose sólo ligeras variaciones debidas posiblemente a cambios de permeabilidad en el reservorio, cuyos estratos productores están entre los 500 y 850 metros de profundidad y cuyas temperaturas oscilan entre 235 y 245°C.

La composición química de las aguas geotermales, del Campo Ahuachapán, es la siguiente: 16/

T A B L A No. 1CONCENTRACION DE IONES EN LAS AGUAS RESIDUALES

<u>ELEMENTO</u>	<u>ppm</u>
Cl^{-}	11100
HCO_3^{-}	30
SO_4^{2-}	29
Na^{+}	6100
K^{+}	1060
Ca^{2+}	440
Mg^{2+}	0.1
Rb^{+}	7.3
Cs^{+}	3.65
Li^{+}	20.3
Sr^{2+}	3.04
Br^{-}	45.0
I^{-}	8.24
F^{-}	1.6
Fe^{3+}	1.6
Al^{3+}	0.2
As^{3+}	10.20
B^{3+}	170
SiO_2	650

B- ELIMINACION DE LOS FLUIDOS

La eliminación de los líquidos residuales, es el principal problema que se presenta en un desarrollo geotérmico. El agua salina resultante de la separación de la mezcla geotérmica que contiene concentraciones elevadas de boro y arsénico, no puede desecharse a la superficie sin causar problemas ecológicos, sobre todo, en áreas pobladas y de un alto grado de utilización agrícola.

Las alternativas que se deben tener en consideración como solución a la eliminación de fluidos residuales, son las siguientes:

- a) Eliminación a la superficie por medio de cuerpos de agua naturales: ríos y mar.
- b) Eliminación por medio de lagunas de evaporación.
- c) Reinyección al subsuelo.
- d) Procesamiento industrial de los residuos.

Con respecto a la primera alternativa en el caso de ríos, se debe garantizar una dilución del orden del 1 a 100. Esto se debe al contenido de sustancias perjudiciales, sobre todo boro y arsénico.

La descarga de agua geotérmica, cuando los caudales de los ríos son lo suficientemente elevados y no están influenciados por la actividad termal natural, para permitir concentraciones menores que los patrones establecidos, se considera una alternativa aceptable,

aunque probablemente con limitaciones para posible expansión de los sistemas.

Cuando la eliminación es por descarga en el mar, es necesario realizarlo por medio de canales de concreto que conduzcan el afluyente geotérmico desde las instalaciones superficiales hasta el océano, lo que permite minimizar los efectos de contaminación de aguas para fines de irrigación.

En la planta geotérmica de Ahuachapán, los consultores propusieron varias alternativas, escogiéndose como más conveniente la descarga al Río Paz, por medio de una canaleta. Dada la proximidad de la descarga, el costo de la canaleta no resultaba oneroso.

Por problemas posteriores, se supone la marcada oposición de Guatemala al proyecto, tuvo que diseñarse y ejecutarse en varias etapas, la construcción de una canaleta con descarga al Océano Pacífico, con un costo mayor que el costo total de la geotérmica en sí. Dicha canaleta fue diseñada, de sección rectangular, con paredes de concreto y cubierta con losas móviles. A pesar de que el terreno que cruza es marcadamente accidentado, ha sido diseñada y construída para tener las mínimas pendientes posibles. Tiene un recorrido total de aproximadamente 79 Kms. y para su construcción se ha dividido en 3 tramos.

El primero de aproximadamente 29 Kms. de longitud, sigue una dirección Oeste desde la central hasta alcanzar el Río Paz.

El segundo tramo de aproximadamente 30 Kms., corre paralelamente al Rfo Paz sobre su margen izquierdo.

El tercer tramo, desemboca en el Océano después de un recorrido de 21 Kms.

En la segunda alternativa para el buen funcionamiento de este sistema, se considera necesario contar con un alto índice de evaporación y estar en un sistema hidrológico, que no permita infiltraciones de agua salina que pueda contaminar acuíferos subterráneos de aguas normales.

La reinyección consiste en inyectar en gran profundidad en el terreno, por medio de pozos profundos, las aguas geotérmicas residuales. Esta puede efectuarse en el mismo reservorio de donde provienen los fluidos, o en zonas permeables sin relación alguna con él.

Debido a la gran importancia que reviste el desarrollo geotérmico, se decidió efectuar las primeras pruebas a gran escala, las que fueron realizadas en 1970-1971, con la reinyección de casi 2 millones de metros cúbicos de agua a 150°C y caudales de 91 y 164 lt/seg.

La reinyección fue iniciada en Ahuachapán, en Noviembre de 1975, conectando mediante una canaleta el pozo Ah-4, con el pozo Ah-2, introduciendo en éste, el agua por gravedad a cerca de 90°C. La absorción resultó limitada a 50 - 60 lt/seg., es decir el 50%

de la producción del pozo Ah-4. Sucesivamente fue realizada una conexión mediante tuberías para transportar el agua a 160°C, directamente del separador centrífugo al pozo con presión de 6 Kg/cm².

En el año de 1976, la capacidad de reinyección contando con los pozos Ah-2, Ah-8, Ah-17 y Ah-29, aumentó a 358 lt/seg., es decir, un 77% del volumen del agua residual proveniente de las dos unidades generadoras en operación. Los pozos anteriormente mencionados, fueron expresamente perforados con fines de reinyección, ya que se considera que tienen características idóneas para tal objeto, tanto por su ubicación con respecto al campo, como por su permeabilidad.^{14/}

La reinyección en el campo geotérmico de Ahuachapán, se considera por el momento una solución de carácter temporal. La reinyección total de los fluidos geotérmicos, necesita de un estudio exhaustivo sobre el particular y es incluso probable que no sea la solución adecuada. Incluso la reinyección parcial, necesitaba un tiempo de estudio adicional, del cual no se disponía, porque el proyecto geotérmico estaba en su realización, luego, la canaleta como medida inmediata, fue la respuesta, ya que:

- 1- La canaleta permite descargar caudales de hasta 1 m³/seg., sin particulares problemas, salvo aquellos constructivos que son de todos modos superables.
- 2- Por otro lado, la reinyección presenta problemas crecientes al aumentar el caudal y no existen en el mundo casos donde se hayan reinyectado caudales tan elevados.



- 3- La reinyección presenta riesgos y dificultades mayores si se efectúa con agua a 95°C, porque a estas temperaturas más bajas, hay mayores peligros de contaminación térmica de los estratos productivos y sobre todo, de incrustaciones de sílice en tuberías y pozos.
- 4- La reinyección en el área de campo, se juzgó peligrosa a largo plazo, porque la zona productiva es limitada; la reinyección fuera del campo además de aumentar el costo de las obras necesarias, no resultó factible con suficiente grado de probabilidad.

La solución a nuestro modo de ver, es la reinyección parcial (previo estudio de su porcentaje y localización) y el procesamiento industrial de los residuos finales, lo cual representa la alternativa de mayor importancia, ya que constituye un aporte a la independencia económica nacional, debido a la utilización de recursos propios y al mismo tiempo, una explotación integral de los recursos geotérmicos.

C- ANALISIS QUIMICO DE LOS FLUIDOS

1- Muestreo

a) Zonas de Muestreo

Para obtener datos representativos, se tomaron las muestras de

las aguas residuales en tres puntos:

- 1- Agua residual tomada directamente de uno de los pozos del campo geotérmico de Ahuachapán.
- 2- Agua residual tomada al inicio de la canaleta, en la Planta Geotérmica de Ahuachapán.
- 3- Agua residual tomada al final de la canaleta, exactamente antes de ser descargada al océano, como desecho en la Playa de Garita Palmera, Ahuachapán.

b) Descripción de las Zonas de Muestreo

Primera Zona:

Pozo Seleccionado

Ah-6

Características del Pozo:

Fecha de Perforación

Febrero, 1970

Producción

95 Kg/seg.

Profundidad

591 m.

Salinidad

19,850 mgr/lit.

Temperatura máxima del reservorio 232°C

Presión al 15/IV/80

6 Kg/cm²

Esta muestra fue tomada de la pileta adyacente a la torre silenciosa del pozo. El agua que está pasando continuamente por esta pileta tiene una temperatura de 92°C y es el agua residual del pozo

que junto con las aguas residuales de los demás pozos del campo geotérmico, son colectadas en la canaleta.

Este pozo fue seleccionado por varias razones, siendo las principales:

- Fácil acceso.
- Permite que el muestreo sea realizado con comodidad.
- En ese momento se encontraba en actividad y es un pozo productor.
- Es representativo por la salinidad que posee.

Segunda Zona:

Tramo inicial de la canaleta que recolecta el agua residual procedente de todos los pozos, en la Planta Geotérmica de Ahuachapán.

Para poder efectuar el muestreo, fue removida una de las losas de cemento que cubren la canaleta a unos 7 metros aproximadamente, de la calle que conduce al campo geotérmico.

Es una zona fácilmente accesible, en donde se inicia el recorrido de la canaleta que conducirá las aguas residuales que van a ser desechadas al mar.

Tercera Zona:

Tramo final de la canaleta, exactamente a 79 Kms. de su inicio en la Planta Geotérmica de Ahuachapán.

Este tramo final de la canaleta, no está cubierto de losas de cemento como el resto, sino que lo cubre un enrejado de hierro que permite observar el agua residual fácilmente antes de ser desechada en el mar.

La muestra fue tomada exactamente al final, a una temperatura de 48°C, donde la canaleta adopta la forma de una gran pileta, de la cual sale un tubo que se introduce bajo la arena de la playa, atravesándola, terminando directamente mar adentro a unos 200 mts. de distancia, pudiéndose observar desde la playa el burbujeo que produce la descarga de las aguas residuales en el mar.

c) Equipo de Muestreo (Material y Reactivos)

3 Frascos de polietileno de 1,000 ml.

3 Frascos de polietileno de 500 ml.

1 Embudo Buchner.

1 Kitasato de 1,000 ml.

1 Bomba manual de vacío.

1 Termómetro.

1 Cuerda de Nylon.

Papel Whatman No. 42.

Muestreadores:

1 Muestreador con capacidad de 1.2 litros, construido en bronce sólido. Su diámetro lineal es de 3/16". Marca Ward's, USA.

1 Muestreador con capacidad de 4.2 litros, construido en plástico. Marca Ward's, USA.

Funcionamiento del Muestreador

Cuando el muestreador es introducido al agua, la tapa de la parte inferior, se abre y por ella se introduce el agua; luego de tener la cantidad de muestra deseada, se deja caer el mensajero (una pesa), que hace que la tapadera de la parte inferior se cierre. Al retirarse el muestreador del agua; la muestra obtenida es extraída del muestreador por medio de una válvula que posee en la tapadera inferior.

Reactivos:

Acido Clorhídrico concentrado, HCl

d) Metodología de Muestreo

Para tomar la muestra en el pozo y al inicio de la canaleta, se utilizó el muestreador metálico de 1.2 lt. por las altas temperaturas de las aguas residuales y la poca profundidad de estos lugares.

Al final de la canaleta, en Garita Palmera se usó el muestreador plástico de 4.2 litros, debido a bajas temperaturas y mayor profundidad en la pileta. El muestreo se realizó en la siguiente manera:

- 1- Se introduce el muestreador en la zona de muestreo para lavarlo.
- 2- Después de lavado el muestreador, es introducido nuevamente para tomar la muestra a ser utilizada.
- 3- En el muestreador lleno se introduce un termómetro, para tomar la temperatura de la muestra.
- 4- Se agrega una pequeña cantidad del agua muestreada a los frascos de polietileno para lavarlos.
- 5- Una vez lavados los frascos, se deposita la muestra en ellos, filtrándola al vacío utilizando una bomba manual, kitasato, embudo buchner y papel whatman No. 42. Se toman 500 ml. para análisis de sílice y 1,000 ml. para análisis total.
- 6- Se tapan los frascos y se rotulan con la zona de muestreo, fecha y tipo de análisis (análisis total o sílice).
- 7- Para la muestra de 500 ml., que se utilizará para análisis de sílice, luego de ser filtrada, se le agregan 3 gotas de ácido clorhídrico concentrado, con el objeto de evitar que la sílice se precipite cuando disminuya la temperatura del agua.

2- Metodología de Análisis

Determinación de metales por espectrofotometría de absorción atómica.

Referencia: ASTM (American Society for Testing and Materials).^{2/}

Principio del Método:

Este método, se basa en el hecho de que los elementos metálicos en estado natural, absorben luz de la misma longitud de onda que ellos emiten cuando son excitados. Cuando la radiación de un elemento excitado es pasada a través de la llama conteniendo átomos en estado natural del elemento, la intensidad de la radiación transmitida, disminuirá en proporción a la cantidad del elemento en llama. Una lámpara cuyo cátodo es hecho del elemento a ser determinado, proporciona la radiación. Los átomos del metal a ser investigado, son colocados en el radio de la radiación aspirando la muestra a una llama combustible oxidante. Un monocromador aísla la radiación característica de la lámpara y un dispositivo fotosensitivo mide la radiación transmitida.

En este método, se parte de una solución patrón del mineral a ser analizado y se preparan una serie de estándares de diferentes concentraciones.

La muestra a veces requiere de un tratamiento con algún reactivo para evitar las interferencias y luego de una dilución; o sólo necesita de una dilución y aún a veces es aspirada directamente sin ningún tratamiento previo; ésto es de acuerdo al metal que va a ser analizado y a la concentración en que se encuentre en la muestra.

Después de aspirada la muestra y los estándares, la absorbancia de estos últimos, es utilizada para elaborar la curva de calibración, por medio de la cual, se conoce la concentración de la muestra.

Los metales que fueron analizados por este método son:

Calcio

Cesio

Estroncio

Litio

Magnesio

Potasio

Rubidio

Silicio

Sodio

Determinación de Sodio:

- 1- Método: Espectrofotometría de absorción atómica. (ASTM)^{2/}
- 2- Interferencias: No hay.
- 3- Aparatos: Espectrofotómetro de absorción atómica,
Perkin-Elmer 305 B.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda	589 nm (295)
Rango	Visible

Condiciones de Operación: (Continuación)

Slit	4
Corriente Lámpara	10 m.a.
Damping	2
Mechero	Estándar
Tipo de Llama	Aire-Acetileno
Presión de Aire	30 psi
Flujo de Aire	8.5
Presión de Acetileno	8 psi
Flujo de Acetileno	8
Posición del Quemador a un rango mayor de 1 ppm	Rotado 90°

4- Reactivos4.1 Solución Estándar de Sodio:

1:1,000 ppm de Na. Disolver 2.542 g. de cloruro de sodio, previamente desecado, en un litro de agua desionizada.

5- Procedimiento

- 5.1 Preparar 5 soluciones estándares, partiendo de la solución patrón de sodio de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm.
- 5.2 Tomar 1 ml. de las muestras y llevar a 200 ml. con agua.
- 5.3 Se aspiran muestras y estándares.
- 5.4 Leer la absorbancia de estándares y muestras.

6- Cálculo

Se calcula la concentración de sodio en las muestras, por medio de la curva de calibración de los estándares.

Determinación de Potasio:

- 1- Método: Espectrofotometría de absorción atómica. (ASTM)^{2/}
- 2- Interferencias: El sodio interfiere en la determinación de Potasio por este método, dando valores más altos. Por esta razón, una cantidad equivalente de sodio deberá estar presente en las muestras y los estándares para obtener los resultados exactos.
- 3- Aparatos: Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin-Elmer 305 B.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda	766.5 nm (383)
Rango	Visible (usar filtro)
Slit	5
Corriente de Lámpara	10 m.a.
Damping	2
Mechero	Estándar
Tipo de Llama	Aire-Acetileno
Presión de Aire	30 psi

Condiciones de Operación: (Continuación)

Flujo de Aire	7
Presión de Acetileno	7 psi
Posición del Quemador a un rango mayor de 2 ppm	Rotado
Flujo de Acetileno	7

4- Reactivos

- 4.1 Solución estándar de potasio 1 : 1,000 ppm de K. Disolver 1.907 g. de cloruro de potasio (KCl) en un litro de agua desionizada.
- 4.2 Solución de sodio 50,000 ppm. Disolver 127.10 g. de cloruro de sodio (NaCl) en un litro de agua desionizada.

5- Procedimiento

- 5.1 Preparar 3 estándares, partiendo de la solución patrón de potasio de concentraciones de 5, 10 y 15 ppm.
- 5.2 Se toma 1 ml. de las muestras y se lleva a 100 ml. con agua destilada.
- 5.3 Agregar a los estándares la solución de sodio.
- 5.4 Con los estándares, se calibra para leer directamente la concentración.
- 5.5 Se aspiran las muestras y se lee directamente la concentración.

6- Cálculo

La concentración obtenida, se multiplica por el factor de dilución para obtener la concentración de potasio.

Determinación de Arsénico

1- Método: Espectrofotometría de absorción atómica. (ATOMIC ABSORPTION NEWS LETTER). 66/

2- Principio del Método:

El arsénico se determina reduciéndolo a arsina de borohidruro de sodio (NaBH_4) y aspirando la arsina en una llama de nitrógeno - hidrógeno.

3- Interferencias: No hay.

4- Aparatos:

4.1 Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin-Elmer, modelo 305 B, equipado con un corrector de fondo.

4.2 Sistema generador de arsina, conectado con el espectrofotómetro de absorción atómica, como muestra la Fig. 8, se desconecta el tubo de entrada del oxidante auxiliar de la cámara del quemador y se conecta al tubo marcado ENTRADA en el sistema generador. Luego, se conecta el tubo marcado SALIDA a la pieza de unión del tubo del oxidante auxiliar de la cámara del quemador.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda	194 nm
Rango	U.V.
Slit	4
Corriente de Lámpara	8 watts
Damping	2
Tipo de Llama	Nitrógeno-Hidrógeno
Presión de Nitrógeno	28 psi
Flujo de Nitrógeno	8
Presión de Hidrógeno	8 psi
Flujo de Hidrógeno	4.5
Posición del Quemador	Paralelo

5- Reactivos

- 5.1 Solución estándar de arsénico 1,000 ppm As. Disolver 1.320 g. de óxido de arsénico As_2O_3 en 25 ml. de solución de hidróxido de potasio 20% (P/V). Neutralizar con solución de ácido sulfúrico 20% (V/V) usando fenolftaleína como indicador. Diluir a un litro con solución de ácido sulfúrico 1% (V/V).
- 5.2 Solución de tiocianato de potasio 5%.
- 5.3 Acido clorhídrico concentrado.
- 5.4 Borohidruro de sodio en bolitas.

6- Procedimiento

- 6.1 Para la muestra del pozo se toman 2 ml. de ella y se diluyen en 100 ml. de agua desionizada; y para la muestra de Garita Palmera, se toman 2 ml. y se diluyen en 200 ml. de agua.
- 6.2 Se pipetea luego, una alícuota de 25 ml. de c/u de las muestras a dos frascos erlenmeyers de 125 ml., se les agrega 1 ml. de solución de tiocianato de potasio y ácido clorhídrico suficiente para obtener una solución final aproximadamente 3 N.
- 6.3 Conectar el erlenmeyers al sistema generador de arsina.
- 6.4 Abrir la llave de cuatro vías (90° de rotación) por 15 segundos, para expulsar el aire del sistema con el nitrógeno. Cerrar la llave.
- 6.5 Agregar a la muestra una bolita de borohidruro de sodio por medio de la columna dosificadora y dejar reaccionar por 30 segundos.
- 6.6 Abrir nuevamente la llave de cuatro vías y dejar que el balón de colección se desinflen, dejando salir el gas al quemador.
- 6.7 Leer la absorbancia en un registrador.
- 6.8 Igualmente se trata el blanco y los estándares, los cuales se correrán cada cinco muestras.

7- Cálculo

Se calcula la concentración de las muestras, por medio de la curva de calibración preparada con los estándares.

Determinación de Calcio

- 1- Método: Absorción atómica. (ASTM) ^{2/}
- 2- Interferencias: Las interferencias de silicio, aluminio y fosfatos, se eliminan agregando lantano de 0.1-1%.
- 3- Aparatos:
 - 3.1 Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin-Elmer, modelo 305 B.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda	211 nm
Corriente de Lámpara	10 m.a.
Slit	5
Damping	2
Mechero	Estándar
Rango	Visible
Tipo de Llama	Aire-Acetileno (oxidante-azul)
Presión de Aire	75-40 psi
Flujo de Aire	8.0
Presión de Acetileno	12-8 psi

Condiciones de Operación: (Continuación)

Flujo de Acetileno	7.0
Oxidante	Aire
Posición del Quemador :	
Rango de 0 a 7 ppm Ca	Paralelo
Rango mayor de 7 ppm Ca	Paralelo

4- Reactivos

- 4.1 Solución patrón de calcio 1,000 ppm Ca. Pesar 2.497 g. de carbonato de calcio (CaCO_3) estándar primario, agregar 50 ml. de agua desionizada, agregar gota a gota un volumen mínimo de ácido clorhídrico, aproximadamente 10 ml., para efectuar la completa solución del carbonato. Diluir a un litro con agua desionizada.
- 4.2 Solución de lantano 10%. Humedecer 58.65 g. de óxido de lantano La_2O_3 con agua. Agregar lentamente 250 ml. de ácido clorhídrico (grav. esp. 1.19) a la mezcla, diluir a 500 ml. con agua desionizada.

5- Procedimiento

- 5.1 Preparar tres soluciones estándares, partiendo de la solución patrón de calcio, de 30, 20, 10 ppm de Ca.
- 5.2 La muestra se diluye 4:100, realizándose por duplicado.
- 5.3 Agregar a la muestra y estándares, 1 ml. de la solución de lantano. (Se agrega 1 ml. de solución de lantano por

cada 100 ml.).

5.4 Aspirar cada estándar y las muestras. Cada 3 a 5 muestras calibrar de nuevo con los estándares.

5.5 Si se lee absorbancia, preparar una curva de calibración graficando la absorbancia de los estándares contra su concentración.

6- Cálculo

Calcular la concentración de calcio en ppm de cada una de las muestras, por medio de la curva de calibración preparada con los estándares. La concentración encontrada en la gráfica, se multiplica por el factor de dilución de la muestra.

Determinación de Magnesio

1- Método: Absorción atómica. (ASTM) ^{2/}

2- Interferencias: Sílice, aluminio y fosfatos, interfieren en la determinación de magnesio por este método, se elimina, agregando lantano.

3- Aparatos:

Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin-Elmer, modelo 305 B.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda

283 nm

Rango

Ultra violeta

Condiciones de Operación: (Continuación)

Slit	5
Corriente de Lámpara	10 m.a.
Damping	2
Mechero	Estándar
Tipo de Llama	Aire-Acetileno (oxidante-azul)
Presión de Aire	75-40 psi
Presión de Acetileno	12-8 psi
Flujo Combustible	6.0
Flujo Oxidante	6.5
Oxidante	Aire
Posición del Quemador:	
Rango de 0 a 0.5 ppm de Mg	Paralelo
Rango mayor 0.5 ppm	Rotado

4- Reactivo

- 4.1 Solución patrón de magnesio, 1,000 ppm Mg. Disolver 100 g. de cintas de magnesio en un volumen mínimo de ácido clorhídrico (1 + 1). Diluir a un litro con solución de HCl 1% (V/V).
- 4.2 Solución de lantano 10%. Disolver 58.65 g. de óxido de lantano, La_2O_3 , en 250 ml. de ácido clorhídrico concentrado. Agregar el ácido lentamente hasta que el material está disuelto y diluir a 50 cc con agua desionizada.

5- Procedimiento

- 5.1 Se preparan 3 soluciones estándares, a partir de la solución stock de 1,000 ppm de Mg., de 0.4, 0.3 y 0.2 ppm de Mg.
- 5.2 Se toman 10 ml. de la muestra, se realiza por duplicado.
- 5.3 A los estándares y la muestra, se les agrega 0.1 ml. de solución de lantano (Se agrega 1 ml. de solución de lantano por cada 100 ml.).
- 5.4 Aspirar cada uno de los estándares y muestras, leer absorbancia, cada 3 ó 5 muestras, calibrar nuevamente con los estándares.
- 5.5 Con las absorbancias de los estándares, preparar una gráfica, graficando absorbancia contra concentración.

6- Cálculo

Se calcula la concentración de magnesio, en ppm a cada una de las muestras, por medio de la curva de calibración preparada con los estándares.

La concentración encontrada en la gráfica, se multiplica por el factor de dilución de la muestra.

Determinación de Boro

- 1- Método: Colorimétrico (ASTM) ^{2/}
- 2- Principio del Método: Se basa que en presencia de boro, una solución de carmín o de ácido carmínico en ácido sulfúrico

concentrado, cambia de rojo brillante a rojo azulado o azul, dependiendo de la concentración de boro disuelto. Este método cubre la determinación de boro disuelto en cualquier tipo de agua, cuya concentración varía de 0.1 a 10 mg/Lt. Si la muestra contiene menos de 0.1 mg/Lt., debe ser concentrada en solución fuertemente alcalina para evitar la pérdida de ácido bórico volátil.

3- Interferencias: No hay.

4- Aparatos:

4.1 Espectrofotómetro digital Bausch and Lomb.

4.2 Centrífuga.

5- Reactivos:

5.1 Solución estándar concentrada de boro de 1,000 ppm de boro. Se prepara disolviendo 5.719 g. de ácido bórico, secado previamente durante 24 horas en una desecador con gel de sílice y diluir a un litro con agua destilada.

5.2 Acido clorhídrico concentrado, gravedad específica: 1.19.

5.3 Acido clorhídrico diluido (1:20).

5.4 Acido sulfúrico concentrado, gravedad específica: 1.84.

5.5 Reactivo de carmín. Disolver 0.920 g. de carmín N.F. en un litro de ácido sulfúrico concentrado.

5.6 Solución de hidróxido de sodio 2%.

6- Procedimiento:

6.1 De la solución estándar concentrada de boro, preparar

estándares de 1, 3, 5 y 10 ppm de boro.

- 6.2 Diluir 4 ml. de la muestra en 100 ml. de agua.
- 6.3 Pipetear 2 ml. de la muestra diluida en un erlenmeyers de 50 ml.
- 6.4 Agregar 2 gotas de ácido clorhídrico concentrado.
- 6.5 Agregar 10 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Mezclar y dejar enfriar a la temperatura del cuarto.
- 6.6 Adicionar 10 ml. de reactivo de carmín, mezclar y dejar reposar 45 minutos.
- 6.7 Tratar el blanco y los estándares exactamente por el mismo procedimiento.
- 6.8 Leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 585 nm.
- 6.9 Preparar una curva de calibración para determinar la concentración de las muestras.

7- Cálculos:

Se calcula la concentración de las muestras, por medio de la curva de calibración preparada con los estándares.

Determinación de Sulfatos

- 1- Método: Colorimétrico (Methods of Collection and Analysis of Geothermal Fluids).^{29/}
- 2- Principio del Método:
Los sulfatos presentes en el agua, reaccionan con el cromato de

bario formando sulfato de bario insoluble y liberando iones de cromato. El cromato se determina fotométricamente. Este método se aplica a muestras de agua con contenidos de 10 a 250 ppm de sulfatos. Aguas con contenidos más altos deben diluirse.

3- Interferencias: Los sulfuros, carbonatos y bicarbonatos, interfieren seriamente.

4- Aparatos:

4.1 Espectrofotómetro digital Baush and Lomb.

4.2 Baño de María.

4.3 Centrífuga.

5- Reactivos:

5.1 Suspensión de cromato de bario. Diluir 10 ml. de HCl 1N más 3 ml. de ácido acético glacial a 100 ml., agregar 2.5 g. de cromato de bario purificado.

5.2 Solución de amonio más calcio. Disolver 0.25 g. de carbonato de calcio en una mínima cantidad de ácido clorhídrico, hervir para expeler el anhídrido carbónico. Agregar 45 ml. de solución de amoníaco (grav. específica 0.91) y diluir a 100 ml. con agua destilada.

5.3 Alcohol etílico 95%.

5.4 Bromofenol azul. Disolver 0.05 g. en alcohol etílico al 20% (V/V).

5.5 Solución estándar de sulfato 1,000 ppm SO_4^{2-} . Secar sul-

fato de potasio por una hora a 250-300°C. Pesar 1.816 g. y diluir a un litro con agua destilada.

6- Estandarización:

- 6.1 Preparar estándares con 10, 30, 50, 80, 100, 125 ppm de SO_4^{2-} .
- 6.2 Poner 5 ml. de alícuota en un frasco cónico de 75 ml.
- 6.3 Agregar una gota de bromofenol azul.
- 6.4 Agregar 2 ml. de suspensión de cromato de bario, agitar y dejar reposar por 5 minutos.
- 6.5 Agregar 0.5 ml. de solución de amonio más calcio.
- 6.6 Agitar y agregar 5 ml. de alcohol a 95%. Colocarlo en baño a ebullición por 3 minutos.
- 6.7 Enfriar.
- 6.8 Centrifugar y determinar la absorbancia a 400 nm.
- 6.9 Graficar absorbancia contra ppm de SO_4^{2-} .

7- Procedimiento:

- 7.1 Pipetar 5 ml. de muestra y estándares en un frasco cónico de 75 ml.
- 7.2 Agregar una gota de bromofenol azul.
- 7.3 Ajustar el pH de las muestras como sigue:
 - a) Muestras alcalinas, acidificar con HCl 0.1 N a pH 3, agitar para remover el exceso de CO_2 , neutralizar con NaOH hasta que el color del indicador cambie de amarillo a violeta.

b) Muestras ácidas: neutralizar con NaOH 0.1 N, hasta que el color del indicador cambie a violeta.

7.4 Agregar 2 ml. de suspensión de cromato de bario y proceder como en la estandarización.

7.5 Encontrar el contenido de SO_4^{2-} en las muestras, mediante la curva de calibración, usando blanco como referencia.

8- Cálculo:

Por medio de la curva de calibración, de los estándares, encontrar la concentración de las muestras y multiplicar por el factor de dilución de la muestra.

Determinación de Cloruros

1- Método: Potenciométrico (Methods of Collection and Analysis of Geothermal Fluids).^{29/}

2- Principio del Método:

Los cloruros se titulan con nitrato de plata en presencia de cloruro de potasio que actúa como electrolito. Esta titulación, es controlada por un electrodo de plata-cloruro de plata y un electrodo de referencia para determinar el punto final. Este método, es aplicable a muestras de agua con un contenido mayor de 10 ppm.

3- Interferencias: Bromuros, yoduros y sulfuros.

4- Aparatos:

4.1 Potenciómetro con electrodo de plata-cloruro de plata y

electrodo de referencia de sulfato mercurioso (Calomel).

Tipo: PHM26

AutoBurette Tipo ABU 11

4.2 Agitador magnético radiometer Copenhagen.

Type M 11

Volts 115

Cycles 50

Amps. 0.3

5- Reactivos:

5.1 Solución estándar de nitrato de plata 0.1 N, 0.01 N.

5.2 Solución estándar de cloruro de sodio 0.1 N. Pesar 5.844 g. de cloruro de sodio secado a 105°C y diluir a un litro.

5.3 Solución de nitrato de potasio. Disolver 26.4 g. de nitrato de potasio y llevar a 100 ml. con agua destilada.

5.4 Suspensión de cloruro de plata. Mezclar igual volumen de cloruro de sodio 0.1 N y nitrato de plata 0.1 N, lavar el precipitado por 10 días con agua destilada, reemplazando el agua cada día.

6- Estandarización:

6.1 Tomar 25 ml. de la suspensión de cloruro de plata, conteniendo de 5 - 15 mg. de cloruro de plata.

6.2 Agregar 1 ml. de la solución de nitrato de potasio.

6.3 Sumergir los electrodos y agitar.

- 6.4 Anotar la lectura en mV.
- 6.5 Repetir varias veces hasta que la lectura sea reproducible.
- 6.6 Estandarizar el nitrato de plata titulando alícuotas de 25 ml. de solución estándar de cloruro de sodio al punto de equivalencia que se ha determinado anteriormente.

7- Procedimiento:

- 7.1 Diluir 10 ml. de la muestra en 100 ml. de agua.
- 7.2 Pipetear 5 ml. de la muestra diluída y agregarle 25 ml. de agua.
- 7.3 Agregar 1 ml. de solución de nitrato de potasio.
- 7.4 Sumergir los electrodos y titular con solución de nitrato de plata, hasta el punto de equivalencia obtenido en la estandarización.
- 7.5 Deberá llevarse un blanco utilizando agua destilada.

8- Cálculos:

$$\text{ppm cloruros} = \frac{\text{ml. de nitrato de plata gastados} \times N \times 35.46 \times 1,000}{\text{ml. de muestra}}$$

Determinación de Sílice

- 1- Método: Espectrofotometría de absorción atómica. (ASTM)^{2/}
- 2- Interferencias: Ninguno de los compuestos que se encuentran normalmente en las aguas naturales, interfieren en la determinación de sílice por este método.

3- Aparatos:

Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin-Elmer, modelo 305 B.

Condiciones de Operación:

Longitud de Onda	252 nm
Rango	U.V.
Slit	4
Corriente de Lámpara	40 m.a.
Damping	2
Mechero	Oxido nitroso
Tipo de Llama	Oxido nitroso-Acetileno (Reductora-Roja)
Presión de Oxido Nitroso	30 psi
Flujo de Oxido Nitroso	3.9
Presión de Acetileno	8 psi
Posición del Quemador	Paralelo
Flujo de Acetileno hasta 50 ppm de Si	3.9

4- Reactivos:

Solución concentrada de silicio, 1,000 ppm de Si. Disolver 5.056 g. de metasilicato de sodio ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) en aproximadamente 300 ml. de agua desionizada; agregar suficiente ácido clorhídrico para llevar el pH a aproximadamente 5 y diluir a 500 ml. con agua

desionizada. Guardar en frasco de polietileno.

5- Procedimiento:

- 5.1 Preparar 3 soluciones estándares a partir de la solución patrón de 20, 30 y 50 ppm de sílice.
- 5.2 Tomar 10 ml. de muestra y llevarla a 100 ml. con agua destilada.
- 5.3 Aspirar muestras y estándares. Con los estándares, calibrar para leer directamente concentración.

6- Cálculos:

Se calcula la concentración de sílice (SiO_2), en ppm, multiplicando la lectura de concentración por 2.14 por el factor de dilución.

T A B L A No. 2

3- TABULACION DE RESULTADOS EN ppm

Lugar	As ³⁺	B ³⁺	Mg ²⁺	*HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	SiO ₂	SO ₄ ²⁻
Pozo Ah-6	7	148.25	0.13	22.36	500	11232	990	6400	477.22	42.3
Canaleta	-	130.00	0.152	22.63	481.25	10188	905	5900	444.5	43.6
Garita Palmera	10.5	145.00	0.15	-	437.5	10885	980	6300	482.57	48.0

* Estos datos fueron obtenidos de análisis realizados por CEL, el 5 de Marzo de 1980. Estos análisis fueron imposibles de realizar, por no ser parte de la programación correspondiente al presente año en el Laboratorio Geoquímico de CEL.

Continuación Tabla No. 2: TABULACION DE RESULTADOS EN ppm

*Li ⁺	*Cs ⁺	*Rb ⁺	*F ⁻	*I ⁻	*Br ⁻	pH	Ta/°C
20.1	3.40	6.23	1.76	8.03	48.61	7	92
-	-	-	-	-	-	6.85	60
-	-	-	-	-	-	7.02	48

* Estos datos fueron obtenidos de análisis realizados por CEL, el 5 de Marzo de 1980. Estos análisis fueron imposibles de realizar por no ser parte de la programación correspondiente al presente año, en el Laboratorio Geoquímico de CEL.

4- INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Aunque se realizaron análisis en aguas de tres puntos diferentes, los resultados que para los fines de este trabajo presentan una mayor importancia, son los obtenidos al final de la canaleta (Garita Palmera), por ser éstas las concentraciones que entran al océano.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis realizados (Tabla No. 2), se puede observar que los elementos en mayor proporción son: potasio, sodio, calcio, sílice y en mayor abundancia los cloruros; por lo que se asume que sus sales son dignas de tomarse en cuenta para fines industriales.

El valor del pH se mantiene casi constante en las tres muestras analizadas, cercano a un valor neutro, ya que los elementos se encuentran en forma de sales disueltos en el agua.

Son notables también, los cambios de temperatura en forma descendente a medida que se va acercando al final de la canaleta; así: la temperatura en pozo Ah-6, fue de 92°C, en la canaleta (Ahuachapán), de 70°C y en Garita Palmera, de 48°C. Estos cambios de temperatura influyen en el aspecto del agua; en el pozo que es donde la temperatura alcanza el mayor valor, el aspecto del agua es cristalino; en cambio en Garita Palmera, en donde la temperatura ha disminuído, el agua presenta un aspecto lechoso, debido a lo cual, se le denomina "agua zarca", ésto se debe a que muchas de las sales que en ella se forman, a medida que disminuye la temperatura, tienden a precipitar.

Entre los elementos restantes (f^- , Br^- , I^-), el que se encuentra en mayor proporción es el Bromo; aunque de estos elementos únicamente se obtuvieron los datos correspondientes al pozo Ah-6.

En la Tabla No. 2, se puede observar que las concentraciones de Rubidio y Cesio, son bastante pequeñas, aunque mayores que las de Fluor y Magnesio.

La cantidad de magnesio encontrada en estas aguas, es tan pequeña que confirma su origen meteórico, ya que el agua de mar (Tabla No. 4), se caracteriza por encontrarse este elemento en grandes cantidades.

Según normas de calidad dadas por la OMS (Tabla No. 3), estas aguas no son aptas para la bebida humana y animal, porque sus contenidos químicos son extremadamente elevados. Siendo necesario efectuarles tratamiento de eliminación de sólidos para convertirlas en potables. Sus calidades bacteriológicas son excelentes como una consecuencia de las temperaturas que poseen.

Estas aguas de igual manera, no son aptas desde ningún punto de vista, para el riego, por su elevado contenido de sodio, boro, cloruros y arsénico.

De acuerdo con los datos obtenidos por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, estas aguas poseen niveles extremadamente peligrosos de salinidad, sodio, boro. Por lo que es necesario reducir al mínimo el contenido químico de las aguas, para que se pue-

dan emplear en el riego y así puedan ser eliminadas en los ríos.

Según la Tabla No. 2, se puede observar que los datos encontrados en la canaleta, disminuyen con respecto a los obtenidos en el pozo Ah-6 y en Garita Palmera, esto es debido a que durante el proceso de evaporación (flasheo), efectuado en la planta, se elimina gran cantidad de agua pura que es eliminada a través de la misma canaleta, uniéndose de esta manera con las aguas residuales provenientes de los pozos, lo que hace que se lleve a cabo una dilución de estas aguas y por lo tanto, de las sales disueltas en ella.

En Garita Palmera, se obtienen valores mayores que al inicio de la canaleta, debido a que al final de su recorrido, la canaleta no se encuentra cubierta por lozas de cemento como en el resto, sino que lo cubre un enrejado de hierro, lo cual permite que parte del agua sea evaporada al estar expuesta al sol, concentrándose de nuevo las sales disueltas en los fluidos.

Comparando los fluidos geotérmicos con el agua de mar (Tabla No. 4), se puede ver que las cantidades de cloruros, sulfatos, sodio, magnesio en el agua de mar, son mayores a los que se encuentran en los fluidos geotérmicos, por lo que el cloruro de sodio que proviene de los fluidos geotérmicos, es más pura por la baja contaminación de sulfatos y magnesio que presentan. De igual manera, las sales de sulfatos y magnesio se encuentran en menor proporción, estas sales se caracterizan por producir sedimentos y en estudios realizados en los que se encuentran en la canaleta no están presentes (Tabla No. 5).

T A B L A No. 3

NORMAS INTERNACIONALES DE LA O.M.S.

<u>Análisis</u>	<u>Elemento</u>	<u>Concentración</u>
CO ₃	CO ₃ ²⁻	120
Bicarbonatos	CO ₃ H ⁻	+
Cloruros	Cl ⁻	200 - 600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	+
Sodio	Na	+
Potasio	K ⁺	+
Calcio	Ca ²⁺	75 - 200
Magnesio	Mg ²⁺	30 - 150
Dureza Total	CaCO ₃	150 - 342
Sílice	SiO ₂	+
Boro	B ³⁺²	30
Sólidos Disueltos		500 - 1500
Hierro	Fe ³⁺	0.1 - 1
Arsénico	As ³⁺	0.05
Manganeso	Mn ²⁺	0.05 - 0.5
Cobre	Cu ²⁺	0.05 - 1.5
Zinc	Zn ²⁺	5 - 15
Plomo	Pb ²⁺	0.1
Oxígeno Disuelto	O ₂	+
Anhídrido Carbónico	CO ₂	10
Acido Sulfhídrico	SH ₂	+
Color		5 + 50
Turbiedad		+
pH		6.5 - 9.2
Conductv. Eléctrica		+
(+ = No hay norma establecida)		

FUENTE: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Requisitos de Físico químicos, para el agua potable, San Salvador, 1978.

T A B L A No. 4CUADRO COMPARATIVO DEL AGUA DEL MAR Y DEL POZO AHUACHAPAN 6 (ppm)

<u>Análisis</u>	<u>Agua del Mar</u> *	<u>Agua del Ah-6</u>
Bicarbonatos	166.0	22.36
Cloruros	18980.0	11232.0
Sulfatos	3350.0	48.0
Sodio	10561.0	6400.0
Potasio	380.0	1990.0
Calcio	400.0	500.0
Magnesio	1298.0	0.15
Sílice	13.0	482.57
Boro	5.1	145.0
pH	7.01	7.0
Sólidos Disueltos	39700.0	22924.0

* Análisis del Agua del Mar. 38/

T A B L A No. 5

ANALISIS DE MUESTRAS DE DEPOSITOS (% EN PESO) ^{64/}

<u>Compuestos</u>	<u>%</u>
P.I. *	7.06
S_1O_2	89.54
Al_2O_3	Trazas
Fe_2O_3	0.40
TiO_2	Trazas
CaO	0.08
MgO	Trazas
Na_2O	2.44
K_2O	<u>0.46</u>
TOTAL:	99.98

* Pérdidas por Ignición.

T A B L A No. 6

TOLERANCIA PARA ELEMENTOS TRAZA EN AGUAS PARA IRRIGACION *

<u>Elemento</u>	<u>Para aguas usadas Continuamente en todo Suelo mg/l.</u>	<u>Sólo para aguas usadas por corto plazo en Suelos de Textura Fina mg/l.</u>
Aluminio	1.0	20.0
Arsénico	1.0	10.0
Berilio	0.5	1.0
Boro	0.75	2.0
Cdamio	0.005	0.05
Cromo	5.0	20.0
Cobalto	0.2	10.0
Cobre	0.2	5.0
Plomo	5.0	20.0
Litio	5.0	5.0
Manganeso	2.0	20.0
Molibdeno	0.005	0.05
Níquel	0.5	2.0
Selenio	0.05	0.05
Vanadio	10.0	10.0
Zinc	5.0	10.0

* "Water Quality Criteria" Report of the National Technical Advisory Committee of the Interior Federal Water Pollution Control Administration, Washington, D.C., April, 1968.

D- CALCULO DE LA CANTIDAD DE SALES CONTENIDAS EN EL AGUA RESIDUAL EN UN PERIDO DETERMINADO

Caudal Promedio: 450 l/sg.

Unidad de tiempo tomada: Un mes

Caudal en un mes: 1.17×10^9 l/mes

Ejemplo para encontrar la concentración de cada elemento en el flujo de agua producido en el mes:

Concentración de elemento en mg/mes = A x B

En donde:

A = Flujo de Agua en l/mes

B = Concentración de elemento en mg/lt (Tabla No. 2)

Nota: Se trabaja con un caudal de 450 l/sg. considerándose en primer lugar que éste es un promedio del caudal total, trabajando 2 unidades de la planta y, en segundo lugar, la reinyección parcial que pueda existir.

T A B L A No. 7CONTENIDO DE ELEMENTOS PRESENTES POR MES DE CAUDAL

<u>Elemento</u>	<u>Concentración</u>
As ³⁺	12.28
B ³⁺	169.65
Mg ²⁺	0.18
HCO ₃ ⁻	26.48
Ca ²⁺	628.87
Cl ⁻	12735.45
K ⁺	1146.60
Na ⁺	7371.0
SiO ₂	564.61
SO ₄ ²⁻	56.16
Li ⁺	23.52
Cs ⁺	3.98
Rb ⁺	7.29
F ⁻	2.06
I ⁻	9.39
Br ⁻	56.87

Nota: Estas cantidades fueron encontradas tomando como base el caudal promedio de 450 l/sg.

E- DE LA CONTAMINACION PRODUCIDA Y SUS EFECTOS

a) Generalidades

El agua como se sabe, juega un papel vital en la vida de los pueblos y basta con que el suministro sea suspendido por un día, para darse cuenta de cuantas cosas no se pueden hacer por la falta de agua; sin embargo, cuántas veces hemos participado en el proceso de deterioro de este recurso, ya sea por omisión o por acción.

Uno de los mayores problemas que actualmente enfrenta la humanidad, es la contaminación del agua; dado que en los países en desarrollo constituye un problema grave y muy extendido, que probablemente aumentará en importancia y extensión, si no se adoptan rápidamente medidas eficaces. La mayor parte de los países en desarrollo, se encuentran en regiones tropicales y semi-áridas y es necesario tener en cuenta la posible influencia de esas condiciones climáticas en la calidad del agua y los tipos y efectos de la contaminación.

Al mismo tiempo, es en los países en desarrollo, donde el ritmo de crecimiento de la población es mayor, a la vez que reciben gran impulso la urbanización y la industrialización. Como la contaminación del agua se debe a la actividad del hombre, adquiere su mayor extensión en los lugares donde las poblaciones urbanas, se desarrollan rápidamente y los recursos de agua son limitados.

En nuestro país, cuando se piensa en contaminación de aguas,

generalmente, se refiere y se centraliza en aguas negras, sin darle la debida importancia a la contaminación causada por los beneficios de café, maguey, kenaf, etc., además por el uso de pesticidas y por los fluídos geotermales, que son también contaminantes y con mayores descargas, produciendo así más daño que el causado por las aguas negras.

Para una mayor comprensión con respecto a lo que se considera "agua contaminada", a continuación se da su definición: El agua se considera contaminada cuando se altera su composición o condición, de suerte que resulta menos apta para cualquiera a todas las funciones y propósitos para los que sería apropiada en su estado natural. Esta definición, incluye alteraciones de las propiedades físicas, químicas y biológicas del agua, o la descarga de sustancias líquidas, gaseosas o sólidas que producirán o es probable que produzcan molestias o conviertan estas aguas en un peligro para la salud pública, la seguridad o el bienestar, o para usos domésticos, comerciales, industriales, agrícolas, recreativos y otros que se consideren legítimos o bien para el ganado, los animales salvajes, los peces y otras faunas acuáticas. Incluye también, los cambios de temperatura debido a la descarga de agua caliente (contaminación térmica). ^{55/}

b) Estado Actual de la Contaminación Producida

La energía geotérmica, ha estado sujeta a un incremento interesante durante los últimos años. En ciertos países, esta tecnología

ha sido usada para la producción de energía eléctrica, aunque recientemente se han hecho investigaciones sobre su posible utilización en otros campos.

En El Salvador, la energía geotérmica, extraída del campo Ahuachapán, se utiliza en la actualidad sólo para la producción de energía eléctrica, esto a la vez, representa un grave problema, como es el hecho de que el agua residual que sale después de la generación de electricidad, está siendo descargada juntamente con las sales que contiene el océano.

Inicialmente estas aguas de desecho, fueron descargadas a la cuenca del Río Paz, por medio del Río Agua Caliente; los resultados de la contaminación producida en el Río Paz, fueron sin embargo, muy irregulares, debido a que existían variaciones muy frecuentes del flujo del agua y también, existían variaciones en las descargas de las aguas contaminadas.

En todo el tiempo que las aguas fueron descargadas al Río Paz, no se observó aparentemente mortandad apreciable entre los peces, pero ésto pudo ser atribuído a que los peces habían creado cierta resistencia a los efectos de las sales contenidas en el agua, ya que todo lo largo del río, se encuentran nacimientos de aguas termales (salitas) que vierten sus aguas salinas en el río y, a que los peces y otras especies acuáticas, son especies eminentemente migratorias, por lo que no se tenía un control de los efectos causados por las aguas geotermales sobre dichas especies.

Debido a la posición geográfica del Río Paz, el cual sirve de frontera entre Guatemala y El Salvador, para evitar problemas con el vecino país, se vió la necesidad de buscar otra forma de eliminación de las aguas residuales o eliminarlas en un lugar diferente. A raíz de ésto, se decidió hacer pruebas de reinyección y al mismo tiempo, continuar la construcción de la canaleta hacia el océano, esto último, aunque representaba un considerable aumento en el costo inicial de la misma, -ya que el largo de la canaleta es de aproximadamente 80 Km.- se tenía la probabilidad que en este caso la dilución de las aguas residuales provenientes de la planta geotérmica, sería mayor.

Al principio se consideró que la canaleta al océano, desembocara en el estero de Garita Palmera, pero luego tomando en consideración diferentes factores, se creyó conveniente que las aguas residuales serían eliminadas directamente al océano en la playa del mismo nombre, que es la desembocadura actual, aunque en la estación lluviosa, parte de estas aguas es eliminada al Río Paz, por considerarse que en esta época el río tiene un caudal lo suficientemente grande, como para diluir los contaminantes, momento que se aprovecha para limpiar los depósitos incrustados de sílice en la canaleta.

El estado actual de la contaminación producida por estas aguas en el océano y en el Río Paz, es controlado única y exclusivamente por los análisis realizados en el Laboratorio Geoquímico de CEL, quienes controlan y dan a conocer los resultados obtenidos en sus análisis.

Los datos obtenidos en los análisis de las muestras de agua tomadas para la realización de este trabajo al final de la canaleta (playa Garita Palmera) y analizadas siempre en el Laboratorio Geológico de CEL, nos indican que las concentraciones de la mayor parte de elementos, sobrepasan los límites permisibles dados por la O.M.S. (Tabla No. 3), para agua potable.

Es importante considerar las cantidades de Boro y Arsénico, presentes en las aguas, aunque este último aparentemente se encuentra en pequeña cantidad; pero sobrepasando 200 veces el límite permisible de 0.05 ppm. El daño producido por el arsénico, es tan grande que en todos los casos se observa un conjunto de síntomas que resultan de la acción tóxica propia del mismo sobre el tubo digestivo, el hígado, los riñones, el corazón, el sistema nervioso y la piel.

En cuanto al boro, se puede decir que este elemento es en general, poco tóxico para los animales, siendo las plantas mucho más sensibles a él. Aguas que contengan más de 4 ppm de boro, se consideran poco adecuadas para irrigación y determinados cultivos pueden ser destruidos por aguas aún con una concentración de 0.5 ppm.

Hasta el momento, no se han reportado oficialmente casos de intoxicación o de daños producidos por cualquiera de estos elementos, pero si tomamos en cuenta que la descarga de las aguas provenientes de la planta geotérmica al océano, es continua si no se toman las medidas adecuadas, llegará un momento en que la contaminación produ-

cida será tan grande que podría causar graves problemas que difícilmente podrían pasar inadvertidos.

Con todo lo anterior, se ha querido presentar un panorama general de la contaminación producida por los desechos geotermales y sus posibles consecuencias en el futuro, especialmente en lo que se refiere a arsénico y boro; por lo tanto, se consideró de suma importancia, hacer las investigaciones necesarias a fin de encontrar métodos adecuados, para la eliminación de estos tóxicos, dichos métodos están siendo utilizados en otros países, con resultados satisfactorios.

En el caso particular del boro, el método que actualmente está dando mejores resultados, está basado en el intercambio iónico utilizando una resina específica llamada AMBERLITE XE-243 desarrollada por Rohm and Haas Company, la cual presenta las siguientes características:

- Trabaja en forma iónica como una base libre.
- Temperatura máxima de operación 212°F
- Capacidad total de intercambio en miliequivalente 2.5-2.9 meq/lit.
- Es selectiva para boratos y ácido bórico.
- Capacidad de equilibrio en libra de boro por pie³ de resina 0.36 libra/pie³.

Esta resina puede ser regenerada en dos formas:

1) Con una solución de ácido sulfúrico al 10%, formándose una sal y luego tratándola con una solución cáustica que puede ser hidróxido de sodio o de amonio, obteniéndose en esta forma el fraccionamiento de la sal.

2) En este método, la resina es regenerada usando únicamente ácido sulfúrico o ácido clorhídrico, obteniéndose al final ácido bórico.

Entre los dos métodos, se prefiere el segundo, porque tiene la ventaja de que se usa un sólo regenerante, que se puede estar reciclando, lográndose que la concentración del ácido bórico, aumente hasta llegar a la cristalización de éste.

Otra ventaja de esta forma de regeneración es que sirve como método de obtención de ácido bórico.

Con respecto al arsénico, en estudios realizados por el doctor Robert Kuning de Rohm and Haas Company, éste encontró que el método que dió mejores resultados en la eliminación del tóxico, es el que se basa en la floculación del arsénico, utilizando para ello ayudantes de la coagulación como pueden ser: sulfato de hierro e hidróxido de calcio, formándose una sal combinada altamente insoluble de arseniato de hierro e hidróxido férrico, de esta forma se disminuye la concentración del arsénico hasta 0.05 ppm.

Una condición de suma importancia en esta técnica, es la obtención de un flóculo que sea lo suficientemente compacto o estable y menos soluble a fin de que tenga una mayor resistencia a los procesos mecánicos que pueda estar sometido.

Algunas de las ventajas que presenta este método son:

- 1- Utilización del mismo equipo de floculación y filtración para aguas de consumo y de desecho.

2- Disminución de la contaminación inicial en una proporción de 100 veces. En aguas que contenían inicialmente una concentración de 1 ppm, se obtuvo por este método, una concentración final de 0.01 ppm.

Existen otros métodos para la eliminación de arsénico, entre ellos:

- 1- Cloración.
- 2- Adsorción con dolomita calcinada.^{60/}

Actualmente el límite permisible de arsénico permitido en Estados Unidos es de 0.05 ppm, aunque la tendencia es de llegar a una concentración de 0.01 ppm, debido a los efectos tóxicos acumulativos que se han comprobado que posee.

La importancia no solamente radica en la remoción del arsénico del agua, sino también en la adecuada disponibilidad del tóxico removido.

La amplitud y complejidad de todo lo relacionado con arsénico, sugiere la realización de un estudio exhaustivo sobre este tema de vital importancia y que por sí solo, constituye un trabajo específico.

C A P I T U L O I I I

USO DE LOS DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y SUS PRINCIPALES

DEMANDAS

USOS DE LAS SALES DISUELTAS EN LOS FLUIDOS GEOTERMICOS

Introducción

En los análisis realizados se ha demostrado la presencia de una gran cantidad de compuestos químicos disueltos en las aguas geotermales. En la actualidad, todo este potencial está siendo desaprovechado, ya que es eliminado como desecho al mar, este hecho, en un país como el nuestro en vías de desarrollo y con un bajo nivel de industrialización, es inconcebible, pues representa una pérdida incalculable de muchos beneficios, lo que ha permitido que nuestro país no haya desarrollado aún todo su potencial económico y tecnológico, continuando en esta forma en alto grado su dependencia económica.

El desarrollo de un país, implica entre otros, el aprovechamiento al máximo de sus propios recursos. En nuestro medio uno de los mayores recursos, lo constituye las fuentes geotermales que hasta el momento, no han sido aprovechadas en su totalidad, ya que éstas han sido utilizadas únicamente con el fin de obtener energía eléctrica, sin buscar el aprovechamiento adecuado de las sales exis-

tentes, por lo tanto, debe fomentarse el desarrollo de industrias nacionales que impliquen la utilización al máximo de este recurso.

Pues si bien es cierto que actualmente El Salvador no posee industrias que comprendan la utilización de toda la gran variedad de sustancias químicas presentes en los fluidos geotermales -lo cual puede ser atribuido entre otros a la ausencia de la materia prima en plaza y su alto costo de importación- no puede descartarse la posibilidad de que al tener la materia prima en disposición de ser utilizada, la creación de nuevas industrias relacionadas con estos compuestos, sería apreciable y no solamente de los productos que se pueden obtener directamente de los fluidos termales, sino también de sus productos derivados o consecuentes.

A fin de poder evaluar el potencial utilizable de estos compuestos químicos que actualmente están siendo desperdiciados, se hace imprescindible investigar en su totalidad, los usos que de ellos puede hacerse en las diversas industrias, para puntualizar el desperdicio de lo que puede ser una fuente de materias primas, tanto para las industrias ya existentes, como también para incentivar el establecimiento de nuevas industrias.

ARSENICO

Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, por lo que se le considera un constituyente normal de los organismos, aunque no se haya probado que sea esencial en su nutrición; sin embargo,

al aumentar su concentración, el arsénico funciona como un veneno protoplasmático general, impidiendo la oxidación y respiración celular. Los mariscos en particular, los camarones, tienden a concentrar el arsénico en ellos.

USOS:

El 80% del consumo en los últimos años, consiste en aplicaciones de su toxicidad.

Se usa en la fabricación de compuestos arsenicales, en la fabricación de ciertas aleaciones y cobre arseniado, usado para chapas y tirantes de tubos de caldera. Se utiliza también, para endurecer el plomo con que se hacen los perdigones y también en la fabricación de pigmentos.

Se considera de importancia mencionar los usos de las sales más comunes de este elemento: tricloruro de arsénico y trióxido de arsénico.

Tricloruro de Arsénico:

Se emplea en la industria de cerámica y en la preparación de medicamentos y derivados clorados de la arsenamina.

Trióxido de Arsénico (Arsénico Blanco):

Se emplea como tal en cebos para matar alimañas y en la fabricación de otros compuestos arsenicales (en especial, arseniatos y arsenitos), cuyo uso principal, es como insecticidas y herbicidas. En la industria vidriera se emplea como decolorante, (reaccionando

con el hierro ferroso y con el manganeso, contrarresta el color verde del primero y el tono morado del segundo). Se usa también para la conservación de pieles de animales, sus sales se usan en el teñido y estampado de algodón. Se usa mezclado con el carbonato de sodio, para impedir las incrustaciones en las calderas.

AZUFRE

Se emplea principalmente en la fabricación de sus compuestos tales como: dióxido de azufre, ácido sulfúrico, los sulfitos y sulfatos. También se utiliza para fabricar pólvora y caucho vulcanizado. Azufre finamente dividido mezclado con cal, se emplea en pulverización, para exterminar ciertos tipos de hongos de árboles frutales y de la vid.

También, se mezcla con cemento y asbesto, para hacer losetas de piedra artificial y mezclado con 60% de arena, constituye un mortero excelente para empalmes de tubería hidráulica de hierro fundido.

Los primitivos fósforos de fricción contenían azufre. En lugar del elemento libre, se utilizan ahora con este objeto, sulfuros de fósforos y de antimonio.

En la preparación de sulfito ácido de calcio para la producción de pulpa de papel, la preparación de disulfuro de carbono por unión directa de carbono con azufre en el horno eléctrico y la vulcanización del hule.

Se mezcla a veces con rocas fosfatadas molidas y se esparce por

el suelo a modo de fertilizante. En ocasiones se impregna la madera con azufre fundido, para endurecerla y darle resistencia frente a los ácidos. Se hace así menos impermeable y resulta más inmune al ataque de insectos y hongos.

El azufre tiene importancia biológica, pues se cuenta entre los doce o más elementos indispensables para la vida y desarrollo de vegetales y animales. En pequeñas cantidades está muy repartido, formando parte de compuestos orgánicos en los organismos vivos, por ejemplo: la yema de los huevos, en numerosas semillas, en el pelo y en el tejido nervioso.

El azufre se emplea para separar la lignina en la fabricación de pulpa de madera para la industria del papel.

En la fabricación de esmaltes y de másticos para uniones vidrio-metal ($S + Fe + NH_4 Cl$). La flor de azufre se emplea como insecticida.

ACIDO SULFHIDRICO

Se emplea continuamente en los laboratorios de análisis, en la industria se usa para purificar los ácidos clorhídrico y sulfúrico y su solución en los manantiales naturales, para curar diversas enfermedades de la piel.

ACIDO SULFURICO

Se usa para preparar principalmente: fertilizantes (superfosfatos). Fabricación de sulfato de amonio. Obtención de cobre, alu-

minio, magnesio, zinc, hierro, ácidos minerales, ácidos orgánicos (cítrico, oxálico, acético, etc.).

En limpieza de hierro y acero en el proceso de galvanizado.
En refinación de metales, electrodeposición, preparación de azúcar, almidón y miel.

En purificación de productos de petróleo. Preparación de dióxido de titanio. Alquilación de isobutano. Manufactura de compuestos nitrogenados. Síntesis de fenol. En manufactura de jabón. Manufactura de ácido fosfórico. Nitrocelulosa, nitroglicerina, TNT, etc.

Para la obtención de sulfato de potasio al hacer reaccionar el ácido sulfúrico sobre el cloruro de potasio; la obtención de sulfato de sodio al reaccionar con el cloruro de sodio y al mismo tiempo, se obtiene ácido clorhídrico, utilizando para ésto, los subproductos de los fluídos geotérmicos.

BORO

Se usa principalmente en la industria de los metales, como desoxidante y desgasificante en reacciones metalúrgicas. También se usa para refinar el grano de las piezas de aluminio fundidas y para facilitar el tratamiento térmico del hierro maleable. En pequeñas cantidades, el boro favorece el temple de los aceros.

El ácido bórico se usa en muchos vidriados de productos cerámicos y en vidrios especiales coloreados que se usan para decorar y marcar envases de vidrio y otros artículos semejantes.

La solución acuosa del ácido bórico se emplea como antiséptico con el nombre de agua boricada.

El ácido bórico asociado con otros compuestos químicos, sirve para tratar los tejidos, la madera y otros materiales combustibles, en los que se emplea como retardadores de la combustión.

Se usa en muchos preparados farmacéuticos en los cuales se desea una acción débilmente bacteriostática, en particular para aplicaciones y lavados externos.

El ácido bórico se usa en galvanotécnica como electrolito y en la preparación de un nuevo grupo de fluoboratos metálicos que han sido introducidos recientemente en la industria. Es también un componente del electrolito usado en los condensadores electrolíticos de los aparatos de radio. También posee aplicaciones variadas en la fabricación de artículos fotográficos.

La solución acuosa del bórax es antiséptico y es excelente para lavar los ojos atacados por un ácido y para tratar otras quemaduras por ácidos. El bórax se usa mucho para ablandar el agua y como fundente, como solubilizante para muchas gomas naturales, dextrinas y caseínas y en la fabricación del vidrio.

El bórax se usa en pequeñas cantidades en la producción de envases de vidrio, artículos novedosos de cristal, vidrio para construcción y a veces, en el vidrio plano, en el que facilita la fusión el afinado y la conformación y mejora de algunas propiedades como

el color, la durabilidad, la dureza y la resistencia de artículos acabados.

También se emplean grandes cantidades de bórax, bórax anhidro o los concentrados de mineral en la preparación de los esmaltes vítreos, en los cuales, se obtienen las mismas ventajas indicadas para los vidrios.

En la industria del cuero, se utilizan las propiedades ligeramente alcalinas y preservativas del bórax. Muchos dicen que se produce una calidad superior de cuero curtido al cromo, cuando se utiliza el bórax como neutralizador con preferencia al bicarbonato de sodio que suelen emplear las tenerías. El bórax se usa también en la preparación de numerosos compuestos para el acabado de las pieles.

El bórax se emplea desde hace muchos años como detergente, cuando se desea un álcali y un amortiguador suave. Puede usarse solo o en combinaciones con jabón y otros álcalis. Es eficaz con muchos de los nuevos detergentes sintéticos.

Por su acción bacteriostática y fungistática, el bórax sirve como preservativo de la madera (cuando no está expuesta a la acción de la lluvia o el agua), de los cueros sin curtir, el bagazo, la paja y otros materiales celulósicos. Se ha empleado como preservativo de alimentos en algunos países.

Las aguas de refrigeración y las de tratamiento que están cir-

culando continuamente, pueden mantenerse libres de bacterias y hongos, por medio del bórax. Puesto que el bórax es un inhibidor de la herrumbre, sirve para un fin doble en las aguas que se almacenan en recipientes de acero o circulan por tanques, bombas y tuberías de acero. Tiene también las ventajas de no ser tóxico, de manejarse fácilmente y sin peligro de ser económico. Su acción emulsiva se aprovecha también en la fabricación de ceras y preparados a base de cera. Es también un componente de polvos dentífricos y limpiadores de dentaduras, en los cuales se utiliza su débil alcalinidad y sus propiedades como preservativo.

Debido a su acción disolvente sobre los óxidos metálicos, se emplea el bórax desde hace mucho tiempo como componente de los fundentes para soldadura y como agente de limpieza en la refinación y la fusión de muchos metales no ferrosos. El bórax en soluciones saturadas, se utiliza como antiprurftico para la piel. También se utiliza a veces, como colutorios para el tratamiento de la estomatitis y gingivitis. En farmacia se emplea con frecuencia en pequeñas cantidades para pomadas, particularmente, en la pomada de agua de rosas, en lociones para las manos y en otros cosméticos. Forma un jabón que sirve como agente emulsionante en la preparación de la pomada. Es frecuente su inclusión en las lociones para los ojos.

Como herbicida los boratos empleados en la forma adecuada para las plantas y en cantidades suficientes, pueden esterilizar cualquier

suelo. Debido a su solubilidad, no son tan permanentes como el trióxido de arsénico y requieren repetidos tratamientos.

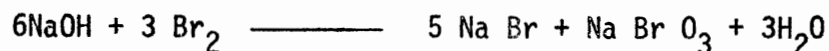
En la agricultura, el bórax se ha establecido firmemente, como componente esencial de muchos fertilizantes artificiales para suministrar al suelo el elemento boro. La mayoría de los suelos que han sido cultivados durante algún tiempo, muestran deficiencias de boro; que es vitalmente necesario para el crecimiento de muchas plantas cultivadas.

BROMUROS

Obtención:

Cuando la salmuera con que se fabrica la sal de mesa contiene bromuros, se puede recuperar el bromo de las aguas madres. El método más antiguo, consiste en concentrar las aguas madres y tratarlas en un recipiente de piedra con ácido sulfúrico y clorato sódico y a continuación se pasa una corriente de vapor que arrastra el bromo liberado. Un serpentín de Gres, recibe la mezcla de vapor y bromo condensándolos por acción del agua fría; en un colector de Gres, se recogen las dos capas de líquido, la inferior de un color rojo oscuro, que es bromo líquido y la superior que es agua de bromo. Se separan las dos capas y el bromo de la capa acuosa se recupera pasando a través de la misma una corriente de aire o de gas natural. Este bromo residual se trata separadamente; se pasa a una pequeña torre de Gres rellena de torneaduras de hierro, con lo cual se puede desplazar el bromo por acción de cloro gaseoso.

Los bromuros se obtienen saturando con bromo las disoluciones de soda cáustica (para bromuro sódico) formándose simultáneamente una menor cantidad de bromato sódico.



BROMURO DE SODIO Y POTASIO

Se usan como sedantes en el tratamiento de las enfermedades nerviosas, es efectivo cuando es usado en un período de tiempo. Es peligroso al ser usado continuamente, excepto en casos seleccionados del gran mal (epilepsia). Se ha calculado que se incorporan bromuros en 10 a 16% de todas las prescripciones médicas. También se usan en fotografía, para preparar emulsiones de bromuro de plata y en litografía.

ACCION SEDANTE DEL ION BROMURO

El ión bromuro sólo tiene una acción utilizable en terapéutica: la depresión que produce del sistema nervioso central.

En dosis adecuadas causa tranquilidad mental, sedación y sueño si se reducen los estímulos externos. No se ha aclarado el mecanismo de acción de los bromuros. Se cree que la ejerce por su presencia en los líquidos extracelulares y porque las células nerviosas son en particular sensibles a la sustitución de los iones cloruro del medio que las rodea por los iones bromuro. Se ha sugerido que no es

el bromuro el que ejerce el efecto sedante, sino que éste se debe a la deficiencia de ión cloruro que ha sido desalojado del líquido extracelular; sin embargo, si el desplazamiento se hace por otro ión, por ejemplo: nitrato no se observa el efecto farmacológico.

Los bromuros deben darse con abundante agua para evitar los trastornos gástricos y vómito ocasional que puede originar una concentración alta, por irritación local.

Es rara la intoxicación aguda por bromuros, ya que la cantidad necesaria de bromuros para elevar la concentración sérica a niveles tóxicos, es difícil administrarla, por los vómitos que producen. La intoxicación crónica sí es posible y se presenta con frecuencia por el efecto acumulativo originado por su lenta eliminación y es fácil que al usarlos en forma continua, se den dosis mayores que la cantidad que se elimina. Esta intoxicación, se llama bromismo y se caracteriza por insomnio, inquietud, vértigo, debilidad y jaqueca y los síntomas más serios son los trastornos mentales.

COLORURO CALCICO

El cloruro cálcico se emplea mucho en caminos y carreteras. Por su deliquesencia, fija el polvo en los caminos de terracería, mantiene húmedos los caminos de tierra estabilizada y hace que el material quede más compacto y se aglomere en masas más densas. Se utiliza para controlar el hielo en las carreteras. También evita la congelación de materiales transportados a granel, como el carbón, mineral de

hierro y otros minerales. El cloruro de calcio, impide la pérdida de carbón durante el transporte a causa del viento y fija el polvo en las minas de carbón. Se usa en los cubos y las barricas para combatir los incendios y ciertos tipos de extintores que tienen que ser protegidos contra la congelación. Se usa también como agente desecante de gases en los laboratorios y en la industria y para reducir el contenido de humedad de los granos para siembra. Se emplea mucho para evitar la humedad excesiva en los sótanos y almacenes.

Se emplea como oxidante, tanto en medicina como desinfectante como en la técnica para el blanqueo de algodón, lino, papel y en la moderna protección anti-gas como agente destructor de las sustancias gaseosas vesicantes.

El cloruro cálcico en preparados medicinales, es un diurético acidificante, también es una fuente inmediata de iones de calcio, para el tratamiento de la terapia por hipocalcemia, cualquiera que sea su etiología. Es también antiespasmódico de los músculos lisos y es particularmente valioso en el tratamiento del cólico saturnino.

CESIO

Es un mineral muy escaso en la naturaleza, pero sus sales tienen algún valor en microanálisis.

En medicina pueden usarse sus sales como agente antichoque, después de la administración de medicamentos arseniales.

LITIO

Usos:

Hasta una fecha relativamente reciente el litio y sus compuestos tenían poco empleo, tanto en la industria como en el laboratorio, siendo casi el único empleo mencionado, el uso de sales de litio en el tratamiento de enfermedades tales como: la gota, debidas al ácido úrico, habiéndose sugerido su empleo por ser el urato de litio una de las pocas sales solubles del ácido úrico.

Ultimamente, sin embargo, ha habido un aumento considerable en la fabricación y el uso del litio y las sales de litio. Así, algunos de los compuestos del litio se emplean en farmacia, principalmente en aguas minerales y tabletas litínicas.

El litio se emplea para las baterías y acumuladores Edison.

El color rojo para las luces de bengala, fuegos artificiales y cohetes de señales.

Los compuestos de litio, se usan en fotografía, soldadura de aluminio, cemento dental, curado de carnes, fabricación de amonio y rayón, agentes reductores.

Se usa en la purificación del helio y otros gases.

El metal se emplea aleado con el aluminio, magnesio y zinc, para producir metales ligeros destinados a la construcción de aeroplanos.

Si se agrega un poco de litio mejoran las aleaciones de metales

para cojinetes de bolas, electrodos de cobre y revestimientos de plomo.

Sirve de agente desoxidante y purificador en la refinación del níquel, hierro y cobre en las aleaciones de estos metales.

- Es usado como catalizador en la manufactura de hule sintético.
- Para la producción de uranio por la reducción de los compuestos de uranio.
- Para remover el nitrógeno de los gases inertes tales como helio.
- Usado en la manufactura de titrio para usarlo en la bomba de hidrógeno.
- Mezclas de litio como combustible propulsor de cohetes.
- Una pequeña cantidad de litio (0.005 - 0.01%) en alambres de cobre aumenta la conductividad en un 20%.
- Para desgasificado de los metales.
- En aleaciones especiales.

Actualmente se emplean compuestos de litio en la fabricación de vidrios y vidriados.

Los compuestos de litio se emplean en medicina y en la fabricación de esmaltes para cerámica.

Obtención del Litio

Para la obtención de sales de litio, deben disgregarse los mi-

nerales, lo cual se verifica mediante cocción con ácido clorhídrico concentrado en los fosfatos y por fusión con carbonatos alcalinos en los silicatos.

La preparación del metal se realiza por electrólisis de las sales fundidas, empleándose la mezcla eutéctica de bromuro y cloruro (3 Mol:2 Mol), o la de cloruros de litio y potasio (1:1): como cátodo se toma un alambre grueso de hierro; y como ánodo una varilla de carbón, ambos introducidos en la mezcla fundida puesta en crisol de cobre; cuando la electrólisis se ha iniciado, se enfría el crisol exteriormente, de manera que sólo la parte interna de la masa permanezca fundida a consecuencia del calor de la corriente.

CLORURO DE LITIO

Usos:

- Se usa en mezclas de sales para la soldadura.
- Ha encontrado también empleo como sustituto del NaCl en mezclas de sales para condimento en las dietas en las que el cloruro de sodio no debe ser ingerido (aunque se le atribuye todavía cierta acción tóxica y su empleo en los Estados Unidos no es permitido).
- Tiene cada vez un mayor empleo en la deshumidificación del aire, en el aire acondicionado y en el tinte industrial.
- La sal anhidra se usa como materia prima en la fabricación de litio metálico.

- Se utiliza en medicina como diurético.
- Cloruro de litio mezclado con cloruro de potasio, forma una mezcla eutéctica en el material de arranque usado para la preparación de litio por electrólisis.
- El cloruro de litio es usado para bajar la temperatura de operación de baños electrolíticos de fusión.
- En la preparación de óxido de etileno.
- Para inhibir la formación de cargas electrostáticas sobre películas de polietileno, fibras y capas; la cual consiste de una dispersión acuosa de acetato de litio al 0.5% y resina de madera polimerizada.

CARBONATO DE LITIO

Es la más importante de las sales de este metal, porque es fácil de purificar y sirve para la conversión de otras sales de litio inorgánicas y orgánicas.

Usos:

Se utiliza en la industria del vidrio y en la de la cerámica.

Se usa para producir otras sales de litio necesarias para usos farmacéuticos e industriales, como el cloruro de litio.

Como catalizador en la descomposición de compuestos de fósforo, y en la descomposición de aceites de hidrocarburos con vapor.

Otra aplicación es la preparación de compuestos de fósforo.

Para reducir expansiones en el concreto.

CLORURO DE SODIO

El cloruro de sodio es la materia prima para la fabricación de todos los compuestos de sodio: carbonato sódico, sosa cáustica, sulfato sódico, sulfato sódico cristalizado o sal de Glauber; indirectamente a través del carbonato sódico se suministra el sodio para el fosfato sódico y otras muchas sales. Por otro lado, es la materia prima del cloro y del ácido clorhídrico.

Se utiliza para conservar la carne, el pescado y las pieles; se emplea en las lecherías para conseguir temperaturas inferiores a cero grados. En Italia para la alimentación de los animales, se emplea desnaturalizado corrientemente con óxido férrico.

Los jaboneros emplean la sal para separar el jabón de las lejías de glicerina y el fabricante de colorantes para precipitar sus productos.

Además, la sal es un agente importante para la regeneración de resinas utilizadas en el ablandamiento del agua.

La sal ordinaria se emplea frecuentemente para la precipitación de combinaciones orgánicas; la solubilidad de no electrolitos se disminuye mediante adición de electrolitos, así por ejemplo, si se añade sal a una disolución acuosa de jabón, éste se separa. En el laboratorio, principalmente en trabajos orgánicos; y en la industria se usa mucho este método para verificar coagulaciones y se denomina saladura, además el cloruro de sodio se emplea como material

de partida, para la preparación de hidróxido sódico y sales de sodio.

SULFATO DE SODIO

En forma de torta de nitro, se usa en la fabricación de ácido clorhídrico y sulfito de sodio. En el laboratorio se usa para disgregar algunos minerales.

Como fundente se usa en la extracción de los minerales de cobre y níquel. Se usa en la fabricación del papel kraft y de la cartulina, rayón, textiles.

Se emplea en la fabricación de productos químicos pesados.

Se utiliza para hacer vidrios, tintes, jabón, pinturas, explosivos y fertilizantes.

Se emplea en medicina como purgante.

HIDROXIDO DE SODIO

Es muy utilizado en la fabricación de jabones, pulpa de papel y sedas artificiales.

Es ampliamente usado como reactivo químico. Se usa en la fabricación de colorantes, como la alizarina.

Es importante en la industria del rayón, y del algodón mercurizado.

Se emplea en la refinación de aceites.

POTASIO

Usos:

Aproximadamente el 90% de todos los productos que contienen

potasio, se utilizan como fertilizantes. Los compuestos de potasio llegan a las plantas por disgregación de los silicatos dobles de aluminio y potasio, para cuya vida son indispensables. Las sales potásicas se usan además en la fabricación de pólvora negra (KNO_3).

CARBONATO DE POTASIO

Aunque en el lenguaje corriente la palabra "potasio" es nombre genérico para todos los compuestos de potasio usados como fertilizantes, se aplica con mayor propiedad al carbonato potásico.

Usos:

No obstante que la principal aplicación del carbonato de potasio es la fabricación de vidrio duro, interviene en la producción de gran variedad de sustancias, entre las cuales figuran: ácido oxálico, cianuro potásico, numerosos compuestos inorgánicos, aguas minerales, preparación de alimentos y perfumes, jabón líquido, artículos de tocador, vidriados de cerámica, heliografía, colores secos y tintas de imprimir.

También se usa en el curtido de pieles, en galvanoplastia; en la industria cervecera, en el lavado, blanqueado y teñido de tejidos y como agente deshidratante.

Es el material de partida en la fabricación de la mayoría de las sales de potasio químicamente puras.

SULFATO DE POTASIO

Usos:

Su aplicación como "fertilizante", constituye el mayor mercado del sulfato potásico. Es preferido el K_2SO_4 como abono con respecto al KCl por la ausencia de cloro.

El sulfato potásico se usa mucho en el cultivo de frutos cítricos, pues de ello resulta un ligero aumento en el contenido de azúcar en comparación con los frutos de árboles fertilizados con KCl. Hay testimonio aunque si bien no concluyente, de que abonando con sulfato se produce caña de azúcar y remolacha azucarera con mayor contenido en azúcar que la obtenida si se fertiliza con cloruro. Las hortalizas carnosas como los tomates, mejoran en sus cualidades de embarque si se abonan con sulfato.

También se usa como acelerador del fraguado del yeso.

Se usa en la fabricación de tabla de fibra comprimida para paredes.

Es utilizado como ingrediente para evitar el fagonazo en las pólvoras sin humo.

Se utiliza también como materia prima en la fabricación de alumbres y otros productos químicos inorgánicos como el carbonato potásico.

CLORURO DE POTASIO

Usos:

Su principal aplicación es como fertilizante. Cantidades menores se utilizan para la fabricación de hidróxido, carbonato, sulfato y cromato potásico, así como para otros productos y como reactivo de laboratorio.

Se utiliza en operaciones metalúrgicas. Como agente desgasificante para la purificación de aleaciones ferrosas.

Una mezcla de los cloruros de potasio y litio a 450°C, extrae casi cuantitativamente las tierras raras formadas como productos de fusión de uranio-bismuto.

Para prevenir explosiones en oleoductos. Como un constituyente en las pantallas de larga resistencia de los tubos de rayos catódicos y de los materiales fluorescentes ultravioleta.

El uso de baterías ensambladas con membranas intercambiadoras de iones, con soluciones de cloruro de potasio, como una fuente de energía eléctrica.

ABONOS

Importancia del Potasio:

Las plantas en su crecimiento absorben del suelo y del aire ciertos elementos como son el carbono, hidrógeno, potasio, calcio, azufre, fósforo y nitrógeno, que les sirven de alimento. En menor grado toman también silicio, hierro, sodio, magnesio y cloro. La acción natural del tiempo y la atmósfera sobre los minerales que se encuentran en el suelo, proporciona en general, una cantidad suficiente de los elementos que las plantas necesitan para su crecimiento, pero el suministro de potasio, fósforo y nitrógeno es insuficiente después de la frecuente repetición de una misma cosecha y

el terreno resulta menos productivo. Para proporcionarle estos elementos, se emplean anualmente los llamados fertilizantes o abonos. Un abono perfecto suministra los tres elementos esenciales: potasio, nitrógeno y fósforo.

El potasio generalmente vuelve al suelo en forma de sulfato o carbonato (cenizas de madera) y en algunos casos, como cloruro.

HIDROXIDO DE POTASIO

Usos:

Se emplea como materia prima en la fabricación de jabones. Se usa como desecante de gases y en la absorción de gases ácidos como dióxido de carbono y dióxido de azufre.

Se utiliza en galvanoplastia. Es empleado para quitar pinturas y barnices.

RUBIDIO

Los usos del rubidio metálico, son análogos a los del cesio y al igual que en el cesio, estos usos han sido muy limitados en otros tiempos, debido principalmente al alto costo y escasa disponibilidad del metal. En realidad, como el rubidio y el cesio son difíciles de separar, se usan con frecuencia los dos metales juntos con el nombre comercial de "cesio".

La principal aplicación es en capas extremadamente sensibles a la luz en la cara interna del vidrio en la manufactura de tubos de vacío y celdas fotoeléctricas.

Además de aleaciones binarias de rubidio con otro metal, se usan también varias aleaciones ternarias de rubidio y cesio con otro metal, como cátodos sensibles en celdas fotoeléctricas.

Sin embargo, al aumentar la disponibilidad de rubidio metálico, relativamente puro a menor costo, puede preverse un uso mucho más amplio en un futuro próximo. Actualmente se sugieren numerosos usos del rubidio metálico, de posible importancia futura, en catálisis de reacciones orgánicas y en los campos de energía atómica y tecnología del espacio.

SILICE

La sílice, SiO_2 , se encuentra en la naturaleza libre y combinada con diversas bases para formar numerosos silicatos naturales.

La sílice libre existe cristalina y amorfa. Hay tres tipos principales de sílice cristalizada: cuarzo, tridimita y cristobalita.

Propiedades de la Sílice:

La sílice funde en un vidrio incoloro -vidrio de cuarzo- en la llama oxhídrica. El punto de fusión del cuarzo, no es bien definido. La fusión comienza alrededor de 1600°C .

La sílice es reducida por el magnesio o silicio amorfo. Las sílices cristalinas y vítreas parecen ser insolubles en agua y en todos los ácidos excepto el ácido fluorhídrico. La sílice cristalizada es atacada lentamente por soluciones acuosas de hidróxidos y carbonatos alcalinos. La sílice fundida es atacada fácilmente por

el ácido fosfórico y por los álcalis. La sílice es atacada además, por el agua sobrecalentada y una pequeña cantidad puede pasar a solución.

Las condiciones necesarias para la disolución, parecen prevalecer en las cavidades profundas de la tierra. El agua que sube a la superficie se enfría y su presión disminuye. Entonces, una parte de la sílice disuelta se deposita en la boca del manantial en forma de una jalea espesa. Esta se transforma luego en una masa blanca dura porosa, llamada geysierita. Aunque químicamente inactiva a temperaturas ordinarias, la sílice actúa como un anhídrido ácido enérgico a altas temperaturas, combinándose con bases y muchos óxidos metálicos, para formar silicatos más o menos fusibles.

Los silicatos más fusibles -por ejemplo, el silicato de plomo- se usan para fabricar vidrios y vidriados para alfarería. Los silicatos de sodio y potasio, son solubles en agua, y la solución acuosa se vende como vidrio líquido y el sólido como vidrio soluble.

El carácter ácido enérgico de la sílice a altas temperaturas, se basa en el hecho de que la mayoría de los anhídridos de ácidos (SO_3 , P_2O_5 , etc.), se volatilizan a temperaturas muy inferiores y en consecuencia, en cuanto es desplazada una muy pequeña cantidad de trióxido de azufre, por ejemplo, el anhídrido volátil se elimina y deja de competir con la sílice por la base. A temperaturas inferiores, el trióxido de azufre desplaza rápidamente a la sílice de

Las bases, cuando compiten en iguales condiciones.

Usos de la Sílice:

La arena o la piedra arenisca se muele con un poco de cal o de arcilla, para ligarla y con este material se preparan ladrillos refractarios, etc.

La tierra de diatomeas -también llamada trípoli, diatomita, kieselguhr o (erróneamente) tierra de infusorios, etc.,- es usada como polvo pulidor, en la fabricación de cemento, vidrio soluble y ladrillos aisladores del calor. Sus propiedades absorbentes son utilizadas en farmacia, etc., para la preparación de sólidos saturados de líquidos, por ejemplo, antisépticos para vendajes secos, para heridas y para absorber bromo, ácido sulfúrico, nitroglicerina, etc. El producto de la absorción de nitroglicerina, en kieselguhr, se conoce como dinamita.

La arena es empleada muy extensamente en construcción, para el cemento y la argamasa; además para la fabricación de piedra artificial, de vidrio y vidriados y de ladrillos de sílice usados en los hornos de acero y otros. Es usada también en los lechos filtrantes de la purificación de agua para el consumo público. Se emplea también para fabricación de:

- Acido silícico -absorbedor de gases, catalizador, soporte para catálisis.
- Silicones - combinación directa de sílice y grupos orgánicos por medio de reacción química.

- Silicones líquidos -en aceites de motor, en conservas, jaleas, cosméticos, pulidores de auto, medicina, para hacer las telas, repelentes al agua, compuestos selladores, en accesorios eléctricos, etc.
- Hule sintético -silicones de alto peso molecular, pueden ser vulcanizados para formar un hule que es difícil de distinguir del natural.
- En empaques y sellos, protectores de bujías y partes eléctricas de automóviles, aviones y botes, forros para capacitadores y transformadores.
- Resinas - Resinas protectores, pinturas, barnices.
- Resinas laminadas - Para hacer más resistentes hojas de papel, tela, asbestos, fibra de vidrio, etc.
- Resinas y repelentes al agua - Cementos impermeables.
- Resinas moldeables - Equipo eléctrico.
- Resinas aislantes - En electricidad.

LOS SILICATOS

La importancia de los silicatos, que constituyen una proporción tan grande de la corteza terrestre, hace que el estudio de su constitución sea un asunto de gran interés. Son difíciles de investigar por medios químicos, pues la mayoría de ellos, parecen existir sólo en el estado sólido y el carácter de los grupos constituyentes, se

pierde por completo en el curso de los procedimientos químicos.

Recientemente el análisis con rayos X, ha demostrado que la diferencia entre las distintas clases de silicatos depende de la disposición silicio-oxígeno y sólo indirectamente del resto de las estructuras. En ocasiones, la estructura silicio-oxígeno, forma un grupo cerrado como un radical ácido ordinario, pero generalmente la estructura es sin fin y se extiende en forma continua por todo el cristal dado.

VIDRIO

Generalidades

El vidrio es una mezcla amorfa, transparente o translúcida de silicatos, uno de los cuales es siempre un silicato alcalino. Los silicatos corrientemente empleados, son los de potasio, sodio, calcio y plomo; los silicatos de los metales pesados se hallan en los vidrios de color.

La mayor parte de los silicatos simples y mezclas de ellos son difíciles de fundir y al enfriarse después de fundidos, adquieren una estructura cristalina; pero los silicatos de cal y metal alcalino o de plomo y metal alcalino, pueden fácilmente ser y son generalmente amorfos después de fundidos.

Como los vidrios son mezclas complejas y homogéneas, todas sus propiedades pueden modificarse por un cambio de composición progresivo;

en la industria se hace uso de esta facultad.

El vidrio sódico-cálcico es aproximadamente Na_2O , CaO , 6SiO_2 , y el de plomo K_2O , PbO , 6SiO_2 ; pero puede variar de tal modo que la fórmula sea $5\text{K}_2\text{O}$, 7PbO , 36SiO_2 . Indudablemente, la potasa puede ser sustituida por sosa o viceversa, en cualquiera de ellos, mientras la proporción relativa de los ingredientes pueda variar entre límites bastante amplios; pero por regla general, cuanto mayor es la proporción de sílice, más duro, más difícilmente fusible y más frágil es el vidrio. El aumento de álcali lo hace más blando, más fusible y resiste menos los cambios atmosféricos y los reactivos químicos. Aumentando el tanto por ciento de cal, disminuye la fusibilidad y se hace más duro, pero no tan frágil como cuando contiene una proporción crecida de sílice.

En la industria se distinguen dos clases de vidrio: vidrio de cal y vidrio de plomo. El álcali empleado puede ser sosa, potasa o ambos.

El vidrio de cal es más corriente y en general más útil. Es más económico, duro, resistente y menos fusible que el de plomo; este último es más brillante, es pesado y caro y se usa principalmente para trabajarlo y tallarlo para objetos ópticos.

MATERIAS PRIMAS PARA LA FABRICACION DEL VIDRIO

Los materiales esenciales para la fabricación del vidrio son

sílice, un álcali y cal o plomo. La sílice se obtenía al principio del cuarzo o pedernal; pero éste se emplea hoy día sólo para una calidad esencialmente fina. Se calienta al rojo y se echa en agua y la masa quebradiza que así se forma, se pulveriza luego en un molino especial. La arena de cuarzo y las cuarcitas blandas, son materiales de los que se obtiene generalmente la sílice y para ello, se explotan actualmente varios depósitos en distintos países. Se halla una arena muy pura en Alemania.

El álcali se deriva del carbonato o sulfato sódico o potásico y éstos también han de hallarse exentos de hierro. El carbonato funde más fácilmente con la arena que el sulfato, pero como éste último, es más económico, se usa mucho. Es esencial mezclar carbón en alguna forma con el sulfato para facilitar la reducción. Para las clases mejores de vidrio, se emplea carbón vegetal en polvo, pero para el vidrio corriente, se usa como agente reductor, carbón pulverizado.

Para el cristal de plomo no se emplean en general, sulfatos, pues por reducción de éstos, se forma algo de sulfuro sódico y éste reacciona con el plomo formando sulfuro de plomo que oscurece el vidrio.

Varios ensayos llevados a cabo para intentar el uso de la sal directamente en el horno de vidrio como sustancias origen para el álcali, no han dado resultado satisfactorio. Es completamente

volátil a la temperatura del horno y es necesaria la presencia del aire o vapor de agua para su descomposición por la sílice.

Como potasa, puede usarse carbonato potásico impuro; pero para vidrio de mejor calidad, se emplea esta sal purificada. El sulfato de potasio, es difícil de reducir y no es usado mucho.

La cal se obtiene de creta o piedra caliza. Para vidrios de muy buena calidad se usa polvo de mármol exento en lo posible de hierro. Para vidrio corriente, se usa piedra caliza menos pura. Puede contener un tanto por ciento crecido de sílice y gran cantidad de alúmina, pero deben evitarse la magnesia y el hierro en grandes cantidades. La magnesia hace al cristal más duro e infusible. Para el vidrio barato, la caliza se substituye en parte, por feldespato, pórfido o granito. Los carbonatos alcalinos y de cal, son convenientes en la mezcla del vidrio porque al fundir la masa, las burbujas de anhídrido carbónico que se desprenden, agitan y mezclan los ingredientes totalmente.

C A P I T U L O I VAPROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y
ALGUNAS CONSIDERACIONES DE IMPORTANCIAA- PROYECTOS DE UTILIZACION DE LOS SUBPRODUCTOS EN OTROS PAISES1- Proyectos de extracción de Sales Minerales a partir de los
Flúidos Geotérmicos.

Debido a la gran cantidad de sales disueltas en la salmuera que es eliminada luego de transformar la energía geotérmica en energía eléctrica y en la salmuera existente en los pozos de baja entalpía, ha sido de interés para varios países que poseen este recurso geotérmico, la investigación de métodos para hacer posible la extracción de una o varias sales contenidas en ellas y utilizarlas como materia prima en la industria evitando de esta manera la importación de las mismas.

Entre los países que han realizado estas investigaciones se tiene por ejemplo:

a- México

México, el cual en recursos geotérmicos es el primero en América Latina, cuenta con la estación geotérmica de Cerro Prieto en donde existen 53 pozos de los cuales puede obtenerse un potencial de 150 MW.

Entre los proyectos que se han desarrollado se encuentra la extracción de Cloruro de Potasio, lo que constituye un aporte a la independencia económica de México en el importante rubro de los fertilizantes, ya que hasta hace poco México importaba la totalidad de potasio que se consume como fertilizante o como materia prima para algunos compuestos químicos secundarios. Según cifras de 1978, de acuerdo a la cantidad de potasio que se importa y según el potencial actual de generación de Cerro Prieto, se extrajo aproximadamente dos tercios del consumo con su correspondiente ahorro de divisas. Para 1982 se piensa producir todo el consumo nacional.

Desde el punto de vista netamente geotérmico, la posibilidad de extraer una sal económicamente explotable, es importante por varias razones:

En primer lugar, disminuye el costo o mejor aún, aumenta la eficiencia de explotación de fluidos geotérmicos al obtenerse una ganancia adicional, independientemente de la generación de electricidad.

En segundo lugar, la extracción de Cloruro de Potasio permite ejercer un mayor control sobre la contaminación que origina el desecho de la salmuera en la superficie.

México en 1977, inició los estudios referentes a la extracción con una extensa investigación bibliográfica que abarcó de 1907 a 1977. Con base en estas informaciones se analizaron los diferentes métodos de extracción del potasio, estableciéndose como el más ade-

cuado, el método de flotación.

Posteriormente en uno de los pozos se inició la fase experimental y muy cerca de él se construyeron pequeñas lagunas de evaporación recubiertas con plástico para evitar el factor tierra. Dicha evaporación se lleva a cabo utilizando la energía solar.

En estas pequeñas lagunas escala laboratorio se realizó el proceso, el cual consta de dos fases: fase de acondicionamiento y fase de cristalización.

En la fase de acondicionamiento, en primer lugar, se eliminó la arcilla presente en la salmuera por medio de un agente secuestrante, dando como resultado un producto llamado "lechada". A esta lechada se le añade un agente colector, el cual ayuda a separar el sodio del potasio por flotación de las partículas.

La fase de cristalización consiste en concentrar la lechada preparada en la primera fase hasta una concentración del 20-30% de sólidos. Luego es enviada a unos recipientes especiales en donde por medio de agitación y aire caliente se produce formación de espuma, la cual hace que las partículas de Cloruro de Potasio suban, de tal manera que salen del recipiente para ser lavadas, secadas y luego envasadas.

La salmuera usada se recircula para ser empleada nuevamente.

México también ha establecido un proyecto para la recuperación del Litio, tomando como base el aplicado en Silver Peak, Nevada, USA.,

por la Foote Mineral Company.

El método empleado es el de carbonatación del litio que consiste en trasladar la salmuera proveniente de 12 pozos de bombeo a las lagunas, en donde se evapora. La evaporación se efectúa en una secuencia de cuatro pasos, que tiene lugar en las lagunas, cada una de alrededor de 1 m de profundidad, pero de diferente área. La salmuera ya concentrada al 6% es bombeada 2 millas hasta la planta de recuperación en donde se hace reaccionar con Carbonato de Sodio, formándose el correspondiente Carbonato de Litio, el cual después de precipitar, es filtrado, lavado y empacado.

En México la producción anual de Carbonato de Litio empleando este método alcanza las 1,800 toneladas. ^{47/}

Finalmente, México además tiene un proyecto de recuperación de la sílice amorfa.

El agua a presión descargada por los pozos, está saturada con respecto a la sílice, por lo cual al evaporarse (flashearse) a la atmósfera, se sobresatura la solución y tiende a precipitar, en forma coloidal, formando un gel que tarda alrededor de 10 días en asentarse totalmente, estando la solución en reposo.

La recolección y lavado después de precipitada serían los únicos pasos a seguir para tenerla en condiciones de utilizarse industrialmente.

En México la cantidad media extraída del flujo es aproximadamente 12,000 Ton/año. ^{40/}

b- Islandia

En Islandia, el calor geotermal es una importante fuente de energía. Esto ocurre en aproximadamente 250 áreas termales llamadas de baja temperatura (caracterizada por tener agua con temperatura superior a 100°C) y 16 áreas de alta temperatura (caracterizada por vapor natural).

La National Research Council (NRC) realizó estudios de factibilidad para la construcción de una planta química para la producción de varios compuestos inorgánicos de la salmuera geotérmica y del mar como por ejemplo: Sal Común, Cloruro de Potasio, Cloruro de Calcio y otros subproductos tales como Bromuro y aún Litio y Sales de Litio.

El área visiblemente activa es demostrada por numerosos lugares calientes, pozos de vapor, pozos lodosos hirviendo y pozos de salmuera calientes.

El proceso de la planta para la obtención de los minerales químicos es el siguiente: la planta consta de 2 secciones:

- 1) Primera Sección: Evaporación
- 2) Segunda Sección: Cristalización y Producto Final

Sección 1: Evaporación

La planta recibe el vapor y la salmuera a una presión de 4 atmósferas; la salmuera es admitida en una cámara de flasheo; esta salmuera es pasada a través de un intercambiador de calor (de 8 pasos) donde se enfría abajo de los 40°C a través de pasos sucesivos de

flasheo de evaporación y luego es llevado a la unidad de tratamiento de la salmuera, en donde se obtiene la precipitación de la sílice. La salmuera regresa nuevamente al intercambiador de calor para ser calentada.

Existen 2 evaporadores los cuales reciben el fluido a 115°C de la unidad de tratamiento y en donde hay sucesivas evaporaciones hasta llegar a una concentración de 6%. El único tratamiento dado a la salmuera en los estanques es adición de cal viva. Esta temperatura es bajada a 40°C a través de 14 etapas sucesivas de evaporación. Ambos evaporadores son de la misma capacidad y el efluente en cada uno alcanza la misma concentración, pero el efluente de uno de ellos regresa a la unidad de tratamiento y el efluente del otro es llevado a un tanque de almacenamiento para su posterior cristalización.

Sección 2: Cristalización y Producto Final

La salmuera concentrada es guardada en un tanque de concreto y filtrada antes de entrar a los cristalizadores.

La cristalización es llevada a cabo en evaporadores de triple efecto, en los cuales el licor es llevado cerca del punto de saturación del Cloruro de Potasio y la mayoría del Cloruro de Sodio cristaliza junto con una pequeña cantidad de Sulfato de Sodio..

El licor madre junto con el Cloruro de Sodio es llevado a una centrífuga en donde se lleva a cabo la separación de la sal, ésta es luego lavada con una salmuera concentrada, filtrada y luego llevada

a almacenamiento.

El licor madre **conteniendo** Cloruro de Calcio y potasa es evaporado, enfriado y separado del Cloruro de Potasio y Cloruro de Sodio remanente por medio de centrifugación, luego el Cloruro de Potasio es lixiviado y luego cristalizado, finalmente filtrado. Posteriormente es secado y empacado.

El Cloruro de Calcio remanente en el licor madre es llevado a la temperatura de ebullición por calentamiento directo y luego pasan a una columna especial de remoción.

El bromuro presente en el licor madre es soltado en la parte superior de la columna y luego condensado en un separador líquido-líquido. Aquí el bromuro extraído por el fondo y en la capa superior se encuentra el Cloruro de Calcio que es llevado a otra columna donde éste se separa, luego se neutraliza con hidróxido de Na y se evapora hasta obtener una concentración de 80% de Cloruro de Calcio de donde es extraído y cristalizado. (51)

c- Nueva Zelanda

En Wairakei se ha considerado de gran interés económico las substancias químicas contenidas en las aguas geotérmicas provenientes de pozos de alta presión; tomando en cuenta esto, se ha discutido la posibilidad de la extracción de litio en estas aguas.

Se realizó una investigación que tuvo por objeto establecer el proceso de extracción adecuado y evaluar los posibles problemas téc-

nicos que pudieran presentarse.

La única información anterior al presente trabajo es un resumen de una investigación llevada a cabo en 1945, para la extracción de potasio y litio de los manantiales calientes de Harima en Japón. La información detallada acerca de lo realizado en dicha zona no está disponible.

Las concentraciones de los constituyentes principales en las aguas descargadas de los pozos de alta presión en Wairakei se muestra en la Tabla 9.

El agua de alta presión es flasheada bajo presión atmosférica produciendo vapor para la generación de energía, obteniéndose aguas residuales con una temperatura de 100°C.

Cuando la planta generadora alcanza una capacidad de 280 MW; aproximadamente, diez millones de libras de agua por hora son descargadas y el contenido de las sales disueltas más abundantes se muestra en la Tabla 10.

T A B L A No. 9CONSTITUYENTES DEL AGUA DE LOS POZOS DE ALTA PRESION

<u>Elemento</u>		<u>Concentración (ppm)</u>
Sodio	Na ⁺	1230
Potasio	K ⁺	200
Litio	Li ⁺	13.5
Rubidio	Rb ⁺	2 - 3
Cesio	Cs ⁺	2 - 2.5
Calcio	Ca ²⁺	14
Magnesio	Mg ²⁺	2
Cloruros	Cl ⁻	2100
Fluoruros	F ⁻	8
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	37
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	46
Acido Metabórico	HBO ₂	103
Sílice	SiO ₂	470

T A B L A No. 10CONTENIDO DE SALES DISUELTAS EN LAS AGUAS DE DESECHO

<u>Componente</u>	<u>Libras por cada 100/Galones</u>	<u>Toneladas por Año</u>
Sodio como NaCl	31.3	105,000
Potasio como KCl	3.8	13,000
Litio como Li_2CO_3	0.72	2,400
Rubidio como RbCl	0.04	130
Cesio como CsCl	0.03	100
Boro como $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	1.2	4,000

Para la extracción de estas sales fueron ensayados varios métodos, obteniéndose los mejores resultados al combinar la electrodiálisis con la evaporación; aunque los problemas que comprende la purificación final no han sido todavía investigados y el método no es detallado en la bibliografía.

Básicamente, lo que se hace es llevar las aguas a una cierta concentración primaria por electrodiálisis utilizando para ello una membrana selectiva de iones. La selectividad de esta membrana decrece en el orden siguiente: $K^+ \succ Na^+ \succ Li^+$. A medida que el proceso se lleva a cabo y una vez se llega a un alto grado de remoción de la sal, la preferencia inicial para K^+ y Na^+ disminuye, siendo entonces posible una alta extracción de litio.

Luego de obtener la concentración primaria por este proceso, se realiza una evaporación para obtener una concentración secundaria o final.

La evaporación por efecto múltiple usando vapor geotermal fue considerada factible y parece que ofrece la ruta económica más favorable para la extracción de litio.

Cuando el proceso de desalinización de las aguas termina, se obtienen los siguientes porcentajes individuales: Potasio 93%; Sodio 89.5% y Litio 87%, observándose también que en este proceso más del 95% de Cesio y Rubidio son extraídos.

Las investigaciones realizadas en Wairakei demostraron que la electrodiálisis ofrece una ruta técnicamente atractiva para la concentración de sustancias químicas presentes en las aguas geotermales.^{56/}

2- Proyectos de Utilización de los Fluidos Geotérmicos en Otros Campos

Los recursos geotermales, pueden ser usados para muchos propósitos, diferentes a la generación de electricidad, tales como: calefacción o acondicionamiento de espacios, invernaderos, crianza de peces, tratamientos termales y otros.

A continuación se hará una descripción de los diferentes proyectos que están siendo desarrollados en otros países.

a- Utilización de las Aguas Geotermales para Tratamientos Termales

Muchos países están impulsando actualmente las curas termales y numerosos e importantes establecimientos termales han sido construidos en Italia, Unión Soviética, Alemania Federal, Francia y Japón.

Con la terapia termal se pueden tratar enfermedades o disturbios que comprenden la nutrición (hígado, intestino, estómago), los riñones, las vías respiratorias; algunas formas de reumatismo, afecciones del aparato motor, del aparato cardio-circulatorio, de algunos disturbios del aparato genito-urinario, enfermedades de la piel y otros; esto será de acuerdo a la composición físico-química que presenten las aguas.

Desde la antigüedad se sabe que las aguas termales naturales tienen propiedades curativas, debidas no solamente a su temperatura sino también a la composición físico-química de las sales y de los gases disueltos en ellas. Para estos tratamientos termales se utilizan aguas con temperaturas que oscilan desde los 20°C hasta temperaturas superiores a los 40°C, éstas últimas son las llamadas aguas hipertermales, las cuales pueden ser aprovechadas absorbiendo preliminarmente una parte del calor para efectos industriales, con el objeto de dejar el agua a una temperatura ideal necesaria para los tratamientos curativos; pero es necesario que este tratamiento preliminar no provoque variaciones sensibles en las características físico-químicas del agua misma, que la mayor parte de las veces viene enfriada en el momento de la aplicación terapéutica, con mezclas u otros fluidos curativos más fríos. Es de vital importancia que las características higiénico-bacteriológicas del agua mineral usadas para tratamientos termales, correspondan plenamente con las reglas estándares aprobadas por el servicio de salud pública de cada nación, o de las organizaciones internacionales del ramo, tales como O.M.S.; F.A.O., etc.

b- Proyectos de Utilización en Sistemas de Calefacción

A pesar de que este tipo de proyecto no puede ser aplicado en igual forma en las regiones tropicales tales como nuestro país, sin embargo, se considera importante mencionarlo porque constituye una

aplicación más de la energía geotérmica puesto que en países con una condición climática extremadamente fría y que cuentan con este recurso, se proveen en esta forma de las condiciones necesarias y suficientes para la utilización de los fluidos geotermales en la calefacción del ambiente.

Así, por ejemplo, en Nueva Zelandia, la ciudad de Rotorua está situada en una región termal que muestra una extraordinaria exhibición de charcos termales hirvientes, lodos hirviendo a borbollones y geysers. La mayoría de los edificios comerciales en la ciudad tienen calefacción geotermal al igual que el Centro de Gobierno. En el Hospital Queen Elizabeth las calderas de carbón convencionales han sido reemplazadas por intercambiadores geotérmicos de calor completamente automáticos, que generan vapor limpio a baja presión para calefacción y otros servicios de hospital.

Estudios realizados han demostrado que el uso de la calefacción geotérmica representa un ahorro sustancial de los combustibles tradicionales; pero el uso económico de aguas geotermales para la calefacción de edificios, depende en gran medida de que las fuentes de abastecimiento estén cercanas al área de demanda.

En el Japón, la utilización primaria está limitada principalmente a la generación de energía, pero en algunas áreas, el agua caliente es transportada para su utilización secundaria en calefacción de hoteles y casas.

En el Noroeste de los Himalayas, recientemente se han encontrado fuentes geotermales, las cuales se han usado con éxito en pruebas experimentales de calefacción ambiental.

Las condiciones climáticas extremas que prevalecen en esta región con temperaturas nocturnas que varían desde $+10^{\circ}\text{C}$ en el verano, hasta -40°C en el invierno, hacen de este lugar una región no habitable y una de las áreas menos pobladas del mundo.

A fin de comprobar la utilización de los fluidos geotermales en la calefacción del ambiente se llevó a cabo un experimento que consistió en suministrar calor proveniente de un pozo geotermal, el cual emite continuamente vapor de agua a una T° de 125°C , hacia una cabaña erigida a una distancia de 20 metros del pozo.

Una vez comenzó a funcionar, la temperatura interior se registró de 30°C , mientras que la temperatura exterior era de 10°C . Posteriormente en invierno la temperatura de la cabaña fue de 1°C durante la noche, mientras la temperatura del ambiente externo fue de -20°C .

De acuerdo a los resultados obtenidos en estas pruebas se ha demostrado que la calefacción ambiental proveniente del calor geotérmico, tiene un campo excepcionalmente bueno para áreas de clima muy frío, desplazando de esta manera los rústicos calentadores, los cuales son encendidos con kerosene y ahora que el petróleo es una comodidad cara y escasa esto representa la solución más adecuada a esta necesidad.

c- Estudios de Utilización de la Energía Geotermal para
Fines de Refrigeración

El campo geotermal de Manikaran en los Himalayas, está rodeado por fincas de orquídeas, frutas y papas, así como de abundantes manantiales.

Las grandes producciones aquí generadas, las cuales tienen que ser transportadas a lejanos lugares a través de caminos dificultosos, crearon la necesidad de la instalación de una planta fría almacenadora de gran capacidad a fin de prevenir las pérdidas debido al natural deterioro y permitir su transporte durante un largo período de tiempo.

De acuerdo a las operaciones de excavación exploratoria realizadas se ha demostrado la presencia de aguas termales con temperaturas sobre los 90°C; esta condición termal y la descarga de los manantiales han sido muy grandes y constantes durante muchos años y presentan la característica de estar libres de producir corrosión en gran escala, por lo que podrían ser recogidas en pequeños colectores y así llevadas por canal o bombeadas para ser usadas en refrigeración.

La disponibilidad de estas aguas termales junto con el abundante suministro de agua muy fría (cerca de 10°C), proveniente de los manantiales unido a la necesidad de una planta fría almacenadora, señalaron la utilización de la energía geotermal para fines

de refrigeración con mayor prioridad.

d- Hidroponía Geotermal

En la hidroponía geotermal se utiliza el agua geotermal para la producción de vegetales en los invernaderos.

En California, se está utilizando esta técnica en un sistema de invernaderos construídos cerca de un complejo natural de manantiales de aguas termales más comunmente conocidos como Wendel Hot Springs. El máximo de temperatura de estos manantiales es de 99°C.

El terreno en donde se han construído los invernaderos, es altamente alcalino en el fondo y tiene sólo una limitada capacidad natural para la producción de hierbas y matorrales. El agua geotermal, sin embargo, es de tan alta calidad que es usada en los invernaderos para la irrigación de las plantas sin ningún tratamiento, excepto por la adición de nutrientes y ácido sulfúrico para el control del pH.

El agua caliente tomada de los manantiales naturales es usada para calentar los invernaderos y con la adición de nutrientes para regar las plantas. Esta agua junto con algunos nutrientes, después de usada, es descargada dentro de un sistema de desague natural y luego, irriga el suelo alcalino por naturaleza, e induce el crecimiento de granos y hierbas, las caules anteriormente no eran capaces de germinar debido a la falta de nutrientes y por la toxicidad del suelo alcalino.

En los invernaderos se da el problema de que las plantas son afectadas por enfermedades causadas por bacterias, pero este problema es solucionado al utilizar las aguas de los manantiales termales naturales, los cuales contienen Boro, el cual, debe ser usado cuidadosamente, ya que tiene que ser introducido a la planta en niveles lo suficientemente altos para afectar las bacterias, pero a la vez no deberá ser letal para las plantas. El pH de los manantiales naturales es de 8.6 que deberá ser llevado con ácido sulfúrico a un pH que oscile entre 6.5 a 7, el cual se considera óptimo, en este rango de pH el Boro actúa como un bacteriostático, ayudando a prevenir las enfermedades.

A pesar de que la concentración del Boro en las aguas termales naturales es bastante elevada, los agricultores de esta zona están aprendiendo a vivir con un Boro marginal y con las condiciones de salinidad presentes para lo cual han tomado ciertas medidas como son: elevar los niveles de fertilización del terreno y regar un poco más frecuente que lo normal.

De igual manera en la región de los Himalayas se usaron estas aguas en agricultura, en donde el clima es tan extremo que no permite el cultivo al aire, sino solamente durante el verano, por lo que se ha hecho necesario realizar los cultivos en invernaderos, en los cuales tanto la calefacción del ambiente como la del suelo, es proporcionada por pozos geotermales, en esta forma se ha

logrado mantener con éxito la temperatura requerida.

Entre las variedades que fueron ensayadas y desarrolladas en el invernadero, se incluía vegetales, frutas y flores, así también rábanos, repollo, coliflor, tomates, chiles, pepino, zanahoria, clavel, petunias, etc., durante el período de experimentación se observó un alto porcentaje de germinación de todas las especies vegetales, esto hace que los experimentos de calefacción y cultivo en invernaderos sean continuadas junto con una extensa exploración geotermal, a fin de desarrollar técnicas estandarizadas y perfeccionar métodos, siendo por esto aplicados a gran escala para obtener los máximos beneficios posibles a través del uso de esta fuente natural de energía no convencional.

Los anteriores proyectos resumidos de utilización de potencial geotérmico en otros usos no eléctricos, nos muestra que en otros países se ha visto dicho potencial no solamente desde el punto de vista de generación de electricidad.

Las aplicaciones no eléctricas de un campo geotérmico, tienen por lo menos la misma magnitud que el potencial eléctrico del mismo campo, por lo que estos países no solamente han desarrollado interés, sino también han obtenido resultados satisfactorios.

Evidentemente no todos los proyectos se aplican en la forma descrita a nuestro país, sino hay que tomar en cuenta sus características propias adaptando aquellos que puedan ser aplicados, de tal

manera que se obtengan beneficios para el país, o bien, desarrollando nuevos proyectos que aprovechen el potencial geotérmico nacional.

B- POSIBLE UTILIZACION DE LOS SUBPRODUCTOS A NIVEL NACIONAL

Basándose en la importancia que tienen los usos de ciertas sales para la industria y que han sido enumerados en el Capítulo III, fue necesario hacer las investigaciones correspondientes para establecer el grado de utilización que tienen las mismas en la industria nacional; para este fin se tomó como fuente de información la Junta de Vigilancia de la Profesión Farmacéutica en donde se lleva un control de sales que son importadas para ser utilizadas como materia prima y reactivos en las diferentes industrias del país.

La lista de productos químicos que se presenta a continuación no es indicativa del consumo global de los mismos a nivel nacional; sin embargo, se detalla a manera de ejemplarización de nuestro consumo nacional. Dichas materias primas podrían ser extraídas de los fluidos geotérmicos y mediante una posterior transformación desarrollarían todo un complejo químico industrial en el país, junto con la posibilidad de exportación de dichas materias primas en bruto.

ENERO Y FEBRERO DE 1980

6,500 Kg.	Bicarbonato de Sodio
80,000 Kg.	Hipoclorito de Calcio
23,000 Kg.	Sulfuro de Sodio
816,500 Kg.	Soda Cáustica
216,000 Kg.	Carbonato de Sodio
9,100 Kg.	Potasa Cáustica
117,351 Kg.	Acido Clorhídrico
12,000 Kg.	Clorato de Potasio
9,218 Kg.	Cloro Líquido
1,000 Kg.	Bromuro de Potasio
32,000 Kg.	Carbonato de Calcio
266,621 Kg.	Sulfato de Sodio
21,500 Kg.	Acido Sulfúrico
2,110 Kg.	Tetraborato de Sodio
680 Kg.	Bromuro de Sodio
88 Kg.	Cloruro de Potasio
14 Kg.	Cloruro de Sodio
10 Kg.	Hidróxido de Potasio
10 Kg.	Bromo
3 Kg.	Hidróxido de Sodio

Productos como sílice y sal común no son indicativos ya que existe producción nacional de ambos. Sin embargo, dichos productos al ser obtenidos de los fluidos geotérmicos, serían de mejor calidad industrial.

Entre los proyectos que se considera merecen especial atención, están aquellos relacionados con la extracción de sales de potasio, por la utilidad que tienen éstas en la industria de los fertilizantes, y siendo nuestro país eminentemente agrícola, la estrategia de desarrollo por lo tanto, debe ser fundamentalmente en base al agro, lo cual sería de beneficio para la economía nacional. El proyecto de extracción de sales de potasio se lleva a cabo con mucho éxito en México, en donde se están extrayendo actualmente los dos tercios del consumo total del cloruro de potasio.

Con el objeto de determinar la gran importancia que tiene el Cloruro de Potasio en el campo de los fertilizantes, es necesario hacer un recordatorio de los requerimientos básicos de las plantas en cuanto a su necesidad de macroelementos como el potasio, fósforo, nitrógeno, considerados esenciales y cuyas cantidades presentes en el suelo, son insuficientes después de la frecuente repetición de una misma cosecha, resultando entonces menos productivo. El potasio, generalmente, es agregado al suelo en forma de cualquiera de sus sales, como sulfato, carbonato y la más comunmente usada como es el cloruro.

Los otros macroelementos necesarios para las plantas son azufre y calcio, los cuales pueden obtenerse junto con el potasio de los flúidos geotérmicos.

Otro compuesto de gran importancia y que está presente en las aguas geotermales es el Bórax el cual es empleado en diversas industrias así: Metalúrgica, agrícola, farmacéutica, química, del vidrio, etc. En la agricultura ocupa un lugar importante, ya que es utilizado para suministrar al suelo el elemento boro. En lo referente a la industria farmacéutica, los derivados del boro tienen una gran aplicación, ya que se emplea para la fabricación de dentífricos, jabones, pomadas y soluciones antisépticas.

Como se ha podido comprobar, el agua proveniente de los pozos geotérmicos es altamente mineralizada, conteniendo en solución cloruros de sodio, potasio y calcio predominantemente. Sin embargo, la concentración de sílice alcanza las 650 partes por millón en la solución, concentración que a condiciones atmosféricas, resulta ser sobresaturante (15). Esto último ocasiona que la sílice precipite, facilitando de alguna forma su separación, lo cual ha dado lugar a la realización de varios trabajos de investigación.

La importancia de este compuesto radica en que representa la materia prima en la industria del vidrio, para lo cual es necesario que la sílice esté libre de impurezas tales como hierro y magnesio, el primero le otorga al vidrio un matiz amarillo o verde que para

neutralizarlo es necesario agregar dióxido de manganeso o de selenio, arsénico, y el magnesio hace el cristal más duro e infusible.

Tradicionalmente la sílice que se utiliza en la industria del vidrio proviene de la arena. En nuestro medio, aunque existe arena en abundancia, éstas son mayormente ferruginosas y las marítimas además, salinas; por lo que su empleo en la industria del vidrio produciría costos demasiado elevados al tratar de eliminar dichas impurezas.

La sílice removida de los fluidos geotérmicos es extremadamente pura y su bajo contenido de hierro está dentro de los límites aceptables (Tabla No. 5).

En cuanto al Cloruro de Sodio que podría ser extraído, éste sería de mejor calidad industrial, ya que se encuentra libre de magnesio, lo que hace que sea más fina y pura al disminuir su higroscopicidad.

También por otra parte, podría ser utilizada en el teñido de telas sin el inconveniente que ocasiona el magnesio que al precipitar en la tela impide un acabado uniforme por lo que se necesita un tratamiento adicional para eliminarlo y obtener el acabado deseado.

C- RECUPERACION DE COMPUESTOS QUIMICOS PRESENTES EN LOS FLUIDOS GEOTERMICOS

Como se ha podido comprobar, El Salvador cuenta con un gran po-

tencial aprovechable de los compuestos químicos en mención, justificando desde todo punto de vista la instalación de un complejo químico para la extracción y utilización de los mismos.

El establecimiento de una planta extractiva de esta naturaleza requiere una fuerte inversión de capital. Analizando el caso específico del campo geotérmico Ahuachapán, si se toma en cuenta el alto costo de inversión de la canaleta, que actualmente sirve como medio de eliminación de los desechos al mar, y sumándole a éste los costos de operación que incluyen principalmente mantenimiento, depreciación e intereses, el alto costo que presupone la instalación de esta planta podría ser comparado con el costo total de la canaleta.

Es importante establecer la gran ventaja que conlleva el desarrollo de un complejo extractivo de esta índole en comparación con otro tipo de industria, así como también sobre cualquier otra forma de eliminación de los residuos, la cual básicamente consiste en que se cuenta con la materia prima, energía y diversos factores que hacen posible un complejo químico de grandes proporciones. Lo anterior en nuestro caso no generaría casi costo alguno ya que pueden ser obtenidos de la misma planta geotérmica, así: la materia prima a utilizar es la que actualmente está siendo eliminada al océano como salmuera de desecho; la energía se puede obtener en parte del vapor resultante luego del flasheo y de los pozos de baja entalpía y, por otra parte, energía eléctrica de la misma planta generadora; el agua

necesaria para los diferentes procesos puede obtenerse del condensado obtenido después de la separación de los gases no condensables; el excedente de esta agua con alto grado de pureza actualmente está siendo desechada juntamente con la salmuera. Se considera que si bien es cierto el proyecto de extracción no se ha llevado a cabo, por lo menos, es de vital importancia darle utilidad a esta agua.

Realmente los verdaderos costos de esta industria serían: mano de obra, utilización de ciertos productos químicos para el tratamiento de la salmuera como son: cloro, soda cáustica, etanolamina, etc.

Proceso Sugerido para la Extracción de Sales

Como complemento de estas consideraciones, se hace necesario mencionar un método que implique la recuperación de las sales.

El proceso de recuperación de los compuestos químicos presentes en las salmueras geotermales consta básicamente de tres etapas: la primera etapa consiste en la producción de vapor para ser utilizado en las etapas posteriores; este vapor es separado de la salmuera en una cámara de flasheo por un cambio de presión, por lo que la temperatura de la salmuera permanece constante; por otro lado es necesario la separación de la sílice de la salmuera para lo cual se necesita una disminución de su temperatura, para lograr su depositación, la salmuera exenta de sílice es nuevamente calentada para luego pasar a los siguientes tratamientos. Tanto para enfriar como para calentar

la salmuera, ésta se hace pasar a través de intercambiadores de calor.

La segunda etapa consiste en la concentración de la salmuera por medio de evaporadores hasta llegar a una concentración aproximada de 400,000 mg/l. de sólidos disueltos, o sea 20 veces mayor.

La tercera etapa consiste en la extracción de los compuestos químicos de las salmueras concentradas. La salmuera es conducida a un evaporador de triple efecto en donde es necesario que el flujo de vapor circule en contra corriente con la salmuera, de forma que la salmuera más concentrada esté a mayor temperatura y así se retiene: bórax, cloruro de potasio, cloruro de calcio y litio. El cloruro de sodio precipita con ciertas impurezas constituidas por bicarbonato, sulfatos y cierta cantidad de cloruro de potasio.

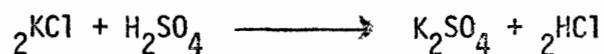
La temperatura máxima a que se puede llevar la salmuera es hasta el punto de saturación del cloruro de potasio y cristalización del cloruro de sodio; posteriormente se centrifuga a fin de obtener una mayor separación; la sal así obtenida se purifica por medio de lavados.

El licor madre pasa nuevamente a un proceso de evaporación; luego es enfriado a la temperatura de cristalización del cloruro de potasio, el cual es obtenido con restos de cloruro de sodio que han quedado como impurezas. Un método de purificación del cloruro de potasio es la recristalización. La salmuera resultante es enfriada a la temperatura de cristalización del bórax, de 27°C, el cual es

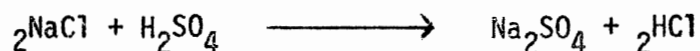
separado y recristalizado para su purificación. El licor madre que ha quedado, es llevado a la temperatura de ebullición usando vapor y cloro en contracorriente, este último se aplica con el objeto de liberar el bromo de sus sales, el cual se separa en forma líquida; el licor restante, es ácido, por lo que se neutraliza agregando soda cáustica; al enfriar esta solución, el cloruro de calcio que se encuentra presente precipita realizándose así la extracción del mismo.

El litio que ha quedado sin extraer puede ser tratado con carbonato de sodio siguiendo un proceso similar al realizado en Cerro Prieto.

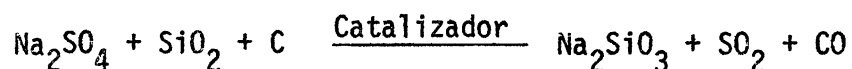
Es necesario considerar que los compuestos extraídos pueden servir para generar la producción de otros compuestos químicos derivados entre los cuales se puede citar: a) electrólisis del cloruro de sodio de donde se puede obtener cloro, soda cáustica, hipocloritos, cloratos, sodio metálico, etc.; b) obtención del sulfato de potasio, a partir del cloruro de potasio que es tratado con ácido sulfúrico.



c) Obtención de sulfato de sodio a partir del cloruro de sodio tratado con ácido sulfúrico, obteniéndose además ácido clorhídrico como un subproducto.



También puede obtenerse silicato de sodio a partir del sulfato de sodio, el cual se hace reaccionar con la sílice obtenida.



Además de la recuperación de los diversos compuestos disueltos en los fluidos geotérmicos, es importante considerar la obtención de azufre a partir del sulfuro de hidrógeno (H_2S) que está presente en los gases no condensables en una proporción del 99% junto con el CO_2 . El H_2S puede ser removido de la mezcla de gases al ser tratado con etanolamina seguido de calentamiento, obteniéndose al final un azufre de alta pureza. Así como en los casos anteriores, el azufre sirve también como materia prima para la obtención de algunos de sus compuestos derivados como es el ácido sulfúrico, necesarios para la obtención de derivados adicionales.

El bosquejo expresado anteriormente, se considera que es uno de los caminos más adecuados para la recuperación de las sales, para el cual se ha tomado en cuenta los proyectos realizados actualmente en otros países, es de reconocer, sin embargo, que para poner en práctica un proyecto de esta naturaleza, es imprescindible realizar una serie de profundos estudios tanto a nivel teórico como práctico a fin de poder normalizar cada etapa del proceso, logrando en esta forma resultados satisfactorios, no obstante, se considera que la realización del mismo no está fuera de las posibilidades existentes en nuestro medio, y si bien no se ha llevado a cabo, no puede decirse que ha sido por falta de recursos tanto materiales como huma-

nos, sino más bien, por la falta de interés hacia aplicaciones diferentes a la generación de electricidad, en la explotación de un campo geotérmico.

T A B L A No. 8PROBABLE ASOCIACION IONICA EN LA SALMUERA GEOTERMALCAMPO AHUACHAPAN

<u>Compuesto</u>	<u>ppm</u>
Cl Na	15017.2
Cl K	2001.5
Cl ₂ Ca	1210.0
Na ₂ B ₄ O ₇	780.5
Cl Li	118.8
Cl Cs	4.6
Cl ₂ Sr	5.5
Cl Rb	10.3
Si O ₂	650.0
Fluoruros alcalinos (FNa, FK, FLi)	3.5
Sulfatos alcalinos (Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺⁺)	45.2
Bicarbonatos alcalinos	45.2
Bromuros (Na ⁺ , K ⁺)	62.4
Yoduros (Na ⁺ , K ⁺)	10.2
Arsénico (posiblemente en forma de arseniato alcalino)	20.4 *

* Equivalente a 10.5 ppm de Arsénico metálico.

CALCULO DE LAS TONELADAS METRICAS DE SALES DISUELTAS EN LOS
FLUIDOS GEOTERMICOS EN UN PERIDO DETERMINADO DE TIEMPO

El caudal en base al cual se han efectuado los cálculos para determinar la cantidad de los compuestos químicos presentes en un mes, es de 306 l/seg. Investigaciones sobre el particular indican que el caudal gira alrededor de los 900 l/seg.

Para la extracción de las sales disueltas se considerará un caudal de 400 a 450 l/seg., ya que sugerimos que se considere la reinyección parcial de la misma, dándose así una atractiva posibilidad de recarga térmica e hidráulica del acuífero, ya sea por reinyección directa del agua residual sin tratamiento previo, la cual lógicamente se encuentra a alta temperatura, o bien, considerar la reinyección del agua residual después de la recuperación de sílice aunque esta agua se encuentre a baja temperatura.

$$\begin{aligned}\text{Caudal 1/año} &= 450 \text{ l/seg} \times 3,600 \text{ seg/h} \times 24 \text{ h/día} \times 345^* \text{ días/año} \\ &= 13.41 \times 10^9 \text{ l/año}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total de Sales presentes en} \\ \text{las aguas} &= 13.41 \times 10^9 \text{ l/año} \times 20 \text{ g/l} \times 10^{-6} \text{ Tm/g} \\ &= 268,272 \times 10^3 \text{ Tm/año} \\ &= 268,272 \text{ Tm/año}\end{aligned}$$

Tomando como base los datos de concentración expresados en las tablas 1 y 8, se hace a continuación un detalle de producción de los compues-

* Tiempo promedio de trabajo en el complejo químico

** Cantidad de sólidos disueltos, determinados por gravimetría.

tos a ser extraídos según el proceso de recuperación sugerido en el presente capítulo.

<u>Compuesto</u>	<u>Cantidad (Tm/año)</u>
Sílice	8,716
Arsénico metálico	141
Cloruro de Sodio	201,378
Cloruro de Potasio	26,840
Bórax	10,466
Bromo	603
Cloruro de Calcio	16,226
Litio metálico	<u>272</u>
	264,642 Tm/año

El dato anterior es una aproximación de la cantidad de sales que pueden ser extraídas de acuerdo al proceso de recuperación sugerido, sin embargo, debe tomarse en cuenta que en todo proceso de extracción no se obtiene un 100% de eficiencia, por lo que cierto porcentaje de compuestos químicos quedaría como remanente en la salmuera; en nuestro caso el agua con este porcentaje de sales no removidas puede ser utilizada como agua de riego.

D- ANALISIS DE IMPORTACION DE MATERIAS PRIMAS POR LA INDUSTRIA DE EL SALVADOR

LISTA DE PRECIOS DE LAS SALES EN PLAZA

<u>Compuestos</u>	<u>Kilogramos</u>
Bromuro de Sodio	¢ 15.00
Bromuro de Potasio	15.00
Cloruro de Potasio	40.50
Cloruro de Calcio	4.25
Cloruro de Sodio (industrial)	0.58
Carbonato de Sodio	1.46
Carbonato Acido de Sodio	3.00
Sulfato de Potasio	49.50
Acido Bórico	5.50
Bórax (en polvo)	5.50
Sulfato de Sodio	1.50

Los precios anteriores son a manera de referencia aunque naturalmente no pueden ser considerados como base en cantidades a granel, ni pueden ser tomados como precios de importación, ya que los precios de venta en plaza incluyen los costos de operación e impuestos de importación (necesarios de pagar cuando se importan productos químicos

para su reventa), junto con un margen de ganancia a veces excesivo en la comercialización interna de esos productos.

Como ejemplos demostrativos lo.) Los bromuros de sodio y potasio tienen un precio similar en plaza, cuando se sabe que las sales sódicas son siempre más baratas que sus correspondiente potásicas. 2o.) El precio del ácido bórico y el bórax en plaza es equivalente, a pesar que el precio CIF de ambos es US\$950 y US\$450 Tm respectivamente, esto es el bórax tiene un costo de menos de la mitad del ácido bórico. 3o.) El Bicarbonato de sodio y el carbonato de sodio tienen un precio CIF de importación de US\$370 y US\$300 la Tm. Los impuestos de importación específicos son de US\$0.01 Kg/bruto en ambos casos y el ad-valorem 15% y 10%, respectivamente. Un costo aproximado de dichos productos incluyendo el 30% de recargo del protocolo de San José y gastos de registro, gabarraje y almacenaje, nos dan costos por venta al detalle de ₡1.20 y ₡0.90, respectivamente. El precio en plaza es más del doble y esto puede considerarse general en todos los productos químicos de venta en plaza.

Los volúmenes de ventas pequeños pueden ser un atenuante en el sentido de los costos de operación elevados (?i).

En el caso de importación directa para uso industrial, la mayoría de empresas tienen incentivos fiscales que los exoneran de los impuestos de importación, toda vez que no haya producción centroamericana.

No existe una información adecuada en plaza para los precios de importación actualizados.

Las estadísticas de consumo nacional y centroamericano realizadas según el NAUCA (Nomenclatura Arancelaria Uniforme Centroamericana) son obsoletos e inadecuados. Como ejemplos: la clasificación 511091000 corresponde a carburo de calcio y en la 511091100 se incluye todo el resto de sales de calcio (excepto insecticidas y abonos) sin ninguna diferenciación.

El Carbonato de Potasio tiene su propia clasificación (51102501) y el ClK que es muy importante se incluye con todo el resto de sales de potasio.

En el rubro sílice (511010801) se encuentra toda clase de sílice sin diferenciación, incluyéndose sílice de \$14 el Kilogramo, proveniente de Canadá y sílice general de México de \$0.56 Kg. (ver clases de sílice en lista de proveedores).

Es imposible utilizando el NAUCA y los anuarios estadísticos de El Salvador y Centro América, tener una idea de precios y consumo detallado.

Ejemplos más clásicos sobre lo obsoleto del NAUCA se encuentran a caudales. De allí pues es valedera la observación de que la reforma del NAUCA es indispensable. (ASINQUI, Análisis Política y Planificación Tecnológica dentro de una Estrategia General de Desarrollo en El Salvador, Tercer Simposio de Ingeniería U.C.A.)

Los obstáculos son típicos de nuestro sub-desarrollo y hemos optado por detallar a continuación una serie de fábricas de los Estados Unidos, donde se pueden pedir información detallada de precios y obtener volumen posible de ventas del complejo.

Lista de Proveedores

Como ejemplos:

- 1- Bromine, Purified - Br_2 - Liquid dark-red
Dow Chemical, USA
Midland, Michigan 48640
Phone: (517) 636-1000
- 2- Calcium Chloride Ca Cl_2 77 - 80%
Dow Chemical, USA
Blanco, escamas
Midland, Michigan, 48640
Phone: (517) 636-1000
- 3- Potassium Bromide - KBr - sin color o en gránulos blancos
Dow Chemical, USA
Midland, Michigan 48640
Phone: (517) 636-1000
- 4- Sodium Bromide - Na Br - blanco, gránulos o en polvo
Dow Chemical, USA
Midland, Michigan 48640
Phone: (517) 636-1000

- 5- Potassium Chloride
Ashland Chemical Co. or Potash Co. of America
Div. Ideal Basic Industries
- 6- Borax and Boric Acid
 - Ashland Chemical Co.
Ind'l Chems and Solvents Div.
 - US Borax and Chemical Corp.
- 7- Sodium Chloride
 - Ashland Chemical Co.
 - United Mineral and Chemical Corp.
 - Western Salt Co.
- 8- Silica (General; Amorphous; Colloidal; Gel; Hydrated and micron-size)
 - International Mineral and Chemical Corp. Industrial Mineral Div.
 - Union Carbide Corp. Metals Division 6.
 - Eagle - Picher Inds. Inc. 6

Dado el gran volumen de producción industrial susceptible de obtenerse de los fluidos geotérmicos, es necesario realizar una comercialización internacional y/o una industrialización local.

La comercialización local mayormente beneficiosa por unidad de peso de producto vendido, pero naturalmente el consumo es totalmente insuficiente.

La comercialización local, se ve favorecida porque se obtendría un costo menor que el precio CIF del producto, el cual incluye el costo internacional más los costos internos y seguro marítimo sumándole además los impuestos de importación que serían automáticos.

También como materia prima fabril, aunque el industrial pierda los incentivos fiscales (aunque la mayoría de productos químicos son de por sí bastante reducidos) al haber producción centroamericana de la materia prima en cantidad y calidad suficiente.

Esta comercialización debería completarse con la venta en el mercado internacional y/o desarrollo industrial complementario. Fácilmente podría desarrollarse un complejo químico industrial produciendo entre otros: Hidróxido de Sodio (Importación El Salvador 1977 \$3,093.477); Carbonato de Sodio (Importación El Salvador 1977 \$575,222); Sulfato de Sodio (Importación El Salvador 1977 \$347,011); etc. susceptibles también de ser vendidos en el Mercado Común Centroamericano (M.C.C.A.) con protección arancelaria y ventajas de costo de flete por distancias menores.

En cuanto a la comercialización internacional, hay más dificultades en el sentido que el precio CIF ofrecido por producción nacional debería ser competitivo con el precio FOB del producto internacionalmente. Sin embargo, esto no es obstáculo, ya que como se explica en este trabajo la materia prima básica serían desperdicios con valor negativo, esto es basura sin valor alguno más los costos de eliminación.

E- ANALISIS DE LAS LEYES DE FOMENTO INDUSTRIAL, TERMINOS ECONOMICOS Y RECOMENDACIONES

A fin de dar una idea general de la influencia de las Leyes de Fomento Industrial vigentes, actualmente llamadas Reglamento al Convenio Centroamericano de Incentivos Fiscales al Desarrollo Industrial (REIFALDI), sobre la industria nacional, se citan a continuación algunas definiciones de importancia para la comprensión de este punto.

a) INDUSTRIA: Es el conjunto de plantas manufactureras que elaboran productos de idénticas o similares características técnicas o cuyo uso final sea idéntico o similar.

b) INDUSTRIA MANUFACTURERA: Es aquella actividad económica que se dedica a la transformación mecánica, física o química de materias primas, productos semielaborados o artículos terminados.

c) GASTO TOTAL ANUAL EN DIVISAS: Es el promedio anual del valor de los bienes (excepto maquinaria y equipo) y de los servicios tales como regalías, intereses, dividendos y los demás que figuran en el manual de balanza de pagos del Fondo Monetario Internacional, adquiridos fuera del país para la producción de la empresa.

d) BENEFICIO NETO EN LA BALANZA DE PAGOS: Se entenderá que hay beneficio neto en la balanza de pagos:

En proyectos que se van a dedicar únicamente a sustituir importaciones, provenientes de cualquier país, cuando el valor CIF anual de las importaciones que se pretende sustituir es mayor que el gasto

total en divisas.

e) MATERIAS PRIMAS INDUSTRIALES: Bienes producidos por la industria manufacturera que han sido elaborados con materiales en sus fases primarias, modificando su forma o naturaleza e incorporándoles una alta proporción de valor agregado y que son destinados a ser utilizados en procesos industriales posteriores.

f) BIENES DE CAPITAL: Son los utilizados para elaborar o transformar otros productos, o para prestar un servicio de carácter productivo, que no se consumen en un solo ciclo de producción.

Los beneficios otorgados por el convenio ofrecen grandes ventajas como es la exención total durante 10 años para material y equipo, exoneración total sobre impuesto de renta y vialidad por el mismo período, tanto a la empresa como a los socios y de un 80% para las materias primas.

Todo esto, desde el punto de vista de un industrial, representa una magnífica oportunidad que no puede ser desaprovechada, lo que hace que éste busque el camino más corto y de menor inversión, perdiéndose así el incentivo para la instalación de una industria extractiva, o de una industria que ocupe el proceso completo de fabricación. De esa forma, el industrial escoge el camino más corto. Una industria de relativa poca inversión que generalmente sólo desarrolla las etapas finales, consigue todos los beneficios ¿Para qué desarrollar tecnología y producir y transformar materias primas

nacionales? ¿Para qué utilizar la síntesis química, si puede comprarse el producto intermedio del extranjero libre de impuestos?

El Salvador, país que cuenta con escasos recursos naturales, pero a la vez potencialmente explotables, como es el caso de la Energía Geotérmica existente, la cual es una fuente de sales minerales que podrían ser extraídas y aprovechadas en la industria, necesita de leyes con una visión más amplia en lo que se refiere a beneficiar primariamente a la industria extractiva nacional que aproveche al máximo los recursos existentes o bien, a aquellas industrias que se ubiquen al menos en algunos de los siguientes campos:

- a- Utilización de un gran porcentaje de mano de obra
- b- Utilización de materias primas en gran cantidad
- c- Utilización de tecnología propia
- d- Utilización de un proceso completo de fabricación con beneficio positivo en la balanza de pagos.

Lo anterior demuestra que para lograr un desarrollo de la industria extractiva o bien de industrias beneficiosas para el país, se debe contar con una legislación especial de tipo proteccionista a fin de incentivar a la creación de esta clase de industria; eliminando los subsidios a aquellas industrias que aún siendo "nuevas" no benefician al país.

Es importante además tomar en cuenta, los valores intangibles adicionales que un proyecto produce, como son: generación de empleo

aprovechamiento nacional de recursos, ahorro de divisas, mayor desarrollo tecnológico e industrial, mayor autosuficiencia y en el caso específico del recurso geotérmico, además de los mencionados anteriormente, una disminución de la contaminación y del daño ecológico ocasionado.

BENEFICIOS QUE OTORGA EL CONVENIO CENTROAMERICANO DE
INCENTIVOS FISCALES AL DESARROLLO INDUSTRIAL

CLASIFICACION	MATERIALES Y EQUIPOS	MATERIAS PRIMAS ENVASES, PRODUCTOS SEMI-ELABORADOS	COMBUSTIBLES PARA USO INDUSTRIAL	RENTA Y UTILIDADES	ACTIVO Y PATRIMONIOS
"A" NUEVA	Exención total durante 10 años, de derechos de aduana y demás gravámenes	80% durante los primeros 5 años y 50% durante los 5 años siguientes	Exención total durante 5 años	Exención total durante 8 años	Exención total durante 10 años
"A" EXISTENTE	Exención total durante 6 años	Empresas clasificadas, beneficios iguales a las primeras establecidas	Empresas clasificadas, beneficios iguales a las primeras establecidas	Exención total durante 2 años	Exención total durante 4 años
"B" NUEVA	Exención total durante 8 años	80% durante los 3 primeros años y 50% durante los 2 años siguientes	100% durante los 3 primeros y 50% durante los 2 años siguientes	Exención total durante 6 años	Exención total durante 6 años
"B" EXISTENTE	Exención total durante 5 años	Empresas clasificadas, beneficios iguales a las primeras establecidas	Empresas clasificadas, beneficios iguales a las primeras establecidas		
"C"	Exención total durante 3 años	Puede equipararse para materias primas			

C O N C L U S I O N E S

- Es fundamental tratar la sílice por lo menos en piletas de transformación, con el objeto de eliminar sustancialmente las incrustaciones.
- El agua salina desechada que contiene elevadas concentraciones de boro y arsénico, no puede ser eliminada a la superficie sin causar problemas ecológicos, sobre todo, en áreas pobladas y de un alto grado de utilización agrícola.
- La descarga a los ríos de agua geotérmica cuando los caudales son lo suficientemente elevados, se considera una alternativa aceptable, aunque no la solución definitiva, para diluir los contaminantes a concentraciones menores que los patrones establecidos.
- Los métodos físico-químicos empleados en los análisis son los más adecuados para la determinación de los elementos disueltos en los fluidos geotérmicos, ya que son métodos rápidos, fáciles y con un margen de error pequeño.
- La cantidad de magnesio encontrada en las aguas geotermales es tan pequeña que confirma el origen meteórico de las mismas, ya que a diferencia del agua de mar ésta contiene elevadas concentraciones de este elemento.
- Según normas de calidad dadas por la O.M.S (Tabla 3) estas aguas no son aptas para el consumo humano y animal por su elevado contenido químico.

- La sílice obtenida de las aguas residuales es pura, lo que la hace apta para ser usada en la fabricación de cemento de buena calidad y para la fabricación de vidrio, sin necesidad de ningún tratamiento previo.

- En cuanto al Boro debe considerarse su toxicidad para los cultivos, sobre todo en posibles desbordes de la canaleta.

- Dado el gran volumen de sales que pueden ser extraídas, debe considerarse:

- a) Venta en plaza o comercialización interna
- b) Comercio exterior a precios internacionales
- c) Industrialización

Es importante también considerar que una industria que transforma los compuestos químicos extraídos aumentaría por lo tanto el número de productos a ser comercializados.

- Aunque la cantidad de Cloruro de Sodio presente en el mar sea mayor que la cantidad presente en las salmueras geotermales, la extracción de sal proveniente de estas últimas presenta las siguientes ventajas:

- a) Es uno de los productos de obtención
- b) La sal recuperada es básicamente pura, con mejor calidad que la marítima y podría usarse en procesos industriales.
- c) Fácilmente podría industrializarse la sal por electrólisis.
- d) Pero sobre todo, el agua que la contiene ya está caliente y

se puede extraer la sal sin utilización de energía adicional, empleando el vapor residual.

- Es importante considerar que el potencial no eléctrico de los fluidos geotérmicos tiene igual o mayor valor que el potencial eléctrico, lo cual ha sido confirmado por otras naciones que han desarrollado dicho recurso.

- La energía necesaria para el proceso de recuperación de las sales puede ser obtenida tanto de los pozos de baja entalpía que no se utilizan para la obtención de energía eléctrica como también del vapor que resulta en el proceso de flasheo.

- De acuerdo al estudio económico realizado, se considera que actualmente la cantidad de divisas que se pierden al desechar las aguas residuales al océano gira alrededor de los \$150 Millones de Colones como mínimo, al año; ésto tomando en cuenta los precios vigentes.

- El método de evaporación solar de la salmuera utilizando enormes piletas de evaporación, no puede ser usado en nuestro medio, ya que para su construcción se necesitan grandes cantidades de terreno (aprox. 1,500 - 2,000 manzanas) que no podrían ser aprovechadas para procesos de cultivo; y siendo nuestro país eminentemente agrícola no puede darse ese lujo, máxime su estrechez territorial.

- Tomando en cuenta los diversos aspectos considerados en el presente trabajo, puede concluirse que la solución más adecuada tanto

para la eliminación de los desechos geotermales como para el mejor aprovechamiento de los mismos, es la extracción de los compuestos químicos presentes en las aguas residuales.

- Para poner en práctica cualquier proyecto de extracción de los compuestos químicos, es imprescindible realizar una serie de profundos estudios tanto a nivel teórico como práctico, a fin de poder normalizar cada etapa del proceso, logrando en esta forma resultados satisfactorios, no obstante se considera que la realización del mismo no está fuera de las posibilidades existentes en nuestro medio, y si bien no se ha llevado a cabo, no puede decirse que ha sido por falta de recursos tanto materiales como humanos, sino más bien por falta de interés hacia aplicaciones diferentes a la generación de electricidad en la explotación de un campo geotérmico.

RECOMENDACIONES

- Para resolver el grave problema del campo Ahuachapán y tener en las manos anticipadamente la solución para el desarrollo de otras zonas geotermales del país, en cuanto a ¿qué hacer con las aguas residuales?, recomendamos como solución, realizar el procesamiento industrial de los residuos, lo cual representa la alternativa de mayor importancia ya que constituye un aporte importante a la independencia económica nacional, así como también la reinyección parcial (previo estudio de su porcentaje y localización).

- Se recomienda la adopción de medidas drásticas en cuanto a contaminación de aguas, necesitándose un cambio de mentalidad y el establecimiento de una legislación adecuada, para considerar como contaminantes no sólo las aguas negras, sino también otros que incluso pueden ser más contaminantes, tales como los beneficios de maguey, kenaf, café, pesticidas y fluidos geotermales.

- Para prevenir problemas serios en el futuro a causa de la contaminación producida por la descarga de los desechos geotermales al océano y al Río Paz, especialmente en lo que se refiere al arsénico y al boro, se sugiere la necesidad de realizar las investigaciones y estudios necesarios a fin de encontrar los métodos adecuados para la eliminación de estos tóxicos, lo cual por su extensión e importancia consideramos que sería un trabajo de tesis muy importante.

- En cuanto al arsénico, que por todo lo dicho acerca de él es necesario eliminar de las aguas geotermales, se recomienda probar el método floculación estudiado por el Doctor Robert Kuning de la Rohm and Hass Company que ha dado los mejores resultados en la eliminación del tóxico.

- En lo que a la eliminación del boro se refiere en base a los buenos resultados obtenidos en tratamientos de aguas, utilizando el método de intercambio iónico, se recomienda ensayar este método en las aguas residuales geotermales en el caso que no se realice un proceso completo de recuperación de los químicos.

- Se recomienda que por lo menos se reduzca el contenido de químicos presentes en las aguas residuales al mínimo para que puedan ser eliminados a los ríos sin causar serios problemas de contaminación.

- Para el desarrollo de nuevas fuentes de energía en el país, deberá darse énfasis al recurso hidroeléctrico y geotérmico, a esto puede agregarse un análisis de la plataforma marina para investigar la presencia de hidrocarburos.

- La reinyección de los fluidos geotérmicos en cualquiera de sus posibilidades debería ser determinada antes de la instalación de cualquier planta geotérmica, de esta forma el volumen del canal de descarga, si este fuera necesario, se reduciría drásticamente.

- El agua que sale del condensado de los vapores tiene un alto grado de pureza, por lo que debería de buscársele su mejor aprovechamiento y no ser desechada junto con el agua contaminada.

- Formar un organismo estatal general que se encargue de los análisis de la contaminación generada por las industrias, dicho organismo deberá ser independiente de las empresas involucradas.

- Establecer normas de control de la calidad y de la contaminación, las cuales deberán ser adaptadas a nuestro medio de acuerdo a las condiciones del país.

- Sería conveniente hacer un estudio adicional de Rubidio, Cesio y Estroncio, ya que son elementos raros y con alto costo en el mercado internacional.

- Siendo nuestro país eminentemente agrícola, debe desarrollarse la agroindustria utilizando los recursos existentes así como también explotación de nuevos recursos para el caso, la extracción de Cloruro de potasio que es básico para el suelo.

- Para la obtención de un buen abono son necesarios nitrógeno, fósforo, potasio, seguido de azufre y calcio, los tres últimos se pueden extraer de las aguas geotermales; el nitrógeno que se encuentra en los residuos orgánicos, y sobre el fósforo debe de hacerse un estudio sobre sus fuentes de obtención.

- En la realización de cualquier proyecto, deberá tomarse en cuenta no sólo los beneficios materiales (factor económico), sino

también los valores intangibles adicionales que todo proyecto genera.

- De acuerdo a las investigaciones realizadas hay que considerar que los precios en el mercado de los productos son altos por lo que sería conveniente que el Estado controle los precios como la calidad de los productos.

- Crear un complejo químico industrial que extraiga y utilice los residuos que hasta hoy son desperdiciados.

- Hacer un estudio exhaustivo para reformar las leyes de Incentivos Fiscales, las cuales deberán estar dirigidas a la protección y beneficio de empresas extractivas y a aquellas que se ubiquen en algunos de los siguientes campos:

- a- Utilización de un gran porcentaje de mano de obra
- b- Utilización de un proceso completo de fabricación, con beneficio positivo en la balanza de pagos.
- c- Utilización de materias primas en gran cantidad.
- d- Utilización de técnicas propias

- Es necesario que el NAUCA sea adaptado a las necesidades del país; por la dificultad que se tiene de obtener toda la información necesaria de él y la aplicación del mismo.

APENDICES

APENDICE "A"

RIO LEMPA

LONGITUD 350 km.

CUENCA HIDROLOGICA TOT. 16,200 km²

DRENA AFR. 80% DE EL SALVADOR

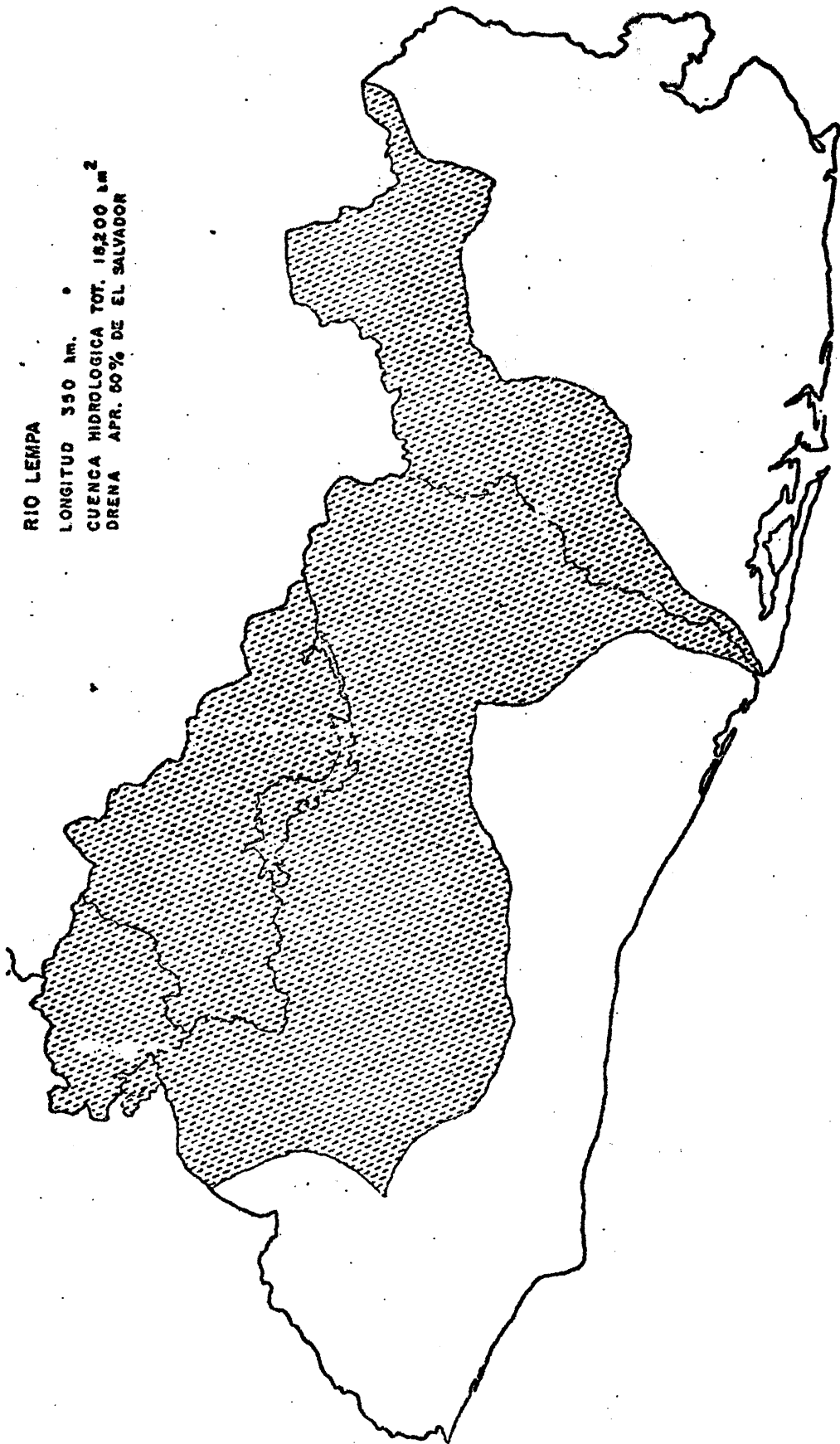
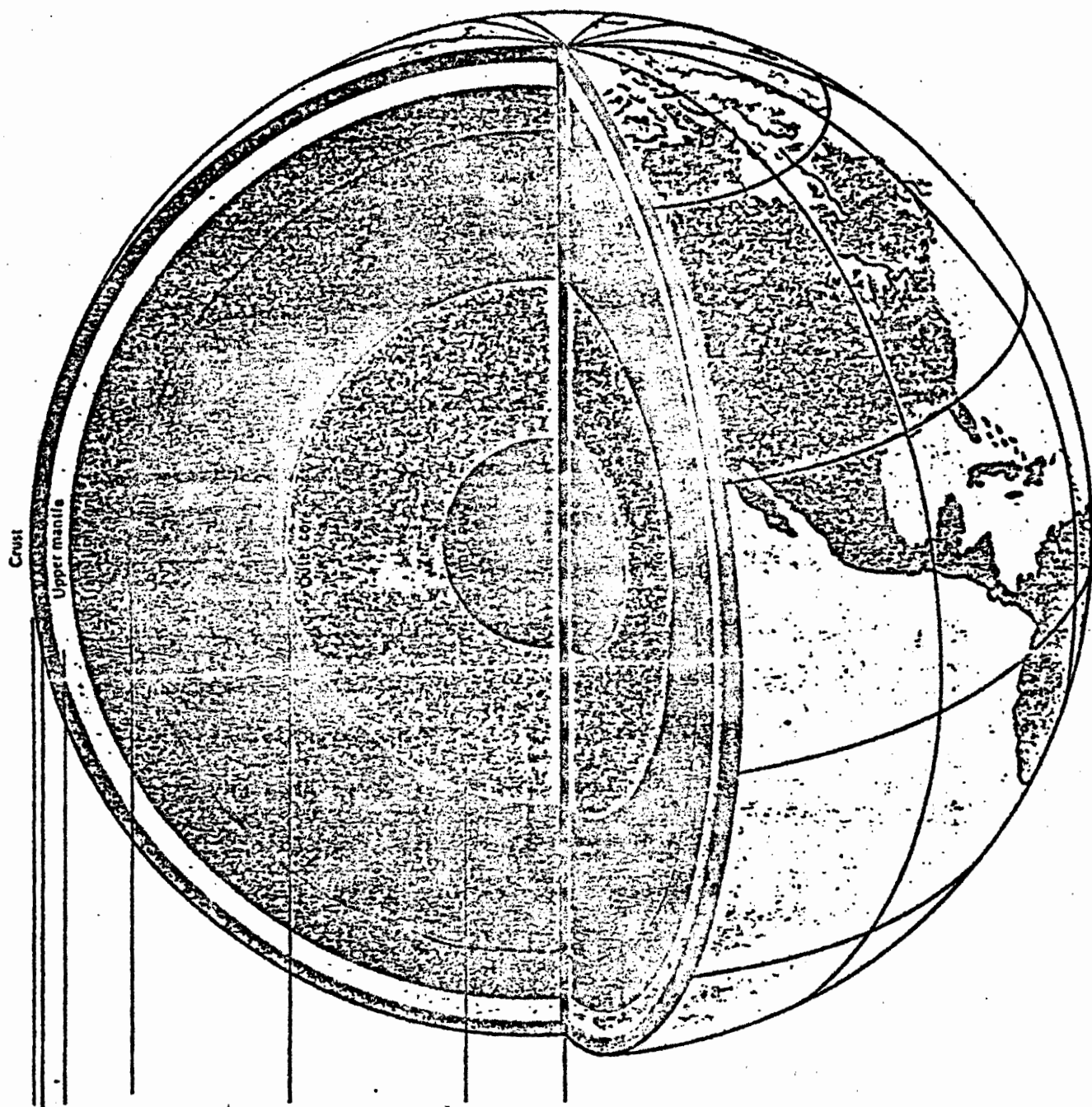
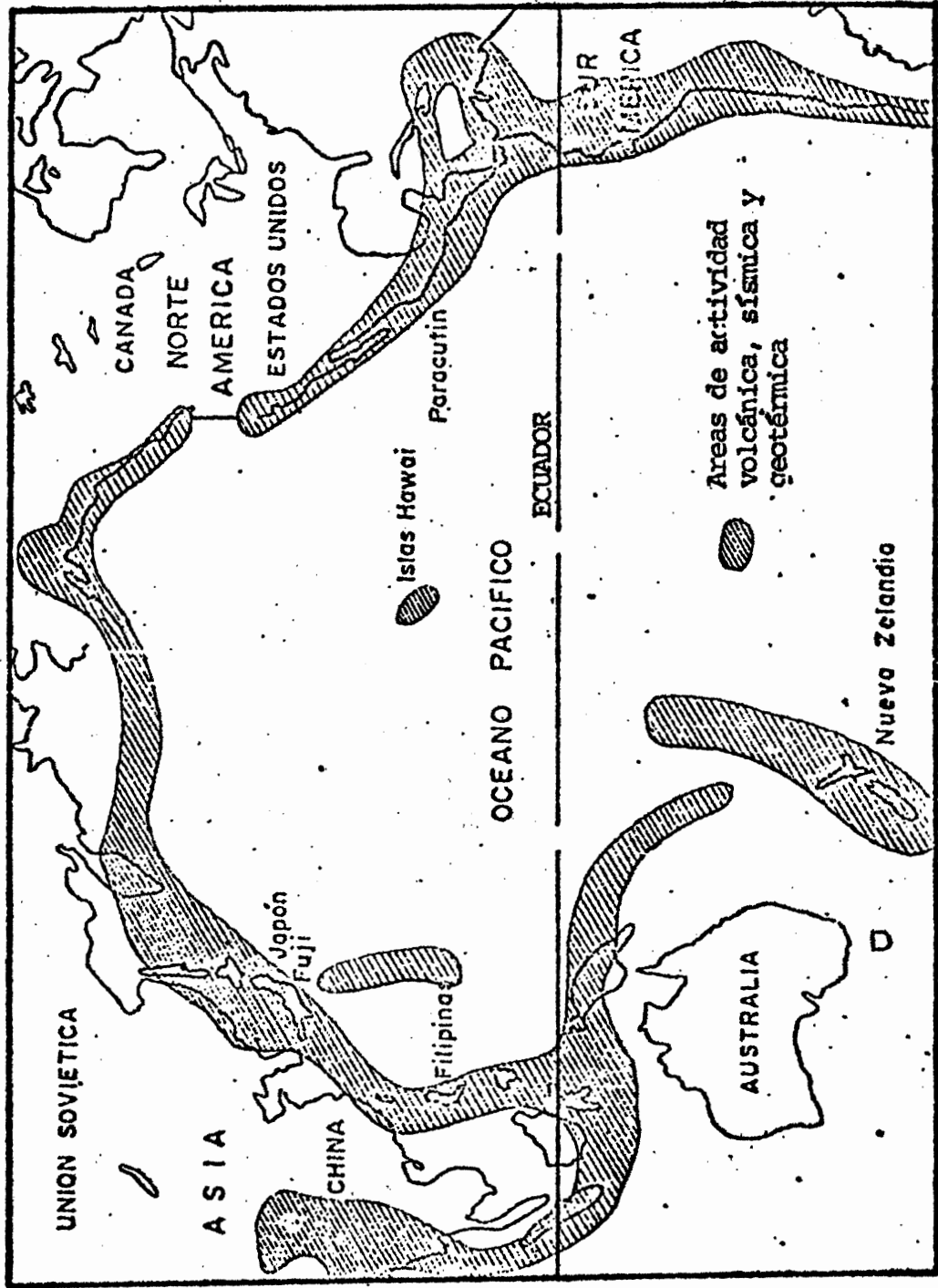


Fig. 1



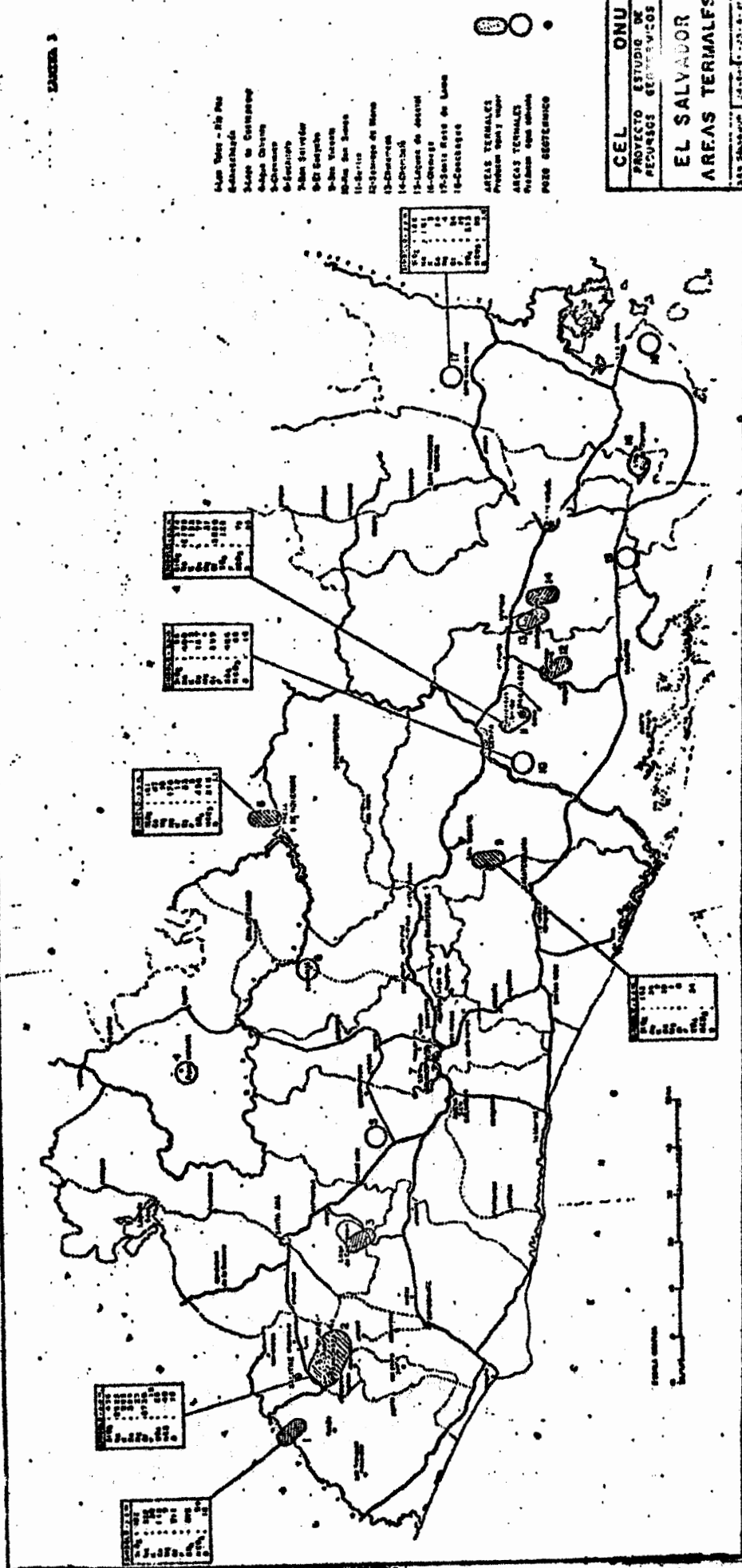
REGIONES DEL INTERIOR DE LA TIERRA

Fig. 2



CIRCULO DE FUEGO DEL PACIFICO

Fig. 3



- 1-Area Termales
- 2-Area Termales
- 3-Area Termales
- 4-Area Termales
- 5-Area Termales
- 6-Area Termales
- 7-Area Termales
- 8-Area Termales
- 9-Area Termales
- 10-Area Termales
- 11-Area Termales
- 12-Area Termales
- 13-Area Termales
- 14-Area Termales
- 15-Area Termales
- 16-Area Termales
- 17-Area Termales
- 18-Area Termales
- 19-Area Termales
- 20-Area Termales

AREAS TERMALES
 Paises que no son
 AREAS TERMALES
 Paises que son
 POZO GEOTERMICO

CEL ONU
 PROYECTO ESTUDIO DE
 RECURSOS GEOTERMICOS
 EL SALVADOR
 AREAS TERMALES

Fig. 4

SIMBOL OS

□ Campos en explotación

▣ Area en estudio

○ REGIONES TERMALES DE BAJA TEMPERATURA

△ REGIONES TERMALES DE ALTA TEMPERATURA

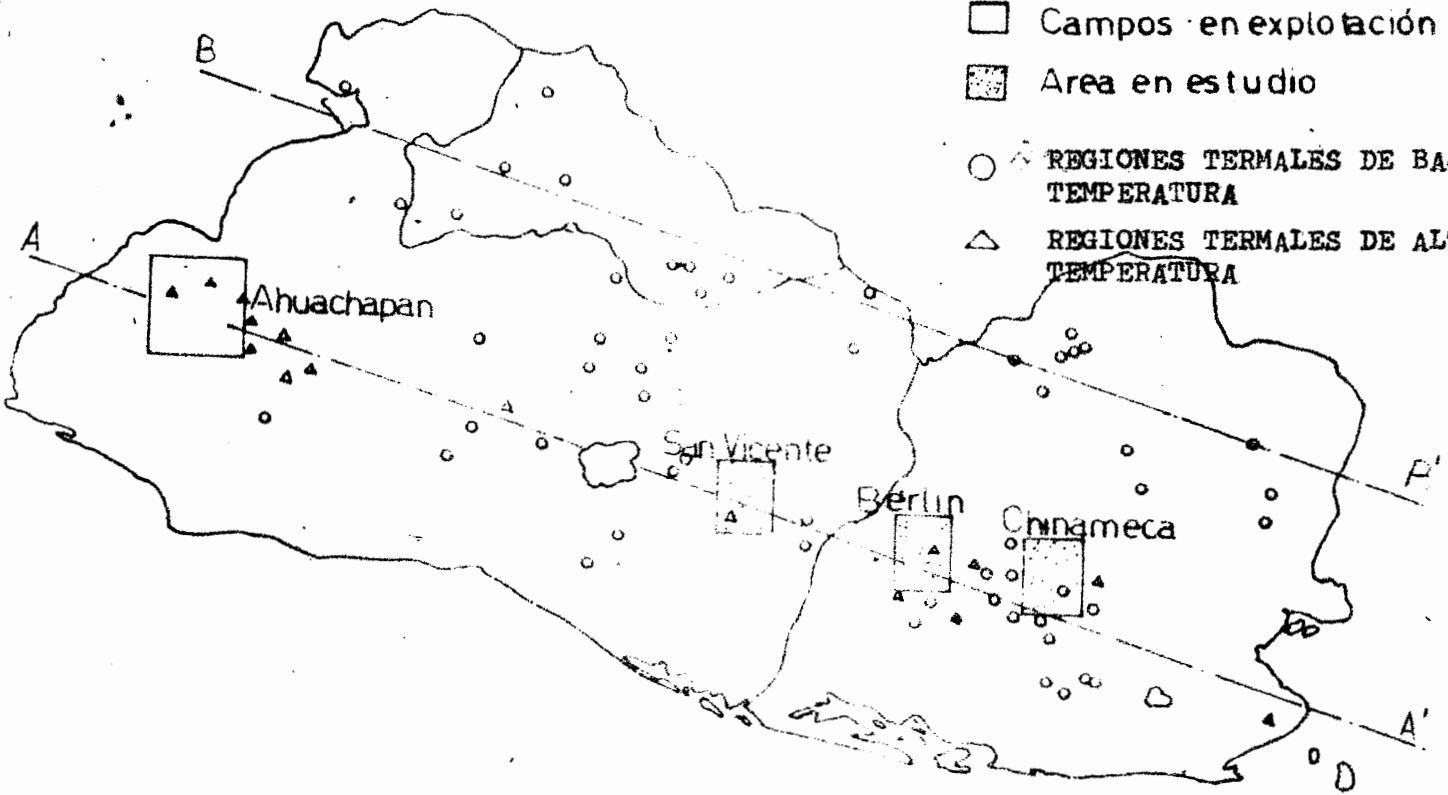


Fig. 5

MODELO DE CAMPO GEOTERMICO AHUACHAPAN

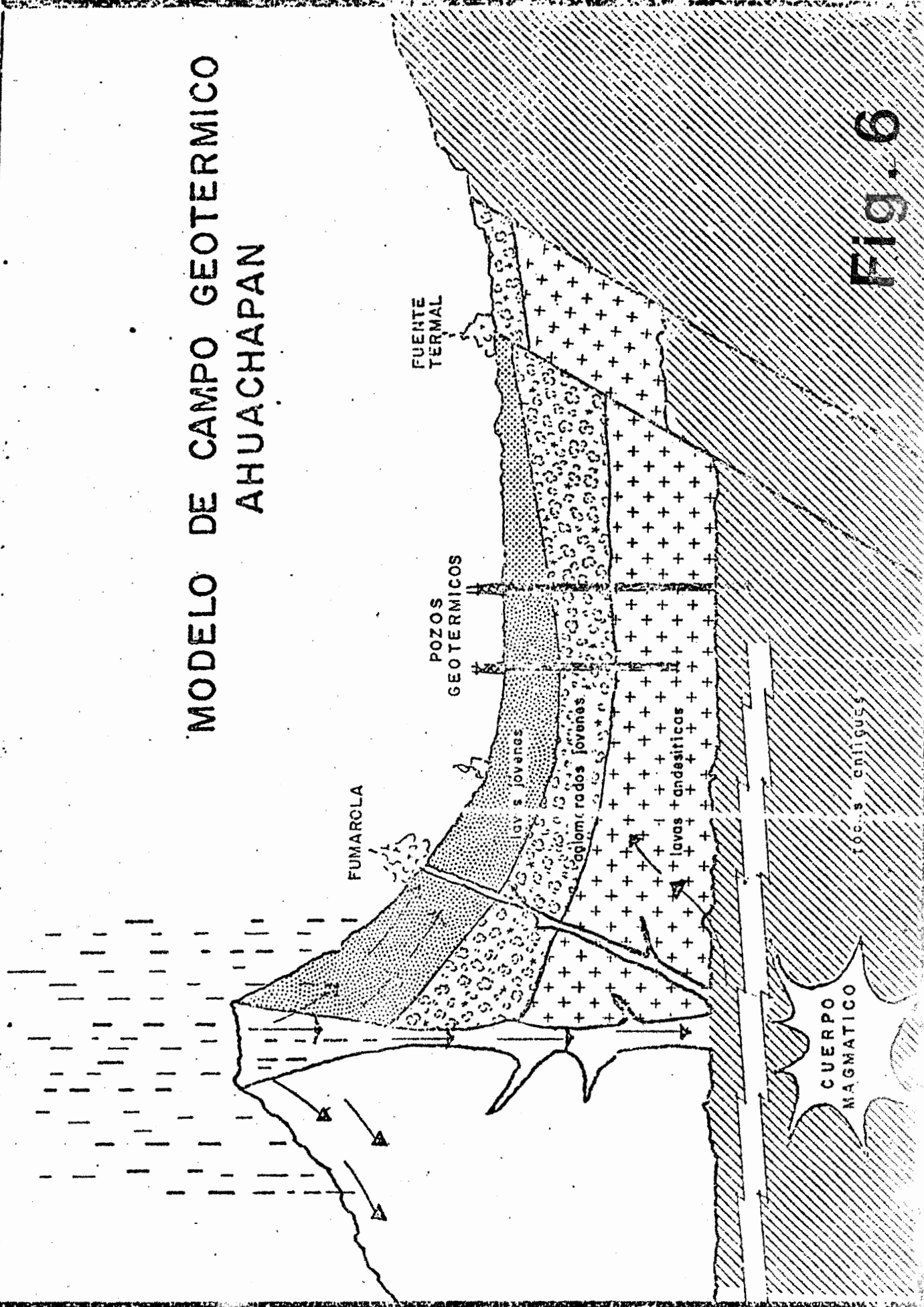
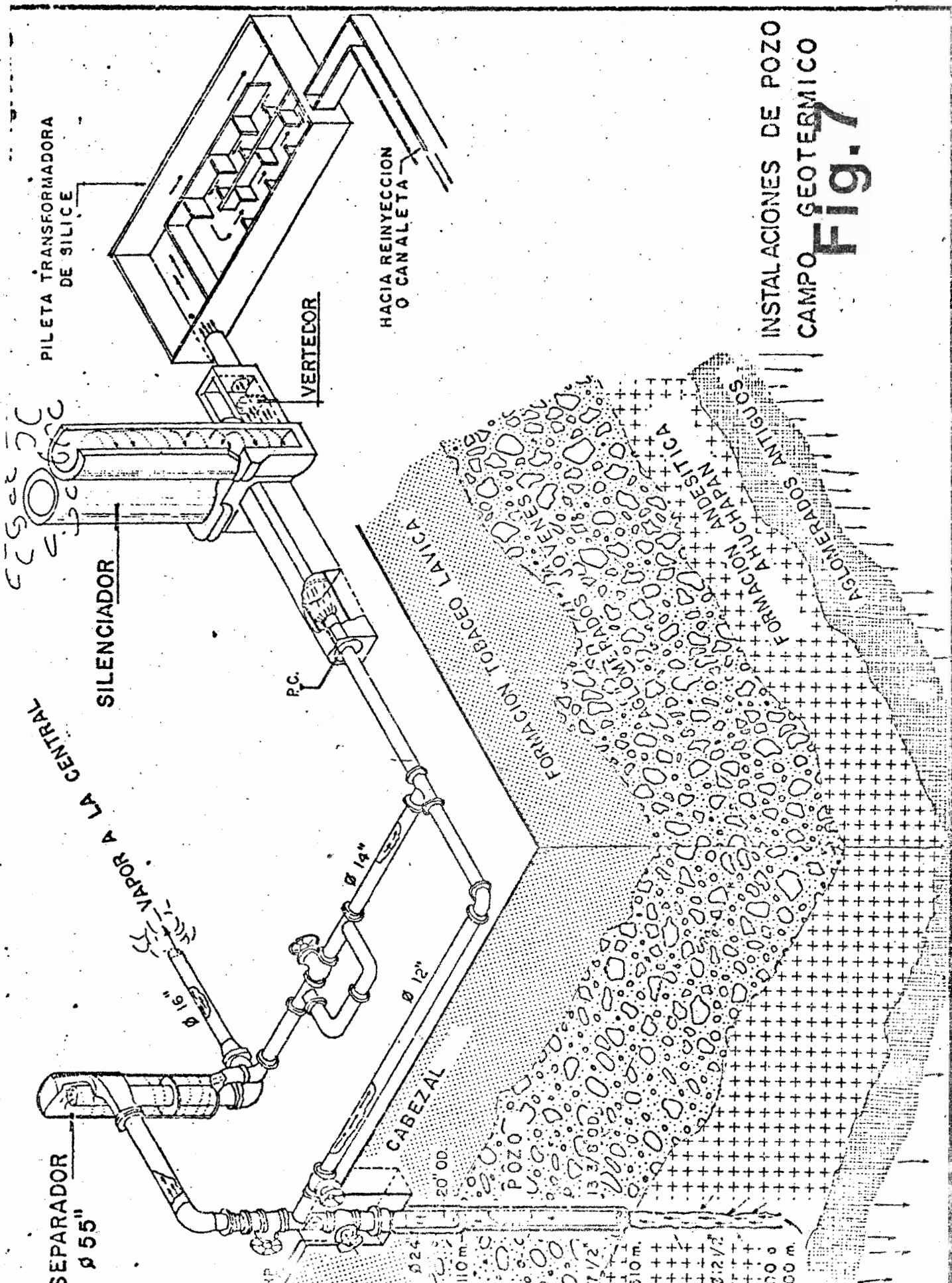


Fig. 6



INSTALACIONES DE POZO
CAMPO GEOTERMICO
Fig. 7

SEPARADOR
ø 55"

VAPOR A LA CENTRAL

SILENCIADOR

PILETA TRANSFORMADORA
DE SILICE

VERTECOR

HACIA REINYECCION
O CANALETA

CABEZAL
20" ØD

P.C.

ø 14"

ø 12"

ø 24"

110m

172'

510m

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

FORMACION TOBACO LAVICA

AGLOMERADOS YOVENS

AGLOMERADOS YOVENS

FORMACION AHUCHAPAN ANDESTICA

AGLOMERADOS ANTIGUOS

AGLOMERADOS ANTIGUOS

AGLOMERADOS ANTIGUOS

AGLOMERADOS ANTIGUOS

ø 24"

110m

172'

510m

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

ø 2 1/2"

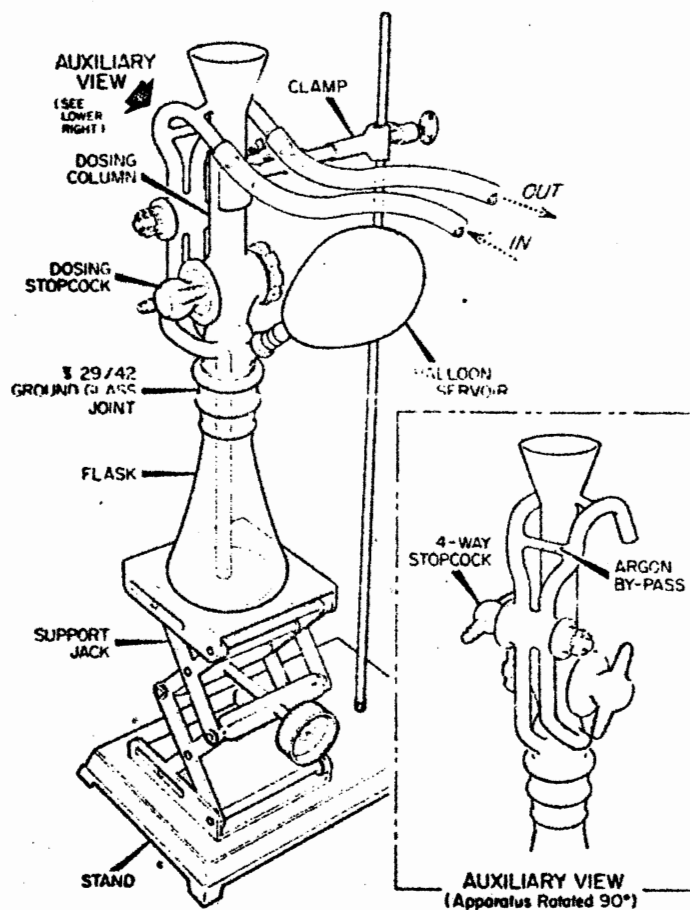


Fig. 8

A P E N D I C E " B "

A. CALCULOS1. DETERMINACION DE ARSENICO

Fecha de muestreo: 15 de Abril de 1980

Fecha de análisis pozo AH₆: 28 de Abril de 1980

Fecha de análisis Garita Palmera: 4 de Mayo de 1980

Muestras

Pozo AH₆ filtrada

Garita Palmera

Preparación de Muestra

Pozo AH - 6:

2 ml de la muestra en 100 ml de agua

f.d. = 50

Datos

Estándares de

Ah ₆	Absorbancia	
0.05 ppm	29.5, 31.5, 32.5, 32.7, 32.5	= \bar{P} = 31.74
0.10 ppm	49.5, 40, 42.5, 51.7	= \bar{P} = 45.92
0.15 ppm	56.5, 62, 65, 66.5, 58	= \bar{P} = 61.6

Muestras

Pozo AH - 6 = 10.3

Gráfica

Pozo AH - 6 = 0.14 ppm

Cálculo

Pozo AH - 6

0.14 ppm x 50 = 7 ppm

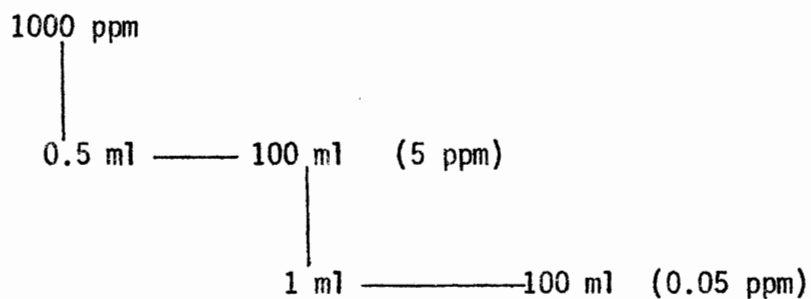
PREPARACION DE ESTANDARES

[] de estándares de = 0.05, 0.10, 0.15, ppm

Solución patrón de = 1,000 ppm de As

Cálculo

Ejemplo del cálculo de ml de solución patrón necesarios para preparar estándar de 0.05 ppm de As.

TABLA DE DATOS

[] Estándar ppm	ml de sol. patrón
0.05	0.5
0.10	1.0
0.15	1.5

Nota: El análisis de arsénico sólo pudo hacerse para la muestra del pozo AH-6

2. DETERMINACION DEL BORO

Fecha de muestreo: 15 de Abril de 1980

Fecha de análisis: 18 de Abril de 1980

Muestras

19 Agua Pozo AH-6 filtrada

20 Agua Canaleta

Preparación de Muestra

4 ml en 100 de agua

f.d. = 25

Datos

Estándares	[]	Absorbancia
	1	0.046
	3	0.139
	5	0.23
	10	0.451

Muestras

Ah-6	0.273
Canaleta	0.240
Garita Palmera	0.28

Gráfica

f.d. = 25

$$[] \text{ AH-6} : 5.93 \times 25 = 148.25 \text{ ppm}$$

Canaleta : 5.2 x 25 = 130.00 ppm

Garita Palmera : 6.05 x 25 = 145.00

PREPARACION DE ESTANDARES

Estándares [] : 1, 3, 5, 10 ppm

Ejemplo de cálculo de ml de sol patrón de 1000 ppm de boro para preparar un estándar de 3 ppm.

Cálculos

1000 ppm

30 ml 100 (3 ppm)

TABLA DE DATOS

[] Estándar ppm	ml sol. patrón
1	10 ml
3	30 ml
5	50 ml
10	100 ml

3. DETERMINACION DE CALCIO

Estándar ppm	Absorbancia	
30	31.3, 31, 31.3, 32	= 31.4
20	26, 25.7, 25.9, 25.4	= 25.75
10	13.6, 13.7, 13.3, 13	= 13.4

Muestra

19 AH₆ filtrada = 26, 25.3 = 25.65

20 Canaleta = 25, 24.5 = 24.75

Garita Palmera = 32.1

Dilución 4:100

Concentración

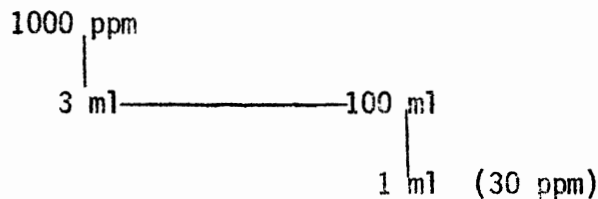
AH₆ = 20 x 25 = 500 ppm

Canaleta = 19.25 x 25 = 481.25 ppm

Garita Palmera = 21.5 x 25 = 537.50 ppm

PREPARACION DE ESTANDARES

Ejemplo de preparación del estándar de 30 ppm partiendo de la solución patrón de 1,000 ppm de Ca.



4. DETERMINACION DE CLORUROS

$$\begin{aligned}
 \text{ml de Ag NO}_3 \text{ gastado en agua} &= 0.135 \text{ ml} \\
 \text{ml de Ag NO}_3 \text{ gastado en blanco con agua} &= 15.249 \text{ ml} \\
 \text{ml de Ag NO}_3 \text{ gastado en blanco} &= 15.114 \text{ ml} \\
 \text{AH}_6 \text{ filtrada} &= 15.596 \text{ ml gastado de Ag NO}_3 \\
 \text{Canaleta} &= 14.146 \text{ ml gastado de Ag NO}_3 \\
 \text{N} &= 0.0101550335 \\
 \text{f.d.} &= 10 \\
 \\
 \text{ppm de Cl}^- &= \frac{\text{ml de AgNO}_3 \text{ gast} \times \text{N} \times 35.46 \times 1000 \times \text{f.d.}}{\text{ml de muestra}} \\
 \\
 \text{ppm de Cl}^- \text{ AH}_6 &= \frac{15.596 \times 0.0101550335 \times 35.46 \times 1000}{5 \text{ ml}} \times 10 \\
 &= 11232 \text{ ppm Cl}^- \\
 \\
 \text{ppm de Cl}^- \text{ Canaleta} &= \frac{14.146 \times 0.0101550335 \times 35.46 \times 1000}{5 \text{ ml}} \times 10 \\
 &= 10188 \text{ ppm Cl}^- \\
 \\
 \text{ppm de Cl}^- \text{ Garita Palmera} &= \frac{15.114 \times 0.0101550335 \times 35.46 \times 1000}{5 \text{ ml}} \times 10 \\
 &= 10885 \text{ ppm Cl}^-
 \end{aligned}$$

5. DETERMINACION DE MAGNESIO

Fecha de análisis: 19 de Abril de 1980
 Fecha de muestreo: 15 de Abril de 1980

Muestras

19 Agua Pozo AH-6 filtrada

20 Agua Canaleta

Preparación de muestra: Directa

10 ml de muestra + 0.1 ml de Cloruro de lantano

Datos Experimentales

	<u>No.</u>	=	<u>Lectura</u>	
Absorbancia Muestra:	19	=	7.6	duplicado
	19'	=	7.6	
	20	=	9.0	duplicado
	20'	=	9.0	

<u>[] Estándares</u>	<u>Lectura</u>
0.4 ppm	21.6, 21.5, 21
0.3 ppm	16.5, 16.5
0.2 ppm	11.8, 11.9

Cálculos

			<u>Absorbancia P</u>	
Promedio muestra	=	19	Ab	7.6
		20	Ab	9.0

Estándares = \bar{P} = 0.4 = 21.36
 0.4 = 16.5
 0.2 = 11.85

Datos de Curva

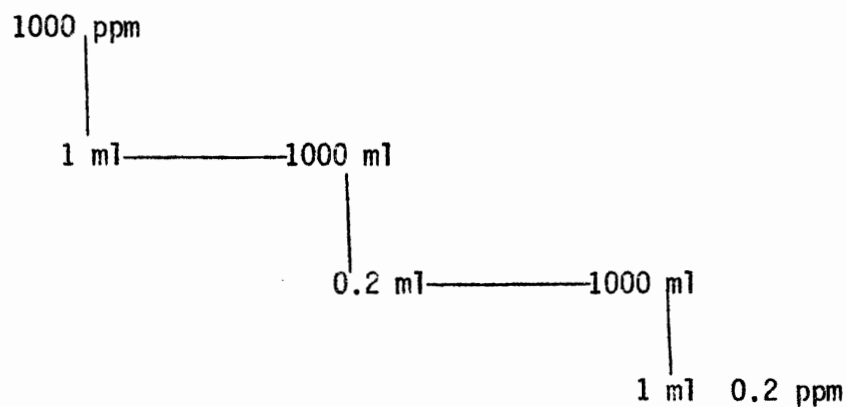
Agua Pozo AH-6 0.13 ppm
 Agua Canaleta 0.152 ppm
 Agua Garita Palmera 0.15 ppm
 (Lectura Directa)

PREPARACION DE ESTANDARES

de Estándares de : 0.4, 0.3, 0.2 ppm
 Solución patrón de : 1000 ppm de Mg.

Cálculo

Ejemplo del cálculo de ml de solución patrón necesario para preparar estándar de 0.2 ppm de Mg.



6. DETERMINACION DE POTASIO

<u>Muestras</u>	<u>Fecha de Muestreo</u>	<u>Fecha de Análisis</u>
Pozo AH ₆	15 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980
Canaleta	15 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980
Garita Palmera	18 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980

Preparación de Muestras

1 ml de muestra en 100 ml de agua

f.d. = 100

Datos

Lectura directa de concentración de estándares:

Estándares: [] ppm leída

5

10

15

Concentraciones de Muestras

Cálculo: Lectura por factor de dilución

Muestras

AH-6 9.9 x 100 = 990 ppm

Canaleta 9.05 x 100 = 905 ppm

Garita Palmera 9.8 x 100 = 980 ppm

PREPARACION DE ESTANDARES

[] de Estándares : 5, 10, 15 ppm

Ejemplo de cálculo de ml de solución patrón de 1000 ppm de potasio para preparar un estándar de 10 ppm.

Cálculos

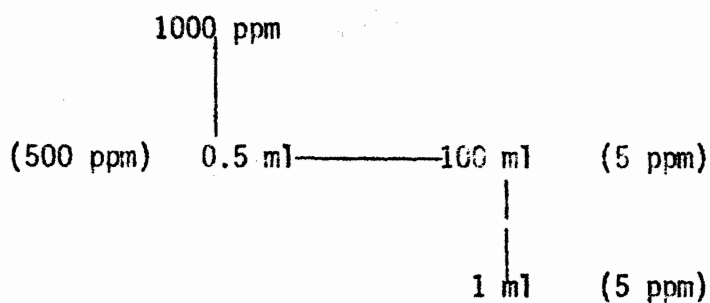


TABLA DE DATOS

[] de Estándar ppm	ml de Sol. Stock
5	0.5
10	1
15	1.5

7. DETERMINACION DE SILICE

Fecha Toma de Muestra : 15 de Abril de 1980

<u>No.</u>	<u>Identificación Muestra</u>	<u>Dilución</u>	<u>Lectura</u>	<u>ppm</u>	<u>f.d.</u>
1	AH-6	10:100	1-22.1 2-22.5	22.3	10
2	Canaleta		1-21.0 2-20.5	20.75	10
3	Garita Palmera		1-22.8 2-22.3	22.55	10

Estándares (Lectura directa)

50 ppm

30 ppm

20 ppm

Cálculos

$$\begin{aligned}
 \text{ppm AH-6} &= \text{lectura} \times 2.14 \times \text{f.d.} \\
 &= 22.3 \times 2.14 \times 10 \\
 &= 477.22 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Canaleta} &= 20.75 \times 2.14 \times 10 \\
 &= 444.50
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Garita Palmera} &= 22.55 \times 2.14 \times 10 \\
 &= 482.57
 \end{aligned}$$

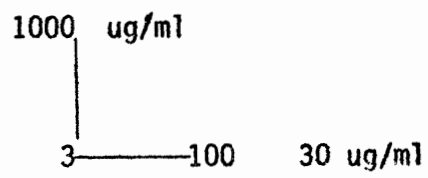
Preparación de Estándares

20 ppm

1000 ug/ml

2 ——— 100 ml 20 ug/ml

30 ppm



8. DETERMINACION DE SODIO

<u>Muestras</u>	<u>Fecha de Muestreo</u>	<u>Fecha de Análisis</u>
Pozo AH-6	15 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980
Canaleta	15 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980
Garita Palmera	15 de Abril de 1980	28 de Abril de 1980

Preparación de Muestras

1 ml de muestra en 200 ml de agua

f.d. = 200

Datos

Estándares: [] ppm	Absorbancia
10	11.25
20	22.26
30	32.75
40	41.7
50	50.8

Muestras

AH-6	33.35
Canaleta	30.65
Garita Palmera	33.10

[] en ppm según la gráfica x f.d.

AH-6	32.0 x 200	= 6,400 ppm
Canaleta	29.5 x 200	= 5,900 ppm
Garita Palmera	31.5 x 200	= 6,300 ppm

PREPARACION DE ESTANDARES

Estándares [] : 10, 20, 30, 40, 50 ppm

Ejemplo de cálculo de ml de solución patrón de 1000 ppm de sodio para preparar un estándar de 10 ppm:

Cálculos

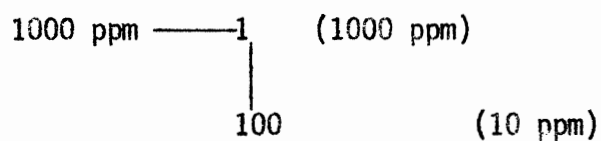


TABLA DE DATOS

[] Estándares ppm	ml sol. patrón
10	1
20	2
30	3
40	4
50	5

9. DETERMINACION DE SULFATOS

<u>Muestras</u>	<u>Fecha Muestreo</u>
Pozo AH-6	24 de Abril de 1980
Canaleta	24 de Abril de 1980

<u>Datos</u>	<u>Lectura</u>	
Estándares:	10	0.123
	30	0.37
	50	0.6
	80	0.924
	100	1.138
	125	1.332

<u>Muestra</u>	<u>Lectura</u>
AH-6	0.5
Canaleta	0.516
Garita Palmera	0.553

<u>Datos de Gráfica</u>	
AH-6	42.3 ppm
Canaleta	43.6 ppm
Garita Palmera	43.0 ppm

PREPARACION DE ESTANDARES

Estándares : 10, 30, 50, 80, 100 y 125 ppm

Ejemplo de cálculo de ml de solución patrón de 1000 ppm de sulfatos para preparar un estándar de 30 ppm:

Cálculos

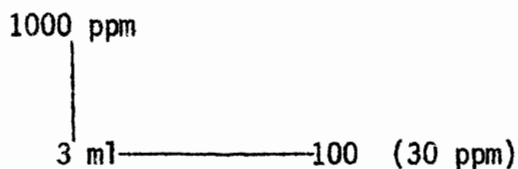


TABLA DE DATOS

[] de Estándares ppm ml	de sol patrón
10	1
30	3
50	5
80	8
100	10 — 1000
125	12.5 — 1000

10. CALCULO PARA DETERMINAR LAS CANTIDADES
DE SALES PRESENTES EN LAS AGUAS TERMALES (Tabla 8)

Para realizar estos cálculos se tomó como base las concentraciones expresadas en la Tabla 1.

Ejemplo: Cloruro de Rubidio (Rb Cl)

Concentración de Rubidio = 7.3 ppm

Peso Atómico de Rubidio = 85 g

Peso Atómico de Cloro = 35.5 g

La relación de ambos elementos en el compuesto formado es de uno a uno por lo que:

$$\begin{array}{rcl} 85 \text{ (peso at. Rb}^+) & \text{-----} & 35.5 \text{ (peso at. Cl}^-) \\ 7.3 & \text{-----} & x \\ & & x = 3.048 \text{ ppm de Cl}^- \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de Cl Rb} &= 3.048 \text{ ppm Cl}^- + 7.3 \text{ ppm de Rb}^+ \\ &= 10.348 \text{ ppm de Rb Cl} \end{aligned}$$

De igual manera se hizo para los elementos restantes, haciendo las consideraciones necesarias en cada caso, restando de la concentración total de cada elemento, la cantidad usada del mismo en la formación de su sal correspondiente.

B. GLOSARIO DE TERMINOS DE ABSORCION ATOMICA

NOTA: El presente glosario tiene como objeto explicar algunos términos utilizados en la metodología de absorción atómica para facilitar la comprensión del presente trabajo; no se pretende que sea una recopilación absoluta de toda la terminología de este método de análisis.

ASPIRACION:

Es lo que sucede cuando la solución a analizar pasa del recipiente en que se ha almacenado a la llama en la cual ocurre el fenómeno de la absorción atómica; para esto pasa primero por el capilar de aspiración, luego por el nebulizador-quemador y por último a la llama.

CAPILAR DE ASPIRACION:

Es un tubo plástico de pequeño diámetro unido al nebulizador-quemador, cuyo extremo libre se introduce en la solución que se desea analizar.

CORRIENTE DE LAMPARA:

Se debe ajustar al amperaje recomendado girando el control llamado SOURCE (fuente). No debe exceder el máximo recomendado; esta corriente se lee en el amperímetro presente en el compartimiento de la lámpara.

HORNO DE GRAFITO:

Este es un aditamento de micromuestreo que no utiliza llama. Consiste en un cilindro hueco, hecho de grafito, el cual se calienta mediante corriente eléctrica. La muestra se coloca dentro de éste, y el haz de luz pasa a través de la parte hueca. Los límites de detección obtenibles con este aditamento son de un orden de magnitud de 2 ó 3 veces menor que los obtenibles con llama.

LAMPARA:

Es la fuente de radiación del aparato; generalmente son lámparas de cátodo hueco del elemento que se desea analizar; pueden ser de mono-elemento, si sólo contienen un elemento, o multielemento, si el cátodo contiene varios elementos.

LECTURA:

Es el producto final del aparato; puede ser leída directamente mediante el medidor adecuado o graficada mediante registrador; la lectura es proporcional a la señal y ésta es proporcional a la concentración.

LLAMA:

Puede ser oxidante (azul) o reductora (anaranjada), según sean las condiciones apropiadas para obtener el elemento a analizar en un estado atómico basal; estas condiciones se obtienen regulando adecuadamente los flujos de gases al nebulizador-quemador. Es en ella donde ocurre la absorción de radiación por los átomos, es decir la absorción atómica.

LONGITUD DE ONDA:

() Se refiere a la longitud de onda seleccionada por el monocromador de la rejilla de difracción mediante el control apropiado. Las longitudes de onda adecuadas para un elemento son aquellas en que el elemento emite y por lo tanto absorbe, radiación electromagnética.

NEBULIZADOR - QUEMADOR:

Es el dispositivo del aparato de absorción atómica en el cual se nebuliza (formación de gotas finísimas) la solución a analizar y se mezcla con los gases oxidante y combustible (en el presente caso aire y acetileno, respectivamente), para luego pasar a la llama.

RANGO (RANGE):

Este control selecciona la rejilla de difracción apropiada para lograr la longitud de onda deseada; tiene dos posiciones: Vis (visible) para 420 m y UV (ultravioleta) para 420 m

RANGO DE DETECCION:

Es el rango de concentración de un elemento con el cual es posible trabajar en un conjunto dado de condiciones, o con algún aditamento determinado.

SLIT:

Este control selecciona el ancho de la ranura del monocromador; o sea el ancho de banda del espectro electromagnético que será detectado por el fotomultiplicador.

B I B L I O G R A F I A

1. American Public Health Association... Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas de Desecho, incluyendo Sedimentos Bentales y Lodos... 11a. Ed., México, Interamericana, 1960.
2. American Society for Testing and Materials... Annual Book of ASTM Standar Part 31 Water... Filadelfia
3. Amarós, José Luis... Manual de Mineralogía... Madrid, Reverté, 1965.
4. Babor, J.A. e Ibary José... Química General Moderna... 7a. Ed., Barcelona, Marín, 1964.
5. Bateman, Alan M... Yacimientos Minerales de Rendimiento Económico... Barcelona, Omega, 1957.
6. BIRF... Seminario de Potencia Centroamericano... Washington, Septiembre 2-6, 1975.
7. Blanco Alvarado, Francisco Héctor... Remoción de Boro y Arsénico de las Aguas del Lago de Ilopango... Universidad Nacional de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador, 1979.

8. Boulding, Kenneth E.... Costos de la Descontaminación...
México, RTAC, 1971.
9. Boyle Lemus, William Antonio... Evaluación de la Contaminación por Metales Tóxicos en Aguas Superficiales y Sedimentos de la Cuenca Hidrográfica del Río Acelhuate y Zona Metropolitana de San Salvador... Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador, 1976.
10. Browing, E.... Toxicity of Industrial Metals... London, Butterworth an Co., Ltd., 1969.
11. Bruni Guiseppe... Química Inorgánica... 12a. Ed., Barcelona, Hispanoamérica, 1964.
12. Calabrese, Astolfi... Toxicología... Buenos Aires, Kapelusz, 1972, 368p.
13. Catalán Lafuente, José G.... Química del Agua... Madrid, Blume, 1969.
14. Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa... Informes Anuales de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa... San Salvador, 1972-1978.
15. Cuéllar, Gustavo... Ahuachapán - Sistema Geotérmico de Generación... Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa, San Salvador, 1967.

16. Cuéllar, Gustavo... Energía Geotérmica en El Salvador... San Salvador, Octubre 1975 (Tercer Congreso Nacional de Ingeniería).
17. Chile... Memorias de la Séptima Reunión del Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines (COPIMERA VII) Santiago, Oct. 1977.
18. Chiquillo Alas, Alberto... Recursos Naturales Propios para la Generación Eléctrica en El Salvador... San Salvador, Oct. 22-25, 1979. (Octava Reunión del Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines - COPIMERA VIII).
19. Deming, Horace G.... Química General... México, UTEHA, 1957.
20. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos... Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, Departamento de Agricultura, Manual No. 60 (1954).
21. Di Pippo, Ronald... The Geothermal Power Station at Ahuachapán El Salvador... Geothermal Energy Magazine, Vo. 6, No. 16, Octubre 1978.
22. Durr, Fritz... Energía Geotérmica No. 1... Servicio Geológico Nacional, San Salvador, 1960, 268 p.
23. Energía... Revista de Ingeniería Energética, Madrid, Pedro de Valdivia, 1977, No. 2 y No. 6

24. El Salvador... Memorias de la Octava Reunión del Congreso Panamericano de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines (C.O.P.I.M.E.R.A. VIII)... San Salvador, Octubre 1979.
25. El Salvador... Memorias del Tercer Congreso Nacional de Ingeniería... San Salvador, Octubre 2--31, 1975.
26. El Salvador... Memorias del Cuarto Congreso Nacional de Ingeniería... San Salvador, Octubre 18-23, 1978.
27. El Salvador Survey of Geothermal Resources... Report on Project Results, Conclusion and Recommendations by the United Nations as Participating and Executing Agency for the United Nations Development Programme... New York, United Nations, 1971.
28. Ellis, Albert James... Chemistry and Geothermal Systems... New York, Academic Press, 1977.
29. Ellis, Albert James y Mahor, W.... Methods of Collection of Scientific and Industry Research... New York, Lower Hutt, 1968.
30. Espinoza, Noel... La Geotermia y su Desarrollo para la Generación de Electricidad... Tegucigalpa, Agosto 18, 1978 (Novena Convención Centroamericana de Ingeniería Eléctrica y Electrónica IEE).

31. Fabr , René y Truhaut, René... Tratado de Toxicología...
Tomo III, Madrid, Paraninfo, 1976.
32. Geothermics... Proceeding of the United Nations Symposium on
the Development and Utilization of Geothermal Resources...
Pisa, CNR Institute Internazionale Per le Reserche Geotermeche,
22 Sep. Oct 1, 1970.
33. González Olmedo, Rub n... Toxicidad del Boro sobre Varios
Cultivos en Diversos Suelos... Universidad de El Salvador,
Facultad de Ciencias Agronómicas, 1966.
34. Granadino, Francisco E.... Futuro Energético de El Salvador...
San Salvador, Marzo 10., 1978. (Primer Simposio de Ingeniería,
Universidad de El Salvador).
35. Granadino, Francisco E.... Aprovechamiento Geotérmico en El
Salvador... Organización de Estados Americanos, 15-19 Noviem-
bre 1976.
36. Granadino, Francisco E.... La Energía Geotérmica en El Istmo
Centroamericano... Oficina Regional de Ciencia y Tecnología
para la América Latina UNESCO, Montevideo, Octubre 9-11, 1978.
37. Guatemala... Simposium Internacional sobre Energía Geotérmica
en América Latina... Instituto Italoamericano IILA. Instituto

- Nacional de Electrificación INDE. Oct. 18-23, 1976.
38. Handbook of Chemistry and Physics... The Chemical Rubber Co., 46th., 1965-66.
 39. Hidalgo y Mondragón, María del Consuelo... Farmacia Química... Madrid, Alhambra, 1969.
 40. Instituto de Investigaciones Eléctricas... Boletín IIE, Cuernavaca, Redacta, s.f.
 41. Jander, Ginhart y Spandan, Hans... Química Inorgánica y General... Barcelona, Grijalbo, 1965.
 42. Kirk E. Raymond... Enciclopedia de Tecnología Química... Tomo II, México, UTEHA, s.f.
 43. Kirk E. Raymond... Enciclopedia de Tecnología Química... Tomo IV, México, UTEHA, s.f.
 44. Kirk E. Raymond... Enciclopedia de Tecnología Química... Tomo VII, México, UTEHA, s.f.
 45. Kneese, Allen V.... Ecología y Contaminación, Formas de Cooperación Internacional... Buenos Aires, Marymar, 1974.
 46. Kent, James H.... Química Industrial... Barcelona, Grijalbo, 1964.

47. Mercado, S.... Posibilidad de Explotación Química en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto... Tercer Congreso Mexicano de Química Pura y Aplicada. Guadalajara, Marzo 1968.
- 47a. Mellor... Química Inorgánica Moderna... Buenos Aires, El Ateneo, s.f.
48. Metodología de Exploración Geotérmica. Fase de Factibilidad... Segundo Seminario de Exploración Geotérmica CEL-OLADE, San Salvador, 1976.
49. Ministerio de Economía... Reglamento al Convenio Centroamericano de Incentivos Fiscales al Desarrollo Industrial - REIFALDI... San Salvador, 1979, 515 p.
50. Ministerio de Planificación... Importancia de la Ciencia y Tecnología en el Desarrollo Eléctrico de El Salvador... San Salvador, Noviembre 1977 (Primer Seminario Ciencia y Tecnología Organización de Estados Americanos).
51. National Research Council... A Feasibility Study of a 250,000 ton Salt Plant at Reyk-Janes... Reykjavik, Mayo 1969, 77 p.
52. Organización de Estados Americanos... Seminario sobre Desarrollo de Fuentes no Convencionales de Energía... Trinidad, Noviembre, 1976.

53. Organización Mundial de la Salud... Contaminación de la Atmósfera... Barker, Cambi, Cattiot... Ginebra, 1962, 476 p. (serie de Monografías No. 46).
54. Organización Mundial de la Salud... Lucha Contra la Contaminación del Agua en los Países en Desarrollo... Ginebra, 1962, 42 p. (Serie de Informes Técnicos No. 404).
55. Organización Panamericana de la Salud... Riesgos del Ambiente Humano para la Salud... Washington, 1976, 314 p. (Publicación Científica No. 329)
56. Proceeding of the United Nations Conference on New Sources of Energy... Geothermal Energy, Vo. 3, New York, 1964.
- 56a. Perry, H. John... Chemical Engineer's Handbook... Mc-Graw-Hill, 40th, Ed., 1950. (Chemical Engineering Series).
57. Remington, Joseph Price... Farmacia Práctica de Remington... México, UTEHA, 1965.
58. Revista de la Asociación Salvadoreña de Ingenieros Químicos y Químicos Industriales... 2a. Epoca. año No. 1, San Salvador, s.f.
59. Riesenfeld, Ernesto H.... Tratado de Química Inorgánica... 2a. Ed., México, Nacional 1965, 800 p.

60. Rohm and Hass... Boletín Científico, Resinas Amberlite, Estados Unidos.
61. Segura Lemus, Víctor Manuel... Tratamiento y Purificación de las Aguas de los Pozos Geotérmicos de Ahuachapán... San Salvador, sf. 41 p.
62. SIECA... Anuario Estadístico Centroamericano de Comercio Exterior... Guatemala, 1971.
63. Solicitudes de Permiso de Importación de Materia Prima para la Industria Química - Farmacéutica y Otras Industrias... San Salvador, Junta de Vigilancia de la Profesión Farmacéutica, Año 1979-80.
64. Solórzano, Luis María ... Utilización de los Depósitos de Sílice provenientes de Aguas Residuales de una Planta Geotérmica... Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, San Salvador, 1976.
65. Some Possibilities for Major New Industries in Iceland... The National Research Council, Reykavik, Mayo 1969.
66. Spectrophotometry... Analytical Methods for Atomic Absorption... Norwalk Perkin Elmer, 1974.

67. Thorp, F. H... Química Industrial... 2a. Ed., Barcelona, Gustavo Gili, s.f.
68. Underwood E. F... Trace Elements in Human and Animal Nutrition... 3a. Ed., Academic Press, New York, 1971.
69. Vogel Arthur... Química Analítica Cuantitativa... 2a. Ed., Vol. II, Buenos Aires, Kapelusz, 1961.
70. Wahl, Edward F... Geothermal Energy Utilization... Occidental Research Corporation, La Verne, California, Willey, s.f.



