

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

CONTRIBUCION AL QUIMISMO
DE LAS AGUAS TERMALES
DE AHUACHAPAN

TESIS

PRESENTADA A LA FACULTAD DE
CIENCIAS QUIMICAS DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

POR

RICARDO MENDOZA FONTAN

COMO ACTO PREVIO DE SU INVESTIDURA
ACADEMICA PARA OBTENER EL TITULO
DE

DOCTOR EN QUIMICA Y FARMACIA

NOVIEMBRE

1963



667.49
M539a
1963
F. C. C. 06
E. U.

068519



U N I V E R S I D A D D E E L S A L V A D O R

R E C T O R

Dr. Fabio Castillo Figueroa

SECRETARIO GENERAL INTERINO

Guillermo Manuel Ungo

....

F A C U L T A D D E C I E N C I A S Q U I M I C A S

D E C A N O

Dr. Víctor Alejandro Berdugo

S E C R E T A R I O

Dra. Leticia Calles v. de Romero Hernández

U N I V E R S I D A D D E E L S A L V A D O R

F A C U L T A D D E C I E N C I A S Q U I M I C A S

Los suscritos, Presidente, Vocal y Secretario del Tribunal de Doctoramiento Público nos hemos reunido en el Decanato de la Facultad de Ciencias Químicas, a fin de dictaminar sobre la Tesis presentada por el Bachiller Ricardo Mendoza Fontán intitulada: "CONTRIBUCION - AL QUIMISMO DE LAS AGUAS TERMALES DE AHUACHAPAN".

Y encontrando que dicha Tesis Sí reúne los requisitos exigidos por el Estatuto orgánico de la Universidad, la Aprobamos por Unanimidad de votos.

En fé de lo cual firmamos la presente Acta en --- San Salvador, a los veintinueve días del mes de Noviembre de mil novecientos sesenta y tres.

=====
Victor Ortiz
PRESIDENTE

=====
S. Monterrosa de Marín
VOCAL

=====
R. Arauz R.
SECRETARIO.

J U R A D O S

PRIMER EXAMEN GENERAL PRIVADO DE DOCTORAMIENTO

PRESIDENTE Doctor Rafael Arauz Rodríguez

VOCAL Doctor Mario Atilio Herrera

SECRETARIO Doctor Francisco Flores González

SEGUNDO EXAMEN GENERAL DE DOCTORAMIENTO

PRESIDENTE Doctor Miguel Angel Anaya

VOCAL Doctor Felix León Suncín

SECRETARIO Doctor Julio César Morán Ramírez

TESIS DE DOCTORAMIENTO

PRESIDENTE Doctor Víctor Ortiz

VOCAL Doctora Stella Monterrosa de Marín

SECRETARIO Doctor Rafael Arauz Rodríguez

D E D I C A T O R I A
= = = = = = = = = = =

A la memoria de mi padre

CARLOS FONTAN (Q.D.D.G.)

A mi madre

CONCEPCION MENDOZA

A ROSITA EMILIA ESTRADA, con toda
estimación.

A MIS HIJOS

A TODOS MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

y con toda consideración

y respeto al PROFESOR y-

FILANTROPO, don

FLAVIO JIMENEZ Padre.

A G R A D E C I M I E N T O

Al Dr. Fritz Dürr, ex Director del SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL, quien auspició este estudio proporcionándome todo el material necesario de muestras.

Al Personal del S. G. N., y en especial - al Br. Moisés Harrouch, por la valiosa colaboración que en todo momento me brindó.

Al Personal del CENTRO NACIONAL DE AGRONOMIA, en cuyos laboratorios se llevaron a cabo - en su mayoría, los análisis de muestras proporcionadas por el S. G. N.

Al Personal de laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas, especialmente al profesor y amigo doctor Rafael Arauz Rodríguez, y a todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron a fin de llevar a cabo este trabajo.

P R O L O G O

El objetivo de este trabajo ha sido, principalmente, el de contribuir modestamente en la consecución idealista de senderos prometedores para mi patria con la edificante intención de fomentar el desarrollo de la INDUSTRIA ELECTRICA, aprovechando los recursos naturales geotérmicos existentes en diferentes zonas del país y especialmente en la de Ahuachapán.

Ya el SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL, ha realizado estudios e investigaciones considerables e importantes en diferentes zonas territoriales, y se propone a continuar mayores e ininterrumpidas exploraciones, dadas las perspectivas positivas de progreso que promete la explotación de semejantes e inapreciables recursos en un no lejano futuro de bonancibilidad industrial, con miras a un aprovechamiento económico de las fuentes allí existentes para la real producción en grande escala de ENERGIA ELECTRICA, y por ende al estímulo concomitante de un considerable número de industrias.

Investigaciones geoquímicas anteriores de las aguas termales de Ahuachapán, sirvieron para establecer las características químicas generales de estos fenómenos, y la intención del presente estudio ha sido investigar problemas específicos relacionados con la migración de los fluidos termales del subsuelo y fomentar la exploración geológica general latente.

R. Mendoza Fontán

I	INTRODUCCION.....	1
	a) Energía Solar.....	1
	b) Energía Eólica:.....	2
	c) Energía de las Mareas.....	4
	ch) Energía Geotérmica.....	4
	d) Energía Térmica de los Mares.....	5
	e) Energía Geotérmica. Su Aprovechamiento en otros Países.	6
	f) Energía Geotérmica. Posible Aprovechamiento económico.. en nuestro País.....	8
	g) Desenvolvimiento de la Energía Geotérmica en el País...	9
II	DEFINICION DE FUMAROLAS Y MOFETAS.....	11
	a) Fumarolas, Solfataras y Mofetas.....	13
	b) Fuentes Termales.....	13
	c) Ciclo del Agua Meteórica, Fig.4.....	16/17
	ch) Agua Meteórica, Magmática y Compuesta.....	16
	d) Magma.....	16
III	INFLUENCIA DEL AGUA EN LOS FENOMENOS GEOTERMALES.....	16
	a) Morfología y Nivel del Agua Subterránea, Fig. 2.....	17/18
	b) Gradiente Geotermal.....	18
IV	IMPORTANCIA GEOTERMICA DEL QUIMISMO DE LAS AGUAS TERMALES	19
	a) Agua Subterránea.....	19
	b) Agua Juvenil.....	20
	c) Composición del Magma.....	20
	ch) Grupo Laguna Verde.....	22
	d) Grupo Salitre.....	23
	e) Zonas Termales Ahuachapán, Mapa Fig.1.....	23/24
	f) Sólidos Solubles (Residuo Químico:R.Q.).....	24
	g) Cloro.....	25
	h) Alcalis.....	26
	i) Boro.....	26
V	METODOS DE ANALISIS.....	27
	a) Grupo Laguna Verde.....	27
	b) Grupo Salitre.....	28
	c) Grupo Río de Paz.....	29
	ch) Pozo Atiquizaya.....	29
	d) Pozo Chalchuapa.....	29
	e) Toma de Muestras.....	30
	f) Sólidos Solubles. Método.....	30
	g) pH.....	31
	h) Conductibilidad Eléctrica.....	33
	i) Cloro. Método Usado.....	34
	j) Boro. " "	35
	k) Calcio. " "	42
	l) Magnesio. " "	42
	ll) Sodio. " "	44
	m) Potasio. " "	46
VI	DISCUSION SOBRE EL QUIMISMO.....	50
	a) Análisis del S.G.N., Fig.5.....	49/50
	b) Análisis de R.M.F., Fig.6.....	49/50
	c) Curva idealizada de Cl ⁻ , Fig. 3.....	52/53
	ch) Razón Ca:Mg.....	52
	d) Alcalis y Alcalinotérreos:.....	54
	e) Relación Na:K.....	54
	f) Boro.....	55
	g) Análisis Pozos Atiquizaya y Chalchuapa.....	56
VII	CONCLUSIONES.....	56
VIII	BIBLIOGRAFIA.....	56

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

El sol, los vientos, las mareas y la tierra nos proporcionan in discutiblemente, ENERGIA SOLAR, ENERGIA EOLICA, ENERGIA DE LOS MARES, ENERGIA GEOTERMICA Y ENERGIA TERMICA DE LOS MARES, respectivamente.

Para el aprovechamiento práctico de estas cinco nuevas fuentes de energía es necesario analizar cada término y buscar abundante material teórico para llegar a las aplicaciones reales.

ENERGIA SOLAR .- La radiación de la energía solar, ha sido uti lizada elementalmente para acelerar el crecimiento de las plantas en los invernaderos y para evaporar el agua en las salinas para la produc ción de sal.

Los procesos para generar calor a diversas temperaturas para convertir directamente el calor solar en energía eléctrica van progresando rápidamente.

Tales procedimientos básicos para convertir la radiación solar en energía utilizable pueden dividirse en dos grupos generales: a) el de la energía térmica, o sea el calor directo que proporciona el sol; y b) el de la energía lumínica, que es aquella emanada por los rayos solares.

La radiación luminosa del sol puede ser convertida en forma de energía, mediante diversos procedimientos fotoquímicos y fotoeléctricos.

Entre los procesos fotoquímicos, la fotosíntesis es el más importante. En los trabajos realizados a este respecto, lo interesante no es tanto la eficacia de transformación química cuanto la utilización y almacenamiento de la cantidad máxima de energía solar durante la vida de los vegetales. Estos estudios se concentran particularmente en las algas unicelulares que pueden crecer y multiplicarse suspendidas en el agua, y sin necesidad de contacto con la tierra.

Los procesos fotoeléctricos de conversión parecen ser más prometedores; así lo demuestran en particular las células fotoeléctricas -- que tanto se usan en los fotómetros, empleados en fotografía. Cuando la radiación solar cae sobre un cuerpo sensible a la luz, como en el Selenio, colocado en la capa de revestimiento de una célula fotoeléctrica, se produce una corriente eléctrica.

Realmente, el aprovechamiento de energía eléctrica por conducto de la radiación solar está aun en proceso de investigación y consecuentemente sus costos son muy elevados y países de recursos económicos como El Salvador no pueden pensar en la actualidad en favorecerse con esta nueva fuente de energía.

ENERGIA EOLICA

La energía eólica, se ha utilizado siempre, para extraer mecánicamente agua de pozo; pero hoy, el interés es en emplearla para la producción de electricidad y a este respecto se están intensificando los estudios sobre los vientos. En la actualidad ya existen trabajos ade--

lantados de diseños y ensayos de centrales eléctricas, que generan energía por medio del viento.

La energía cinética de una columna de viento o aire en movimiento, que varía al cubo con la velocidad del viento es interceptada por un rotor o hélice que la transforma en energía mecánica aprovechable. Los elementos fundamentales que determinan la energía obtenible son:-- la velocidad del viento, la superficie barrida por el rotor y el rendimiento del mecanismo de conversión del grupo generador.

Cualquiera que sea el diámetro elegido del rotor, los molinos de viento generadores de electricidad se diseñan de modo que produzcan su máxima potencia a una velocidad dada o "característica del viento". Cuando el viento tiene una velocidad superior a la característica, se desperdicia parte de su energía, y si la velocidad del viento es menor, disminuyen rápidamente la energía captada y el rendimiento del mecanismo de conversión del grupo. En teoría los molinos de viento pueden aprovechar hasta cerca del 60% de la energía del viento, pero en la práctica las pérdidas que se producen por la hélice y los engranajes, reducen probablemente el rendimiento global a un 40%.

La Energía Eólica en la actualidad es, quizá la más económicamente aprovechable, pero no en gran escala, es decir que prácticamente, puede usarse sólo para fines caseros y no puede pensarse en producciones energéticas de gran alcance, que es lo primordial en estos países subdesarrollados.

ENERGIA DE LAS MAREAS

En muchos países del globo hay marcado interés en la explotación de la energía de las mareas. En Francia se han hecho, según datos recientes, instalaciones de una central de 342.000 Kilovatios y se proyectan otras de mayor rendimiento.

La energía mecánica de las mareas puede ser transformada en electricidad. Tal proceso de conversión es semejante al de la energía hidroeléctrica para la cual se utilizan los caudales de los ríos.

Una explicación breve de tales procesos es la siguiente:

Durante la marea alta se llena un dique en el que se encuentran instaladas turbinas; cuando empieza el refluo o sea la marea baja, éste se cierra y se deja escapar el agua suavemente durante el tiempo de marea baja produciéndose así el movimiento de las turbinas, (originándose la Energía Eléctrica), el cual también se produce cuando entra el agua del mar durante la marea alta.

Esta nueva forma de energía, aún está en proceso inicial de investigación y solamente países con grandes recursos económicos han penetrado en su aprovechamiento no importándoles los costos de tal empresa, pero en países pequeños como el nuestro no se puede pensar en instalar plantas de tal índole que aún están en período de desarrollo.

ENERGIA GEOTERMICA

La utilización práctica de la energía geotérmica es manifiesta, principalmente para la calefacción en general.

Está representada en forma de vapor natural o agua caliente ---

cargada de diversas sustancias químicas y que brotan a presión en manantiales calientes y fumarolas. También se está utilizando esta energía para generar electricidad, constituyendo una realidad en varios países de diferentes continentes y al respecto se han hecho ya considerables instalaciones productoras de millones de kilovatios.

ENERGIA TERMICA DE LOS MARES

Esta energía tiene su aplicación productora en la diferencia de temperatura por pequeña que sea, de dos masas de agua. La captación del calor almacenado en el agua del mar y su conversión en energía aprovechable constituye una ingeniosa aplicación del principio de que el calor puede transformarse en trabajo mecánico cuando se dispone de dos depósitos de calor a diferente temperatura. Tales depósitos, de magnitud inmensa, se encuentran en el mar, cuyas aguas superficiales son calentadas por el sol; en ciertas zonas esas aguas se mantienen a temperaturas mucho más elevadas que las aguas profundas y es posible aprovechar la diferencia de temperatura.

La maquinaria utilizable constaría de un evaporador, un turbogenerador y un condensador. El sistema funciona así: El agua salada caliente de la superficie entra en un recipiente de baja presión donde se crea un vacío con una bomba neumática, con lo cual parte del agua caliente se convierte en vapor. El vapor así producido es aspirado por un condensador refrigerado con agua fría elevada de una capa profunda. En su trayecto el vapor mueve una turbina a una presión extremadamente baja, y ésta a su vez arrastra un generador eléctrico. El condensador pue-

de ser del tipo de inyección en que el vapor se mezcla con agua salada fría, o bien puede ser un condensador de superficie que convierte el vapor en agua dulce aprovechable.

El rendimiento global del proceso de conversión varía según la diferencia de temperatura. Para producir electricidad, la diferencia de temperatura entre el agua de la superficie y el agua fría debe ser de unos 20°C, lo cual puede obligar a elevar agua desde una gran profundidad y hay que utilizar enormes cantidades de agua de mar para producir una cantidad apreciable de energía.

ENERGIA GEOTERMICA

A) SU APROVECHAMIENTO EN OTROS PAISES.

En Italia esta energía ha sido una realidad para generar electricidad. Ya a fines de 1954 existían instalaciones con capacidad generativa de 274.000 Kilovatios y cuya producción anual fué de cerca de 2,000.000 de kilovatios hora, utilizando el vapor natural. Estas experiencias fueron llevadas a cabo principalmente en el distrito de Lardello en donde se hicieron consideraciones acerca del origen del vapor natural y de la perforación de pozos, analizando las propiedades químicas y físicas del vapor y elaborando diagramas para su utilización en centrales de fuerza eléctrica.

En el Japón, los trabajos realizados en esta esfera comprenden una central experimental de 30 kilovatios ensayada en 1951, numerosos sondeos exploratorios y los planes para construir una central de -----

3.000 kilovatios; además en Nueva Zelandia se está construyendo una --- central de 37.500 kilovatios. También en la Zona minera de Katanga en-- el Congo Belga se construye una central de 275 kilovatios. En México ya se comenzó a instalar dos unidades experimentales para una producción-- de 25.000 kilovatios y en Chile existe el diseño de una fuente de 2.000 kilovatios en su capacidad inicial y otra posiblemente con una produc-- ción de 60.000 kilovatios en su fase final, aprovechando los géisers de Tatio en Antofagasta. También existe el proyecto de construir una cen-- tral de 100,000 kilovatios en la costa de California en los Estados Uni-- dos.

La ENERGIA GEOTERMICA se viene utilizando en gran escala para la calefacción en Islandia, donde se estima que las capas geotérmicas po-- drían producir una cantidad total de energía de 300,000 kilovatios y -- que permitiera suministrar calefacción a las viviendas de 40,000 perso-- nes. Se calcula que el calor natural aprovechado equivale a más de ---- 75,000 toneladas de carbón por año.

En algunas otras partes del mundo, tales como en el Oeste de los Estados Unidos y en diversas regiones de la Unión Soviética, se estu--- dian las posibilidades de aprovechar la ENERGIA GEOTERMICA para la cale-- facción. Cuando el vapor natural tiene suficiente volumen, temperatura-- y presión, puede ser conducido a una turbina acoplada a un generador e-- léctrico, escapando luego al aire. En las centrales más perfeccionadas-- se extraen además subproductos químicos.

B) POSIBLE APROVECHAMIENTO ECONOMICO EN NUESTRO PAIS.

La ENERGIA GEOTERMICA puede utilizarse para producir electricidad a bajo costo. Entre las condiciones naturales que determinan la utilidad económica de un campo geotérmico pueden citarse la cantidad, temperatura y presión del vapor y el tamaño y duración probable del campo. Además de las condiciones naturales, hay otros factores, como el tipo de instalación y la posible intensidad de su utilización, que determinan el costo de la fuerza proporcionada por una central geotérmica. Cuando hay un centro de consumo de electricidad suficientemente importante y a distancia conveniente para la transmisión de la energía, es aconsejable construir grandes unidades de producción porque su consumo específico total es menor. Para el ensayo de nuevos campos, lo mismo que en zonas donde la demanda de la electricidad es reducida, pueden emplearse grupos generadores pequeños y sencillos. Los grupos de este tipo, son unidades compactas y livianas, de un solo bloque y que pueden transportarse e instalarse con facilidad. Se utiliza el vapor conforme brota del suelo y luego se deja escapar al aire, aunque para producir cada kilovatio-hora requieren un mayor volumen de vapor que las unidades más grandes y perfeccionadas y no permiten obtener subproductos químicos. Suelen funcionar con gran regularidad y sin exigir frecuentes reparaciones. Una de las características más convenientes de estos pequeños grupos generadores es su bajo costo de capital por kilovatio.

Para la explotación de esta energía geotérmica, naturalmente hay

que tomar en cuenta el costo de las perforaciones y de las tuberías---
necesarias, como la profundidad de los sondeos y la dureza de la roca.

Los aparatos necesarios requeridos son: intercambiadores térmi--
cos, condensadores, torres de enfriamiento y otros.

Incluyendo el valor de mano de obra y mantenimiento, a grandes--
razgos, puede calcularse el costo por kilovatio-hora producido, el ---
cual oscila entre uno y dos centavos de colón, sin tomar en cuenta el
aprovechamiento de recuperar sustancias químicas como el Acido Bóri--
co, Carbonato de Amoniaco, Bórax, Borato de Calcio, Carburo de Boro y
elementos de BORO existentes en las emanaciones de las fuentes, lo cual
reduciría el costo por kilovatio-hora.

C) DESENVOLVIMIENTO DE LA ENERGIA GEOTERMICA EN EL PAIS.

Desde el año 1955, el Servicio Geológico Nacional está realizan-
do estudios geotérmicos en la región de Ahuachapán con miras a un apro-
vechamiento económico de las fuentes allí existentes para la produc---
ción de ENERGIA ELECTRICA.

En 1953 se empezaron rudimentariamente en El Salvador investiga-
ciones geotérmicas con una recopilación de las manifestaciones geoter-
males existentes en el país, pero no fué sino hasta en 1956 que se pro-
fundizó la primera perforación exploratoria en el campo geotermal AGUA
SHUCA, iniciándose hasta en 1958, en escala más grande, las exploracio-
nes a cargo del Servicio Geológico Nacional. Posteriormente la Comi---
sión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa interesada en un desarro--

llo de la ENERGIA GEOTERMICA, colaboró económicamente y se logró llevar a cabo algunas perforaciones de prospección.

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

Las condiciones geológicas tectónicas generales existentes en la región de Ahuachapán se pueden considerar como aclaradas en sus puntos esenciales. Existe allí un graben tectónico (rumbo N) con una latitud aproximadamente de 25 Km. y un espesor hasta de 1000 m. Este graben cuenta en una parte de su borde Sur con un volcanismo (Medio a un millón de años de edad), y un grupo geotermal está directamente en conexión genética con este volcanismo. El graben mismo cuenta con un encubrimiento de rocas piroclásticas, provenientes esencialmente del volcanismo mencionado, que tiene un espesor entre 300 y 500 m. Otros dos grupos geotermales se encuentran dentro del graben, y ambos están limitados a líneas tectónicas con rumbo NNE que atraviezan el basamento del graben.

De los grupos geotermales existentes dentro del graben, existe la posibilidad de una explotación geotérmica en gran escala o sea de unos 50,000 a 100,000 KW y eventualmente mucho mayor.

Los problemas de las zonas geotermales están vinculados con problemas químicos debido a la gran importancia que tiene el agua en la formación de tales fenómenos; también están vinculados con problemas

físicos a causa de los diferentes estados en que se puede encontrar el agua y a problemas de presión y temperatura relacionados con la calorimetría y la Termodinámica.

El propósito del presente trabajo es realizar análisis químicos de las fuentes geotermales existentes en los macizos volcánicos situados al Sur de Ahuachapán, como también análisis de las fuentes geotermales situadas en la planicie Central.

El resultado final de estos análisis será comparado con los ya hechos anteriormente por otros investigadores, para apreciar la variabilidad de la composición química de los mismos y consecuentemente la variabilidad del quimismo de la zona; esto ayudará a interpretar mejor las condiciones geotermales del subsuelo.

También se han hecho análisis de Boro, pues la relación de este elemento con el Cloro ayuda a conocer el quimismo de la zona.

Finalmente quiero enfatizar que la finalidad del presente trabajo es contribuir a la investigación del quimismo de las aguas termales en la región de Ahuachapán, la cual es de gran importancia para el posible desarrollo de la Energía Geotérmica en El Salvador.

II DEFINICION DE FUMAROLAS Y MOFETAS.

Las FUMAROLAS, de fumus: humo, consisten en la emisión de vapor de agua, anhídrido carbónico y otros gases a temperaturas variables.-- Es indudable su estrecha relación con los fenómenos volcánicos y general

mente se presentan en los flancos de los volcanes o en sus cercanías; a veces, en lugares en los que no hay ninguna actividad volcánica aparente; en tal caso, se ha comprobado que son el último resabio de una actividad volcánica ahí existente en pasadas épocas.

Las fumarolas en nuestro medio se conocen con el nombre de "Auso-les" voz derivada del chorotega: anzél, fuente termal. También se conocen con el nombre de "infiernillos" y en el oriente de la república se habla de "hervederos" y "borbollones".

Siendo de interés científico el conocer la composición de los gases y vapores emanados del interior de la tierra y dada la dificultad de recolectarlos del cráter mismo de los volcanes, la atención se ha fijado en las fumarolas. Son famosas las investigaciones C-SAINTE-CLAIRE DEVILLE, F. FOUQUE y F. LEBLANC sobre las fumarolas del Vesubio y del Etna (RANKAMA, 1954). Considerando dichas investigaciones y algunas observaciones de otros autores, podemos hacer la siguiente clasificación de las fumarolas:

SECAS: Las fumarolas más calientes llegan casi a la temperatura del rojo; se creyó que eran anhidas, pero en realidad, contienen vapor de agua en mayor o menor cantidad. Se desprenden de conos adventicios esparcidos en los flancos de los volcanes, en forma de humos blancos y depositando sublimados. ClK, ClNa, ClK, Cl₂Mg, gases, cloruros, vapor de agua, CO₂, N₂.

ACIDAS: Temperatura 100-500°C. Contienen abundantemente vapor de agua, CO₂, y SO₂. Los sublimados son cloruros metálicos de Fe y Cu.

ALCALINAS: también llamadas Solfataras, Temperatura 40-100°C. Contienen vapor de agua, SH₂ (que se descompone dando depósitos de S y Sulfatos), Cloruro de Amonio asociado al Carbonato de amonio.

MOFETAS: fumarolas a temperatura ordinaria. Emiten CO₂, N, H, Carburos de H (que le comunican olor a mono, a lo que alude su nombre).

También tenemos las llamadas fumarolas secundarias las cuales no tienen origen profundo; emanan de las brechas volcánicas después de la formación de éstas durante su enfriamiento acelerado por la intervención de las aguas lluvias. Esta clasificación tiene solamente interés teórico pues en la práctica resulta inaplicable, ya que es imposible determinar exactamente un límite entre unas y otras; además algunas fumarolas como las de Islandia, no pertenecen a ninguno de esos tipos.

Según opinión verbal del Dr. Dürr, en nuestro medio bastaría -- distinguir entre fumarolas y fuentes termales.

F U M A R O L A S: Emisión de diversos gases, especialmente vapor de agua, SO₂, CO₂ y CO a temperatura elevada. Si hay predominio de Sulfatos reciben el nombre de S U L F A T A R A S.

FUENTES TERMALES: aguas con temperatura más elevada que la temperatura media del agua subterránea de la región, o sea, más de 30°C--

en nuestro medio.

Los cambios presentados en la composición de las emanaciones---volcánicas proceden algunas veces del magma; también pueden proceder--de rocas adyacentes, las que bajo la acción de los gases ascendentes -modifican su composición, ya precipitando algunos de sus componentes,-ya cediendo algunos compuestos volátiles.

Se ha determinado también que la composición de las emanaciones varía según el tiempo transcurrido desde el comienzo de la actividad--volcánica y también según la distancia al centro de actividad como lo demostraron C. Sainte-Claire Deville y F. Leblanc al estudiar en 1858 los gases de varios volcanes y fumarolas italianas (CLARK, 1908).

Otra causa muy influyente es la temperatura y ésta a su vez puede ser modificada por su paso a travez de rocas mucho más frías. F.---FOUQUE, en 1865, estudiando fumarolas del Vulcano, obtuvo los resultados que se dan en la siguiente tabla, en la que puede apreciarse como varía la composición con la temperatura (CLARK, 1908)

	<u>350°C</u>	<u>250°C</u>	<u>150°C</u>
ClH-SO ₂ %	78.80	66.00	27.19
CO ₂ %	23.40	22.00	59.62
O ₂ %	.52	2.40	2.20
N ₂ %	2.28	9.60	10.99

Además, componentes de la atmósfera pueden ser también incorpora dos.

A elevada temperatura los gases que se desprenden están compuestos en gran parte de vapor de agua sobrecalentado, H libre, CO, CH₄, vapores de Cloruros metálicos y Fluoruros gaseosos. El vapor de agua reacciona con los Cloruros produciendo ClH. Los vapores ácidos atacan las rocas adyacentes liberando SH₂ de los Sulfuros y CO₂ de los Carbonatos.

En consecuencia, a una temperatura más baja las emanaciones están constituidas por vapor de agua, CO₂ y gases indiferentes como N, -- llegando en último grado a desaparecer el CO₂ quedando únicamente vapor de agua.

Las fumarolas pueden, en ciertos casos, pasar a géyseres o manantiales calientes, aunque en general, el origen de éstas es otro; agua subterránea calentada por su paso a travez de rocas plegadas y que ascendiendo rápidamente sale todavía caliente. Son famosas en el mundo algunas regiones por sus géyseres, tales como Yelloswtonne Park en EE.UU., Islandia, etc.

Los gases volcánicos al salir a la superficie se incorporan a la atmósfera, o bien, se disuelven en el agua y forman sublimados alrededor de los cráteres y fumarolas (principalmente Cloruros de Sodio, de Potasio, Amonio, Hierro, Carbonatos y Sulfatos alcalinos). Los gases que emanan del fondo del océano se disuelven en el agua del mar.

Desde el punto de vista geotermal es necesario considerar 3 tipos de agua: El agua Metéóricu, el agua Magmática el agua Compuesta;

EL AGUA METEORICA, es aquella que tiene su circulación entre la superficie terrestre y la atmósfera, (ver diagrama Fig.4) es decir toda aquella agua que se precipita sobre la superficie terrestre y que circula por los ríos, manantiales y arroyos y que puede ser evaporada inmediatamente o durante su transcurso en los ríos y en el mar.

AGUA MAGMATICA, es aquella que se debe a la emanación de vapor de agua debido a la cristalización de un cuerpo llamado Magma.

AGUA COMPUESTA es la mezcla, de agua meteórica con agua magmática, o también puede ser agua meteórica que ha sufrido una influencia geotermal debido a un continuo flujo proveniente de una sustancia pastosa llamada Magma.

MAGMA En el interior de la tierra se encuentran rocas a temperaturas elevadísimas que se presentan en estado fluido. A estas rocas fundidas se les da el nombre de MAGMA, y esta sustancia cuando asciende a la superficie terrestre constituye la lava de los volcanes.

III INFLUENCIA DEL AGUA EN LOS FENOMENOS GEOTERMALES.

El constituyente principal de las emanaciones fumarólicas es el vapor de agua. Varias teorías se han propuesto para explicar su origen, pudiendo resumirse en los tres casos siguientes:

1o) Se supone, según consideraciones teóricas y estudios realizados respecto a la cristalización de rocas, que el magma contiene, más o menos el 50% de su peso de agua; al enfriarse el magma y cristalizar sus minerales constituyentes, liberarían agua, la cual iría acu-

mulándose progresivamente. Debido a la alta temperatura allí existente, el agua se encontraría al estado de vapor y sometida a una enorme presión. Este vapor tiende a buscar sitios de menor presión, lo que hace a través de grietas o de rocas porosas, llegando así finalmente a la superficie originando fumarolas. En este caso, el vapor que sale a la superficie es directamente de origen magmático. Las aguas y vapores de tal origen reciben la denominación de "Juveniles".

2o) Se sabe que el Gradiente Geotermal es, por término medio de 30 metros, o sea que hay que descender unos 30m. para aumentar la temperatura en un grado centígrado. Pero hay regiones en las que solamente basta un descenso de unos 10m. para obtener ese mismo aumento en la temperatura; esto es debido a la existencia en el subsuelo, de intrusiones magmáticas. Ahora bien, aguas superficiales infiltradas en estas regiones de Gradiente Geotermal elevado se calentarán y pasarán al estado de vapor para luego salir a la superficie originando fumarolas. En este caso el agua y el vapor serán de origen superficial y no magmático. Tales aguas y vapor se llaman "vadosas".

3o) En tercer lugar tenemos las aguas superficiales infiltradas que son calentadas por los vapores magmáticos formados según el caso 1, y luego salen, ya calientes y mezclados con los vapores magmáticos a la superficie, originando también fumarolas. Tales aguas y vapor, en nuestro medio, reciben el nombre de "compuestas" (comunicación verbal, ---- DÜrr).

GRADIENTE GEOTERMAL es la distancia expresada en metros, de la superficie de la tierra hacia su interior, para la cual la temperatura aumenta por 1°C . En las partes consolidadas de la corteza terrestre,-- el gradiente geotermal equivale a 30 m por 1°C , produciendo en la superficie terrestre una radiación calórica de $1.5 \text{ cal/m}^2 \text{ min.}$, que está dictada por la conductibilidad calórica de las rocas.

En regiones volcánicas el Gradiente Geotermal tiene valor muy diferente, es decir, por ejemplo 1m. por 1°C . Tal Gradiente Geotermal se interpreta como que el magma se encontrara en niveles mucho más altos-- que en regiones con Gradientes Geotermales normales. Donde existe tal Gradiente Geotermal anormal, se aumenta la radiación calórica de la superficie terrestre, En la región del Playón de Ahuachapán, por ejemplo, la radiación calórica llega a un valor de $3090 \text{ cal/m}^2 \text{ min.}$ (Mc Birney, 1956) que corresponde 2060 veces de lo normal.

Considerando que la conductibilidad calórica de las rocas en la corteza terrestre no permite una radiación calórica tan elevada, se supuso que el calor en la corteza terrestre se propaga principalmente -- por convección y no por conducción, y tomando en cuenta que el 99% de los gases volcánicos es vapor de agua, se llegó a la conclusión de que el cuerpo de convección es el agua.

IMPORTANCIA GEOTERMICA DEL QUIMISMO DE LAS AGUAS TERMALES

La principal importancia que tiene este estudio es investigar-- la cantidad de algunos elementos en el agua de las diferentes fuentes-- termales, el porcentaje en que se encuentran, y ver si existe relación entre los diferentes grupos de fuentes. Antes de entrar en detalles es conveniente definir lo que se entiende por agua subterránea, desde el-- punto de vista geoquímico.

AGUA SUBTERRANEA, es una solución que contiene principalmente - Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros de los metales alcalinotérreos y al-- calinos. La cantidad de sólidos presentes en el agua depende de varios factores que son: el origen del agua, la composición de las rocas y -- suelo subyacente y el tiempo que ha estado el agua con el medio.

Al principio del presente trabajo hablamos de diferentes tipos-- de agua, desde el punto de vista geológico y que se encuentran en la-- litósfera: el agua meteórica, el agua juvenil y el agua compuesta.

La primera de ellas, que es de origen atmosférico, contiene CO_2 y pequeñas sustancias disueltas procedentes de la atmósfera.

El agua meteórica al penetrar en la litósfera y entrar en con-- tacto con el suelo y las rocas, adquiere, tanto compuestos orgánicos-- como compuestos inorgánicos.

Debido a los compuestos orgánicos el agua se carga de CO_2 y ac-- túa como un gran agente de meteorización y es capaz de disgregar todos

los minerales y de formar nuevos compuestos a base de Carbonatos, Bicarbonatos y Sulfatos de Na, K, Ca, Mg, etc. La velocidad de descomposición depende de la constitución química y de las propiedades físicas de los minerales de la roca y suelo subyacente y principalmente de la temperatura.

AGUA JUVENIL, es aquella que se debe a la condensación de soluciones acuosas provenientes de un cuerpo magmático en cristalización. Estos cuerpos magmáticos tienen diferente composición química, la cual depende, tanto de factores químicos como físicos. Estas aguas juveniles se caracterizan por un alto contenido de minerales pesados, el cual en las aguas meteóricas es prácticamente nulo; otra diferencia entre agua meteórica y agua magmática es la relación Ca:Mg, la cual es mayor en las aguas meteóricas que en las aguas magmáticas.

COMPOSICION DEL MAGMA. La composición del magma es en sí un problema, lo mismo que su cristalización. Clake y Washington calcularon en base a una gran cantidad de análisis de rocas eruptivas la composición promedio de un cuerpo magmático:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O	TiO_2
59.14	15.34	3.08	3.80	3.49	5.08	3.84	3.13	1.15	1.05

El poco contenido de H_2O en este promedio de la composición química del magma se debe a que durante la cristalización, es el vapor de agua el que más se libera debido a las propiedades del H y del O.

En pocas palabras y de una forma generalizada es necesario se-

ber en que consiste la cristalización. Se entiende por cristalización-- el enfriamiento que sufra un cuerpo magmático en el interior de la tierra debido principalmente a su pérdida de temperatura. Durante tal proceso los elementos y compuestos que lo constituyen van cristalizándose, tratando de formar cuerpos sólidos, según su radio iónico y su esqueleto cristalográfico. Los primeros en cristalizar son los que tienen un-- radio iónico pequeño y una estructura cristalográfica sencilla, como -- por ejemplo Fe, Au, Pt, etc.

A esta primera fase de cristalización se le llama "Fase Magmática", y a medida que avanza el enfriamiento van cristalizando nuevos elementos de radios iónicos mayores y de esqueleto cristalográfico más complicado, o también formándose soluciones acuosas que luego pasan al estado líquido. Dichas soluciones en sí pueden formar las fuentes term-- las, ya que prácticamente todo el cuerpo magmático ha cristalizado y -- pueden fluir a la superficie del terreno soluciones líquidas calientes, cargadas de elementos típicos de la cristalización final de un magma;-- esto no quiere decir, que durante la fase inicial de cristalización de un cuerpo magmático no puedan fluir a la superficie del terreno gases - y vapores provenientes de dicho cuerpo, pues esto podría investigarse-- según los elementos que se encuentran incrustados en los lugares donde existen manifestaciones geotermales o en las aguas calientes que brotan de ellas.

La presencia de Hierro y otros elementos pesados pueden contribuir a su investigación ya que son característicos de la cristaliza----



ción inicial.

Los vapores, gases y soluciones provenientes de un cuerpo magmático en cristalización, en su ascenso hacia la superficie terrestre -- disuelven y corrocionan las rocas que se encuentran a su paso, alterándose la composición química original de tales vapores. Además de este proceso químico, entre los vapores magmáticos y la roca subyacente, -- existe el problema de la mezcla del agua meteórica con el agua magmática en las capas superficiales de la litósfera, cambiando también la -- composición del agua de las fuentes termales.

El propósito de este trabajo es investigar el mayor o menor --- grado de influencia que sufran las aguas termales de la zona de Ahuachapán y además estudiar la posibilidad de relación química entre los diferentes grupos de fuentes termales.

Antes de entrar en detalles, es necesario mencionar que las --- fuentes situadas en la zona de Ahuachapán, han sido agrupadas desde el punto de vista geomorfológico de la región, en 3 grupos:

Grupo 1o.) Laguna Verde (Ver mapa adjunto Fig. No.1)

" 2o.) Salitre

" 3o.) Río de Paz

GRUPO LAGUNA VERDE. El agua termal de estas fuentes es ácida, -- con CO₂, H₂SO₄, un débil contenido de H₂S en su fase gaseosa y un contenido de SiO₂ (col. + sol.) 1.p.p.m. El porcentaje de la composición de los diferentes aniones varía considerablemente de soplador en soplador y de fuente a fuente o en cada una de ellas.

Desde el punto de vista estadístico estas fuentes demuestran un alto contenido en Sulfatos.

No hay duda respecto al origen volcánico de estos ausoles. Desde abajo, junto con vapores de agua, son conducidos gases sulfúricos y Anhídrido Carbónico. El Acido Sulfúrico se oxida casi completamente en Sulfatos.

Debido al alto carácter ácido de las aguas de los ausoles el contenido de CO₂ no puede disolverse como H₂CO₃. Solamente con un elevado contenido en Na queda el H₂CO₃ en disolución como NaHCO₃ a pesar de tener un pH bajo.

Los ausoles de este grupo son relativamente pobres en agua. La mayoría de ésta es arrastrada por los gases y vapores ascendentes desde el nivel del agua subterránea.

Los campos característicos de este grupo son: SAN CARLOS, EL SAUCE, CERRO BLANCO, CUYANAUSUL, TERMOPILAS, AMAYA y AGUA SHUCA. (Véase ubicación en mapa, Fig. No.1)

GRUPO SALITRE. Agua termal con Cl, HCO₃, Na, Ca, B y un contenido de SiO₂ de 300 p.p.m. (Col. + Sol.). La composición porcentual de los diferentes aniones, así como de los cationes, es sorprendentemente uniforme. Esto debe entenderse que el agua termal imprime un carácter químico uniforme al agua subterránea y que únicamente según las mezclas con el agua subterránea existen diferentes concentraciones. Cuan-

do esta agua pierde su presión y se enfría paulatinamente en la superficie, se precipitan Ca, CO₃ y SiO₂ y aumenta el pH hasta alcanzar un valor de 12.5.

El propósito de realizar análisis de Sólidos Solubles o Residuo Químico (R.Q.), pH, Conductibilidad Eléctrica, Cloro, Boro, Calcio, -- Magnesio, Sodio y Potasio en las fuentes pertenecientes a los grupos -- geotermales LAGUNA VERDE y SALITRE, es para investigar si tales campos provienen de un mismo origen termal, o si el CAMPO SALITRE, es originado por el agua que ha sufrido un calentamiento en la zona de macizos-- volcánicos y luego por el movimiento del agua subterránea, brota en la planicie con una temperatura menor.

Definimos por SOLIDOS SOLUBLES o RESIDUO QUIMICO, aquellos elementos fáciles de disolverse en el agua tales como Sodio, Potasio, Calcio, etc. El propósito de realizar tales análisis es constatar el porcentaje de material disuelto que se encuentra en las fuentes termales y nos conduzca a calcular el grado de lixiviación que sufren las rocas por efecto de los vapores y gases volcánicos provenientes del interior de la tierra, arrastrando consigo elementos gaseosos de origen magmático, que suben y se condensan en la superficie terrestre.

Esta circunstancia podría dar un indicio sobre el grado de mayor o menor influencia magmática que sufran estas fuentes ya que la -- presencia de algunos elementos en cantidades considerables que se caracterizan por un alto peso específico y una estructura molecular sen-

cilla como el Hierro podrían ser factores decisivos para catalogar el grado de influencia magmática que sufren las fuentes en general.

En conclusión podemos decir que la finalidad de investigar el RESIDUO QUIMICO, es la de corroborar el mayor porcentaje de sólidos en las fuentes de las diferentes zonas, aunque no le concedamos mayor valor a esta investigación, ya que la cantidad de sólidos solubles depende generalmente de la topografía y constitución petrográfica del subsuelo.

CLORO.

La presencia de Cl^- en cantidad mayor de 50 p.p.m. podría deberse a la disociación elemental de una substancia molecular que contenga en su constitución el anión Cl^- ; pero, debido a la reacción altamente alcalina de las fuentes no puede pensarse en HCl libre. La presencia de Cloro en los análisis de aguas termales se justifica por la reacción verificada a su paso por dichas aguas con las rocas ambientales, de donde el Cl^- es lixiviado por el ingreso de Cloro proveniente de un cuerpo en su fase de cristalización.

White en 1957 indicó que el contenido de Cloro y Cloruros de los Alcalis proviene únicamente de la condensación de gases que vienen del interior de la tierra. Este Cloro proviene en parte del HCl del vapor volcánico magmático que se encuentra debajo de los macizos volcánicos reaccionando en las rocas subyacentes y formando los Cloruros de K, Na, NH_4 , etc.

ALCALIS.

Los cationes Na, K, Mg, Ca, característicos para aguas termales, pueden subir a la superficie en una fase líquida o gaseosa. El origen de ellos es principalmente magmático pero también existe un intercambio iónico entre el agua que sube y la roca ambiental.

Tales reacciones, especialmente intercambios de Potasio y Rubidio y algunas veces Na^+ , ya que tienen un radio iónico igual, pueden contribuir a establecer alguna relación química entre los campos LAGUNA VERDE y SALITRE, debido a la tendencia del Na a enriquecerse con relación al K por medio de inter-reacciones con las rocas.

BORO

La importancia de los análisis de BORO, es que dicho elemento es característico de las aguas termales y no proviene de inter-reacciones de los vapores volcánicos y la roca ambiental y es de gran importancia para relacionar el QUIMISMO, ya que es conservado en el agua termal. Quizá, de mayor importancia sea la relación Cl: B, pues es más constante donde las aguas subterráneas y fuentes termales tienen un origen común, es decir, que si el GRUPO LAGUNA VERDE y SALITRE tienen una relación entre Cl: B, igual entre sí, dependan de una misma fuente magmática.

El Calcio y el Magnesio son típicos de la segregación magmática normal y se encuentran en gran abundancia en rocas ígneas que contengan muchos anfíboles y Piroxenos y también en rocas sedimentarias.---

Puede que el Calcio y Magnesio que se encuentran disueltos en las aguas termales provengan de un cuerpo magmático cristalizado en su fase inicial o también de la lixiviación de rocas ígneas e ignimbritas que encuentran en su ascenso los vapores magmáticos.

Antes de entrar a la discusión sobre el quimismo de estos campos y la posible relación existente entre ellos, queremos describir los métodos usados en la investigación de R. Q., pH, C, E., Cl, B, Ca, Mg, Na, y K.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

Para el presente estudio se han realizado análisis de Sólidos solubles - pH, Conductibilidad Eléctrica, Cloro, Boro, Calcio, Magnesio - Sodio y Potasio en muestras de aguas de las siguientes fuentes termales de Ahuachapán:

GRUPO LAGUNA VERDE

Nombre	AGUA SHUCA
Ubicación	c.h. 411.500
	c.v. 309.700
Altura	850 m.s. n. m.
Temperatura	100 ^o C
No. de Muestras	1

=====

Nombre PLAYON DE AHUACHAPAN
Ubicación c.h. 411.400
c.v. 310.850
Altura 750 m. s.n. m.
Temperatura 99^oC.
No. de Muestras 1

=====

Nombre CERRO BLANCO
Ubicación c.h. 413.300-350
c.v. 308.650-800
Altura 1160 m. s. n. m.
Temperatura 93^oC.
No. de Muestras 1

=====

Nombre EL SAUCE
Ubicación c.h. 413.140
c.v. 309.250
Altura 1040 m. s. n. m.
Temperatura 97^oC.

=====

GRUPO SALITRE

Nombre SALITRE
Ubicación c.h. 413.100-414. 300
c.v. 317.200-319. 500
Altura 500-560 m. s. n. m.
Temperatura 68^oC., 43^oC y 65^oC respectivamente
No. de Muestras 3

GRUPO RIO PAZ

De este grupo no se hicieron análisis de ninguna fuente por lo que no se dan datos sobre ellas.

Además del muestrario de los campos termales antes mencionados se tomaron también de un pozo de Atiquizaya y otro de Chalchuapa.

Nombre	POZO ATIQUIZAYA	
Ubicación	c.h.	418.170
	c.v.	316.520
Altura	630 m. s. n. m.	
Temperatura	27.7 ^o C.	
No. de Muestras	1	
=====		

Nombre	POZO CHALCHUAPA	
Ubicación	c.h.	424.700
	c.v.	317.500
Altura	750 m. s. n. m.	
Temperatura	24.4 ^o C.	
No. de Muestras	1	
=====		

Para analizar las muestras de las diferentes fuentes se enumeran en la siguiente forma:

- No. 1 PLAYON DE AHUACHAPAN
- " 2 EL SAUCE
- " 3 NACIMIENTO SALITRE
- " 4 POZO ATIQUIZAYA

- No. 5 POZO CHALCHUAPA
- " 6 NACIMIENTO SALITRE
- " 7 AGUA SHUCA
- " 8 CERRO BLANCO
- " 9 SALITRE

FORMA COMO DEBE DE TOMARSE LA MUESTRA DE UNA FUENTE TERMAL:

La muestra se toma en botellas de plástico o de vidrio. Primera mente se lava el envase por lo menos 3 veces en el lugar donde se tome, luego se cierra herméticamente el envase y se toma la temperatura.

Es necesario mencionar que antes de realizar los análisis químicos se procedió a la apreciación de los caracteres organolépticos de-- cada una de las muestras, el cual en su orden correlativo es el si---- guiente:

- No. 1 Color amarillo pronunciado - abundante sedimento, inodoro.
- " 2 Transparente con poco sedimento inodoro.
- Nos.3-4-5 y 6 Transparente sin sedimento e inodoros.
- No. 7 Transparente con muy poco sedimento e inodoro.
- Nos.8 y 9 Transparentes sin sedimento e inodoros.

INVESTIGACION DE SOLIDOS SOLUBLES. METODO SELECCIONADO.

UTENSILIOS USADOS: Beakers, embudos de vidrio, polizones, dese-- cador, balanza eléctrica, filtro al vacío. Papel filtro No.42. Estufa. Cápsula de platino, Hot-Play.

Desécanse cápsulas completamente a 34°C. en Estufa (Hot-Play)-- por media hora, después enfríense por otra media hora en desecador. -- Filtréense al vacío hasta conseguir completa claridad y colóquense 100-cc alícuotas de cada muestra. Evapórense a constante 105°C. Enfríense en desecador; vuélvase a pesar y establézcase diferencia.

CALCULO: SOLIDOS SOLUBLES = grs residuo x 1,000.000/ml. en alícuota

RESULTADOS DEL ANALISIS:

<u>MUESTRA #</u>	<u>Caps. vacía</u>	<u>Caps. con residuo</u>	<u>Diferencia</u>	<u>p.p.m.</u>
1	49.2375 grs.	49.3425 grs.	0.1050 grs.	1,050
2	54.0025 "	54.0175 "	0.0150 "	150
3	48.9175 "	49.0350 "	0.1175 "	1,175
4	47.9150 "	47.9390 "	0.0240 "	240
5	49.6175 "	49.6425 "	0.0250 "	250
6	48.9025 "	48.94825 "	0.04575 "	4,575
7	47.3475 "	47.36555 "	0.01805 "	1,805
8	51.6175 "	51.6290 "	0.0115 "	115
9	49.5300 "	49.6785 "	0.1485 "	1,485

=====

pH

Los iones H y OH caracterizan los Acidos y las Bases respectivamente. La neutralización viene a ser la unión de estos iones con pérdida de las cargas eléctricas; de ella resulta HOH o H2O. El agua es por lo tanto, el líquido neutro en el sentido exacto de la palabra, y con-

ella ha de compararse la acidez o la alcalinidad.

Una misma substancia tiene tantos valores de pH cuantas sean las diluciones consideradas. Además el valor del coeficiente de disociación varía de una a otra. Este valor es muy pequeño en los Acidos Orgánicos; así, mientras en la disolución normal de ClH, 0.8 de átomo-gramo de Hidrógeno está en forma de ion, en el Acido Acético este valor es tan solo 0.0042.

El método más exacto para valorar la acidez de una solución es el de Nernst, que consiste en medir su fuerza electromotriz y aplicar una fórmula determinada. En la práctica se suele acudir a INDICADORES, de empleo sencillo y cómodo. He aquí una fórmula:

En 100 cc de Alcohol absoluto se disuelve:

- 0.10 grs. de Ftaleina de Fenol
- 0.20 " " Rojo de Metilo
- 0.30 " " Dimetilamido Azobenzol (Para)
- 0.40 " " Azul de Bromotimol
- 0.50 " " Azul de Timol

Se añade poco a poco solución decinormal de Sosa Cáustica hasta que la coloración pase a amarillo (pH=6).

Para hallar el pH se añade una gota de reactivo a 1 c.c. del líquido que se estudia. Del color se deducirá el grado de acidez o alcalinidad:

Rojo	pH = 2 muchísima acidez
Anaranjado	pH = 4 mucha acidez
Amarillo	pH = 6 débilmente ácido
Verde	pH = 8 " . alcalino
Azul	pH = 10 muy alcalino

Por este método se determina la acidez real, pero resulta mucho más práctico y más exacto la determinación del pH por medio del Potenciómetro.

METODO SELECCIONADO (potenciométrico)

Aparato: Medidor de pH con electrodos de vidrio.

Se toma la temperatura del buffer y se tasa (7) y se marca en el Potenciómetro (Los electrodos se secan y cubren con kleenex o papel absorbente y debajo de ellos se coloca el buffer). El manipuleo del potenciómetro es sencillo. Se pone en neutro, poniendo una marca en la aguja, si no se mueve se procede a la lectura. Después se sacan los electrodos lavándolos con Agua Destilada y dejando el aparato en neutro.

RESULTADOS:

MUESTRAS Nos.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pH:	6.5	3	7.2	7.4	4.3	7.4	6.8	2.3	7.5

CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA.

La Conductibilidad eléctrica la investigué en el Aparato SOLU--BRIDGE 10^{-5} .

20 c.c. de alícuota de cada muestra y a 25^oC. Siguiendo la técnica correspondiente, lavando suficientemente con agua destilada la -- CELULA, para pasar de una muestra a otra, investigando la sensibilidad constantemente y corroborando varias veces los resultados:

MUESTRAS Nos.:	1	2	3
	98 Mhos x 10 ⁻⁵	3 Mhos x 10 ⁻⁵	178 Mhos x 10 ⁻⁵
	=====	=====	=====
	4	5	6
	19 Mhos x 10 ⁻⁵	25 Mhos x 10 ⁻⁵	143 Mhos x 10 ⁻⁵
	=====	=====	=====
	7	8	9
	2 Mhos x 10 ⁻⁵	19 Mhos x 10 ⁻⁵	62 Mhos x 10 ⁻⁵
	=====	=====	=====

DETERMINACION DE CLORO METODO USADO

REACTIVOS:

Sol. 1/10 N de Nitrato de Plata (NO₃Ag)

Sol. 10% de Cromato de Potasio (CrO₄ K₂)

TECNICA:

Tomar 100 ml. de muestra y agregar medio ml. de Cromato de Potasio como indicador, valorar con la solución de Nitrato de Plata hasta que aparezca una coloración rojiza permanente. Comparar con Patrón de Agua Destilada.

CALCULO: 1 ml. de sol.1/10 N de NO₃Ag = 3.5457 mg. de Cloro

MUESTRAS Nos.: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

RESULTADOS: 42.5 41 575 32.5 28.5 472 49.3 47.3 450

ANALISIS DE BORO (Método Seleccionado)

Después de apreciar los caracteres organolépticos de cada muestra, filtré repetidas veces al vacío utilizando papel filtro No.42

MUESTRAS Nos.: 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Alícuotas ml.: 50 300 25 200 150 25 300 150 75

Se alcaliniza cada muestra con NaOH aproximadamente 0.10N en sendas cápsulas y se evapora en el Hot-Play evitando burbujeo. Para destruir la materia orgánica se ponen a continuación las cápsulas en el horno de 500° a 550°C. durante una hora. Se enfrían en campana desecadora. Se les agregan 5 ml. de ClH al 5% y se limpian bien las cápsulas con polizones y se llevan a la centrifuga a 1500 RPM durante 5 minutos.

A continuación se toma 2 ml. de muestra + 11 gts ClH + 10 ml. de SO⁴H² + 10 ml de Reactivo (Carmin) Se pone otra vez en campana desecadora cubierta con manta a obscuridad 45 minutos, en reposo y se lleva a lectura fotométrica a 585 mu (longitud de onda), contra un Testigo de Agua Destilada sometida al mismo procedimiento que la muestra.

RESULTADO:

MUESTRAS Nos.: 1 2 3 4 5 6 7 8 9
71 63 83 87 94 85 18 97 62

Habiendo corroborado los resultados anteriores en lo que a BORO se refiere, respecto a diferentes métodos de investigación, me permito dar a conocer los más recomendados y aplicados ya, por el Departamento de Agricultura de los E.E. U.U. en investigaciones recientes del citado elemento, pues hay gran interés por comprobar la presencia o ausencia de él, en aguas de diferente procedencia, ya que la deficiencia o exceso de BORO puede alterar sensiblemente el objetivo principal de las aguas de irrigación en la agricultura.

BORO

La determinación de BORO en el agua, desperdicios industriales y afluentes de aguas negras es importante en agricultura. El BORO en exceso de 2.0 mg/l en las aguas para irrigación es deletéreo para ciertas plantas y hay evidencia de que algunas son afectadas adversamente por concentraciones tan bajas como de 1.0 mg/l (o aún menos en invernaderos comerciales). Los siguientes métodos colorimétricos y volumétricos pueden usarse para la determinación de BORO en el agua, abañales y en desperdicios industriales.

El método CARMIN (A), es apropiado para la determinación de concentraciones de BORO en el límite de 1-10 mg/l, mientras que el Método CUCURMINA (B) es aplicable en el límite de 0.10-1.0mg/l. El Método potenciométrico de análisis volumétrico (C) es útil para el límite de BORO de 0.10-5 mg/l.

El límite de los tres métodos puede ampliarse por medio de dilu

ciones o concentraciones de las muestras originales. Los métodos colorimétricos ofrecen algunas ventajas sobre el método potenciométrico de análisis volumétrico. Se necesitan alícuotas más pequeñas (1-25 ml.)-- mientras que para el potenciométrico de análisis volumétrico se requieren 250 ml. Además los Fosfatos no interfieren en los métodos colorimétricos. Sin embargo el método Cucurmina, falla en presencia de Nitratos de Nitrógeno, que excedan de 20 mg/l. El Método potenciométrico en cambio, es aplicable especialmente a las aguas de alta concentración de BORO en donde es importante la exactitud.

MUESTRAS Y SU ALMACENAJE.

Las muestras deben guardarse en botellas de polietileno o en envases de vidrio resistente a los álcalis y boro libre.

A. METODO CARMIN COLORIMETRICO:

1. DISCUSION GENERAL:

1.1 Principio.

Ante la presencia de Boro, una solución de Carmín o Acido Carmínico en Acido Sulfúrico concentrado, cambia de rojo encendido a rojo--azulado o azul, según la concentración del Boro que esté presente.

1.2 Interferencias

Los iones que más frecuentemente se encuentran en el agua y cloacas no interfieren en este método.

1.3 La concentración mínima que se puede notar: 2 mg B.

2. APARATOS:

Equipo Colorimétrico. Se requiere uno de los siguientes:

2.1 Espectrofotómetro, para uso a 585 de longitud de onda, con un paso mínimo de luz de 1 cm.

2.2 Fotómetro de Filtración equipado con filtro anaranjado, que tenga un máximo de transmisión cerca de 565 de longitud de onda con paso mínimo de luz de 1 cm.

3. REACTIVOS. Almacénense todos los reactivos en botellas de polietileno o en recipientes al Boro Libre.

3.1 Solución standard de Acido

Bórico. Disuélvase 0.5716 g. H₃BO₃ en agua destilada y dilúyase a 1.000 ml; 1 ml. = 0.100 mg. B. Puesto que pierde peso al secarse a 105°C., debe usarse y mantenerse tapado apretadamente para evitar -- que absorba humedad de la atmósfera.

3.2 Acido Hidroclórico concentrado

3.3 Acido Sulfúrico concentrado

3.4 Solución de Carmín. Disuélvase 0.92 g. Carmín N. o Acido --
Carmínico, en 1 litro de Acido Sulfúrico concentrado.

3.5 Solución de Hidróxido de Sodio, IN. Disuélvanse 40 g de ---
NaOH y dilúyanse hasta 1 litro de Agua Destilada.

3.6 Solución de Acido Hidroclórico, 1 + 11.

4. PROCEDIMIENTO.

4.1 Preparación de la curva standard:

Dilúyanse porciones de Solución Standard de Acido Bórico, para-
obtener standards sobre el límite de 0.10 mg/l de Boro. Trátense 2 ml-
de cada solución como se describe en la Sec. 4.2 y determínese lo que-
marca el fotómetro contra un Testigo (blanco) de agua destilada sometida
al mismo procedimiento que las standards. Fijese el Testigo al 100%
de una transmisión en la escala logarítmica contra la concentración de
la escala lineal. Se sigue la ley de Beer y se debe obtener una curva-
calibradora de línea recta en cualquiera de los dos casos.

4.2 MUESTRAS QUE NO CONTENGAN MATERIAL ORGANICO.

Pipetear de la muestra 2.00 ml. en un frasco de erlenmeyer o un
tubo de ensayo de 30 ml. y agréguese 2 gotas de HCl concentrado. Agré-
guense 10.0 ml. de SO_4H_2 concentrado. Mézclese bien y enfríese. Agré-
guense 10.0 ml. de solución de Carmín; mézclese bien y déjese en repo-
so por lo menos 45 minutos. Determínese lo que marca el fotómetro a --
585 de longitud de onda contra un Testigo de Agua Destilada sometida--
al mismo procedimiento que la muestra.

NOTA: Se forman burbujas cuando se mezclan los líquidos. Cuando
se transfiere una solución que no está completamente mezclada a una cé-
lula óptica, se forman más burbujas, las cuales desaparecen muy lenta-
mente. Esto puede dar origen a un error muy serio.

Cuando la concentración de BORO es menos de 1mg/l, pipetéese -- una alícuota conveniente a un recipiente de platino, sílica o de porcelana. Alcalinícese con NaOH 1N y agréguese un pequeño exceso. Prepárese un testigo que contenga la misma cantidad de álkali. Evapórense ambas muestras y testigo en un baño a vapor hasta que quede seco; enfríese; agréguese 2.5 ml. + 1l de HCl; tritúrese con un agitador de hule.- Si se pone turbio, héchese la solución a un tubo cónico y centrifúguese hasta que quede claro. Tómese 2.00 ml. de la solución clara para análisis. Para una muestra de alto contenido de Boro dilúyase con aguadestilada y tómesese una alícuota conveniente para análisis.

4.3 MUESTRAS QUE CONTENGAN MATERIAL ORGANICO.

Hágase una alícuota conveniente justamente alcalina con NaOH 1N y agréguese un pequeño exceso. Prepárese un testigo que contenga la -- misma cantidad de álkali. Evapórense ambas muestras y testigo en un baño a vapor hasta que quede seco. Caliéntese hasta 500^o-550^oC. Enfríese y agréguese 2.5 ml + 1l ClH. Asegúrese que la solución esté Acida. Tritúrese con un agitador de hule. Héchese la solución en una centrifugadora cónica hasta que esté clara. Pipetear 2.00 ml. de la solución clara en un erlenmeyer y procédase como en la Sec. 4.2.

5. CALCULO: $Mg/1 B = \frac{Mg B \times 1000}{ml Muestra}$

Si se usó NaOH en tratar previamente la muestra, corríjase el-- resultado, substrayendo la cantidad de B requerida para ello, como de--

terminada por el reactivo Testigo. Si se concentró la muestra o se diluyó antes del análisis, debe multiplicarse o dividirse el resultado por el factor apropiado para convertir la concentración encontrada a aquella que estaba presente en la muestra original.

6. PRECISION Y EXACTITUD.

El Método es capaz de resultados exactos y responde a calcular hasta dentro de 4 mg. B.

DETERMINACION DEL BORO USANDO CARMIN.

Este método colorimétrico se describe para la determinación cuantitativa de Boro, basada sobre estas reacciones con una solución de Carmin en Acido Sulfúrico concentrado. El método es aplicable en concentración de Boro desde trazas hasta para varios cientos de partes por millón y en materiales como aguas, extractos de suelos, y materias vegetales. Interferencias de Nitratos y Nitritos son eliminados por el procedimiento. Germanio, Molibdeno, Cerio, Silicato, Fosfato, Amonio, Fluoruro y los Cloruros de Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio no interfieren.

El método es rápido y altamente preciso y se adapta para la determinación del Boro en aguas para irrigación, suelos y plantas.

El método necesita de pequeñas cantidades de material y es recomendable y efectivo para estudios de toxicidad.

DETERMINACION DE CALCIO (METODO USADO)

Primeramente se filtra la solución. Se pipetea 25 ml. de alícuota y se pone en un erlenmeyer de 125 ml. Se le agregan cinco gotas de NaOH y 50 mys. de Murexida (Purpurato de Amonio) y se titula con E.D.T.A. (Etileno-Diamina-Tetra-Acético).

El color cambia de Rosado a Morado (lila).

RESULTADOS:

MUESTRAS Nos.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6.2	14.2	2.0	22.99	23.18	12.0	5.7	3.6	8.7

OTRO METODO

REACTIVO: Sol. 1/10 M de tritriplex (sal disódica del ácido etileno-diamino-tetra-acético).

Sol. concentrada de NaOH Murexida como indicador.

TECNICA:

Tomar 100 ml. de la muestra; ajustar el pH a 12 con 3 ml. de Sol. NaOH, agregar 0.5 gms. de murexida (X gotas de una Sol. saturada, preparada en el momento de usarla), tomando la muestra una coloración roja; titular con la Sol. de Tritriplex hasta viraje completo a violeta.

CALCULO: 1 ml de Tritriplex = 5.6083 mg de CaO

DETERMINACION DE MAGNESIO (METODO USADO)

Se filtra con perfección, se pipetea 25 ml. de alícuota y se -

ponen en un erlenmeyer de 125 ml. Se le agregan X gotas de solución --
buffer de Magnesio. Se le ponen III gotas de reactivo Negro de Ergotán
y se titula con E.D.T.A. (Etileno-Diamina-Tetra-Acético). El cambio de
color es del Rosado al azul.

Para ver mejor el viraje se le agrega una gota de Rojo de Meti-
lo y entonces vira al verde pálido.

RESULTADO DEL ANALISIS:

MUESTRAS Nos.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	17.2	13.0	39.8	11.8	32.2	49.0	15.4	4.0	44.2

OTRO METODO

REACTIVOS:

Sol. 1/10 M de Tritriplex.

Sol. Buffer de Amoniaco y Cloruro de Amonio.

(350 ml. de NH_3 25%)

54 gms. " ClNH^4

H_2O c.s.p. 1000 mls.

Sol. alcohólica de Negro de Eriocromo T 2%

TECNICA:

Tomar 100 ml. de muestra, agregar 5 ml. de la Sol. buffer para-
ajustar el pH a 12, calentar a 40°C . o un poco más, agregar X gotas de
Negro de Eriocromo T y valorar en caliente con la Sol. Tritriplex has-
ta que el color violeta vire a azul celeste.

CALCULO:

Restar los ml. de Tritriplex gastados en la determinación de CaO.

1 ml. de Tritriplex = 4.032 mg de MgO.

Sodio (Investigación por "Flame Photometer") Método Usado:

APARATOS: Perkin Elmer modelo 52 "Flame Photometer" con acetileno o llama de propano.

REACTIVOS:

A) Acetato de Amonio aproximadamente 1 N., A 700 u 800 ml. de agua adicionada de 57 ml. de ácido acético concentrado y después 68 ml. de Hidróxido de Amonio concentrado. Diluir para un volumen de un litro y ajustar a un pH de 7.0 por la adición de más Hidróxido de Amonio o Acido Acético.

B) Cloruro de Sodio, 0.04 N. Disuélvase 2.338 gm. de Cloruro de Sodio anhidro en agua y dilúyase para un litro exactamente.

C) Cloruro de Sodio, 0.04N en Acetato de Amonio 1 N.

Disuélvase 2.338 gm. de Cloruro de Sodio anhidro en reactivo-A. Diluir en un litro exactamente con adición de A.

D) Cloruro de Litio, 0.05 N. Disuélvase 2.12 gm. de Cloruro de Litio anhidro en agua y diluir a un litro exactamente.

PROCEDIMIENTO

Usando reactivo B y D prepárese una serie de soluciones estan-----

dard de Cloruro de Sodio, cada una conteniendo la misma concentración de Cloruro de Litio. Prepárese una serie similar de soluciones standard de Cloruro de Sodio, usando reactivos C y D y use A para dilución. Las concentraciones recomendadas de Cloruro de Sodio son 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2, 3 y 4 meq./l. La concentración óptima de Cloruro de Litio cambia con cada clase de aparatos fotométricos de llama, pero es generalmente entre 5 y 10 meq./l. Soluciones standard hechas con agua son empleadas para los análisis de aguas y extractos húmedos de suelos; mientras soluciones standard hechas en Acetato de Amonio son usadas para los análisis de Acetato de Amonio, en extractos de suelos. Calibrar el "flame photometer" para operación sobre la concentración límite 0 a 1 meq./l. de Sodio usando las primeras seis soluciones standard de la serie apropiada. Use la primera y las 4 soluciones finales de la serie apropiada para calibrar el instrumento, para la apreciación sobre la concentración límite 0 a 4 meq./l de Sodio.

Pipetear una alícuota de la solución a ser analizada conteniendo no más 0.2 meq. de Sodio, introduciendo en un frasco volumétrico de 50 ml. Adicionar una cantidad de reactivo D tal que cuando sea diluido en un volumen de 50 ml. dará una concentración de Cloruro de Litio exactamente igual a las soluciones standard de Cloruro de Sodio. Dilúyase para volumen con agua, o con A, si los extractos de Acetato de Amonio han sido analizados. Mezclar y determinar la concentración de Sodio por medio del "Flame Photometer" y establézcase la curva de calibración.

mu 588 (Longitud de onda)

RESULTADOS DEL ANALISIS

MUESTRAS Nos.:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	10.9	11	279.2	17.4	16.5	350.1	11.8	2.1	378.0

Potasio (Investigación por "Flame Photometer") METODO USADO.

Aparatos: Perkin-Elmer modelo 52 Flame Photometer con acetilano y llama de propano.

REACTIVOS:

A) Acetato de Amonio, aproximadamente 1 N. Para 700 u 800 ml de agua adicionada de 57 ml. de Acido Acético concentrado y luego 53 ml. de Hidróxido de Amonio concentrado. Diluir para un volumen de un litro y ajustar a un pH de 7.0 por la adición de más Hidróxido de Amonio o Acido Acético.

B) Cloruro de Potasio, 0.02N. Disuelva 1.491 gm. de Cloruro de Potasio anhidro en agua y dilúyase a un volumen exacto de un litro.

C) Cloruro de Potasio, 0.02N. en Acetato de Amonio 1 N. Disuélvase 1.491 gm. de Cloruro de Potasio anhidro en reactivo A. Dilúyase a un volumen exacto de un litro con adición de A.

D) Cloruro de Litio, 0.05N. Disuélvase 2.12 de Cloruro de Litio anhidro en agua y dilúyase para un litro.

PROCEDIMIENTO

Usando reactivo B y D prepárese una serie de soluciones stan-----

dards de Cloruro de Potasio, conteniendo cada una la misma concentra--
ción de Cloruro de Litio. Prepárese una serie similar de soluciones --
standards de Potasio usando reactivos C y D, y usando A para dilución.
Las concentraciones de Cloruro de Potasio son: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4,
0.5, 1, 1.5 y 2 meq./l. La concentración máxima de Cloruro de Litio--
cambia con cada clase de aparatos fotométricos de llama, pero es gene--
ralmente entre 5 y 10 meq./l. Soluciones standards hechas en agua son--
empleadas para los análisis de aguas y extractos húmedos de suelos; --
por lo tanto, aquellos hechos en solución Acetato de Amonio son usados
para los análisis de Acetato de Amonio en Extractos de suelos. Calibre
de el "Flame Photometer" para operación, sobre la concentración desde
0 a 0.5 meq./l. de Potasio, usando las primeras seis soluciones stan--
dard de la serie apropiada. Usese la primera y las 4 últimas solucio--
nes de la Serie apropiada para calibrar el instrumento para aprecia--
ción sobre la concentración desde 0 a 2 meq./l de Potasio. Pipetear u--
na alícuota de la solución a ser analizada conteniendo hasta 0.1 meq.--
de Potasio en un frasco volumétrico de 50 ml. Adicionar una cantidad--
de reactivo D el cual, cuando se diluye a un volumen de 50 ml., dá una
concentración de Cloruro de Litio exactamente igual que en soluciones--
standards de Cloruro de Potasio. Diluir para volumen con agua, o con A,
si los extractos de acetato de Amonio han sido analizados. Mezclar y--
determinar la concentración de Potasio para el uso del "Flame Photome--
ter", y establézcase la curva de calibración.

mu 767 (longitud de onda)

RESULTADOS DEL ANALISIS:

<u>MUESTRAS Nos.:</u>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	6.1	6	221	4.2	8.7	5.1	5.3	47	40.0 p.p.m.-

Describo a continuación otro método corroborativo para la detección de Potasio.

REACTIVOS.

Acido Acético 1%

Disolver 5 cc de Acido Acético Glacial en un poco de agua destilada y completar a 500 cc.

Acido Sulfúrico

Disolver 50 cc de Acido Sulfúrico puro en un poco de agua destilada y completar 500 cc.

Acido Oxálico N/10

Solución de Permanganato N/10

Solución de Cobaltinitrito de Sodio

Disolver 20 gms. de Acetato de Sodio y 20 gms. de Cobaltinitrito de Sodio en un poco de agua y completar a 100 cc. Dejarla 10 minutos y filtrar. Esta solución se prepara en el momento de usarla.

ASBESTOS:

Hervir con una solución decinormal de Permanganato de Potasio y luego decolorar con una solución de Acido Oxálico decinormal. Filtrar en un embudo de Buchener y lavar con agua destilada caliente hasta que el Asbesto esté libre de ácido. Luego incinerarlo a 400°C. en un horno

de mufla y después de suspenderlo en agua destilada.

DETERMINACION.

Tomar una alícuota de la solución A y colocarla en una cápsula de porcelana y llevarla a sequedad. Tratar al residuo con 30 cc de Acido Acético al 1% y disolver con ayuda de un agitador con punta de hueso. Filtrar sobre filtro seco, embudo seco y recibir el filtrado seco. Tomar 2 alícuotas de 10 cc del filtrado, agregárselas lentamente y con agitación de beakers conteniendo 10 cc de solución de Cobaltinitrito de Sodio recientemente preparado. Tapar con vidrios de reloj y dejarlo durante 12 a 16 horas, en un refrigerador a 3°C. Filtrar en un crisol de goch al que se le ha puesto una capa delgada pero compuesta de Asbestos. Lavar el precipitado con agua destilada fría (3°C) tratando de no excederse de tres minutos en el lavado. Colocar el goch con el precipitado en un beaker y cubrirlos con agua tibia. Después, con ayuda de la pizeta se limpia el crisol dejando el precipitado cuantitativamente en el beaker. Agregar 5 cc de Acido Sulfúrico al 10% y luego suficiente permanganato standard para que la solución quede coloreada. Calentar hasta ebullición y agregar más Permanganato si es necesario, después de agregar Acido Oxálico standard hasta completa decoloración de la solución. Luego retitular con Permanganato standard hasta una coloración rosa pálido que se mantenga por lo menos durante 30 segundos.

CALCULO: 1 cc de MnO_4K N/20 = 303 mg. de K ó a 365 mgm de K_2O

GRUPO LAGUNA VERDE

Resultado del análisis en p.p.m. realizado por el S.G.N.

	C1	R.Q.	Ca	Mg	Na	K	B pH	T.o C	Elevación en m
CERRO BLANCO	50	-	3	3.6	2.0	45	- 2.3	93	1160
EL SAUCE	41	-	13.20	12.8	10	5	- 3.0	97	1040
AGUA SHUCA (Rio)	42.5	-	6	16.0	11.8	5.4	- 6.8	100	850
PLAYON AHUACHAPAN	42.5	-	4.8	18.0	11.5	5.8	- 6.5	99	750

=====

GRUPO SALITRE

SALITRE E	411	-	11.00	45.0	335.0	5.0	- 7.4	43	545
SALITRE W	447	-	7.60	47.4	430	40.0	- 7.5	68	540
NACIMIENTO SALITRE	575	-	1.20	40.5	-	-	- 7.2	65	535

RESULTADO DE LOS ANALISIS LLEVADOS A CABO EN EL PRESENTE TRABAJO POR R. MENDOZA FONTAN

	C1	GRUPO LAGUNA			VERDE			B	pH	Temp. o C.	Elev. en metros
		R.Q.	Ca	Mg	Na	K	B				
CERRO BLANCO	52	1857	3.6	4.0	2.1	47	97	2.2	93	1160	
EL SAUCE	47	950	14.2	13.0	11	6	63	3.1	96	1040	
AGUA SHUCA	49.3	828.5	5.7	15.4	11.8	5.3	18	7.0	30	850	
PLAYON AHUACHAPAN	45.2	793.6	6.2	17.2	10.9	6.1	71	6.4	99	750	

=====

		GRUPO SALITRE								
		p.p.m.								
SALITRE E	472	1175	12	49.0	350.1	5.1	83	7.2	41	545
SALITRE W	450	1485	8.7	44.2	378.0	40.0	85	7.8	68	540
NACIMIENTO SALITRE	525	4575	2.00	39.8	279.2	22.1	62	7	67	535

DISCUSION SOBRE EL QUIMISMO.

El propósito principal de esta discusión es ver si tanto los -- campos termales del GRUPO LAGUNA VERDE, como los campos del grupo SALI-- TRE sufren influencia termal individual o si el grupo SALITRE, sólo es consecuencia de las circunstancias hidrológicas del subsuelo, es decir, si el agua calentada en la zona de macizos volcánicos (donde está loca-- lizado el grupo Laguna Verde) y luego, por el flujo del agua subterrá-- nea fluye hacia la planicie originando el grupo SALITRE.

Esta discusión se basa sobre los resultados obtenidos en los -- análisis químicos mencionados.

Juzgamos conveniente exponer los resultados de los promedios -- de análisis químicos anteriormente realizados por el SERVICIO GEOLOGI-- CO NACIONAL y publicados en el ANAL IV (Órgano publicitario oficial -- del S.G.N.) para que sirvan de comparación con los resultados obteni-- dos en el presente estudio (Ver cuadros Fig.5 y Fig.6)

SOLIDOS SOLUBLES

Los resultados de SOLIDOS SOLUBLES o RESIDUO QUIMICO de los an-- lisis realizados oscila entre 1000 y 700 p.p.m. en el grupo LAGUNA-- VERDE, y de 1000 a 3000 p.p.m. en el grupo SALITRE. Considerando que -- ambos grupos tienen diferente altura sobre el nivel del mar es lógico -- pensar que los valores de RESIDUO QUIMICO sean mayores en la zona de -- LAGUNA VERDE que en la de SALITRE, pues existe un mayor espesor de ca--

pas rocosas que en la zona de SALITRE, y por eso la lixiviación de material podría ser mayor en este campo que en la zona de SALITRE, pero el caso es todo lo contrario pues existen más SOLIDOS SOLUBLES en SALITRE que en LAGUNA VERDE. Esto se puede explicar en dos formas: a) Que se trate de un flujo calórico intenso proveniente de un cuerpo magmático no muy profundo, el cual corroce las rocas que encuentra a su paso y brota a la superficie terrestre cargado de SOLIDOS SOLUBLES. Este proceso podría ser aceptado en el caso de LAGUNA VERDE, siempre que la temperatura fuese menor que en SALITRE; sin embargo sucede lo contrario, pues el aumento del RESIDUO QUIMICO en las fuentes de SALITRE es bastante elevado para poderse aceptar fácilmente que tales campos son consecuencia del agua calentada en la zona de LAGUNA VERDE y que fluya en la parte baja (SALITRE).

El CLORO de las fuentes termales puede provenir de la lixiviación de las rocas volcánicas o de alguna fuente magmática. La presencia de 50 p.p.m. de él, en las fuentes termales indica que es lixiviado por las rocas volcánicas por flujos calóricos provenientes del interior terrestre y no proviene directamente de una fuente magmática caliente. En el caso de LAGUNA VERDE y SALITRE, donde la cantidad de Cloro oscila entre 40 50 p.p.m. en el primero y 400 - 500 p.p.m. en el segundo. La explicación más sencilla que se puede dar es, que el calor de la fuente es originado por el vapor volcánico que proviene de la profundidad de los grandes volcanes; éste sube a través de las raíces de los macizos volcánicos de Ahuachapán y calienta el agua subterránea de origen meteórico, convirtiendo parte de ella en vapor, el cual escapa-

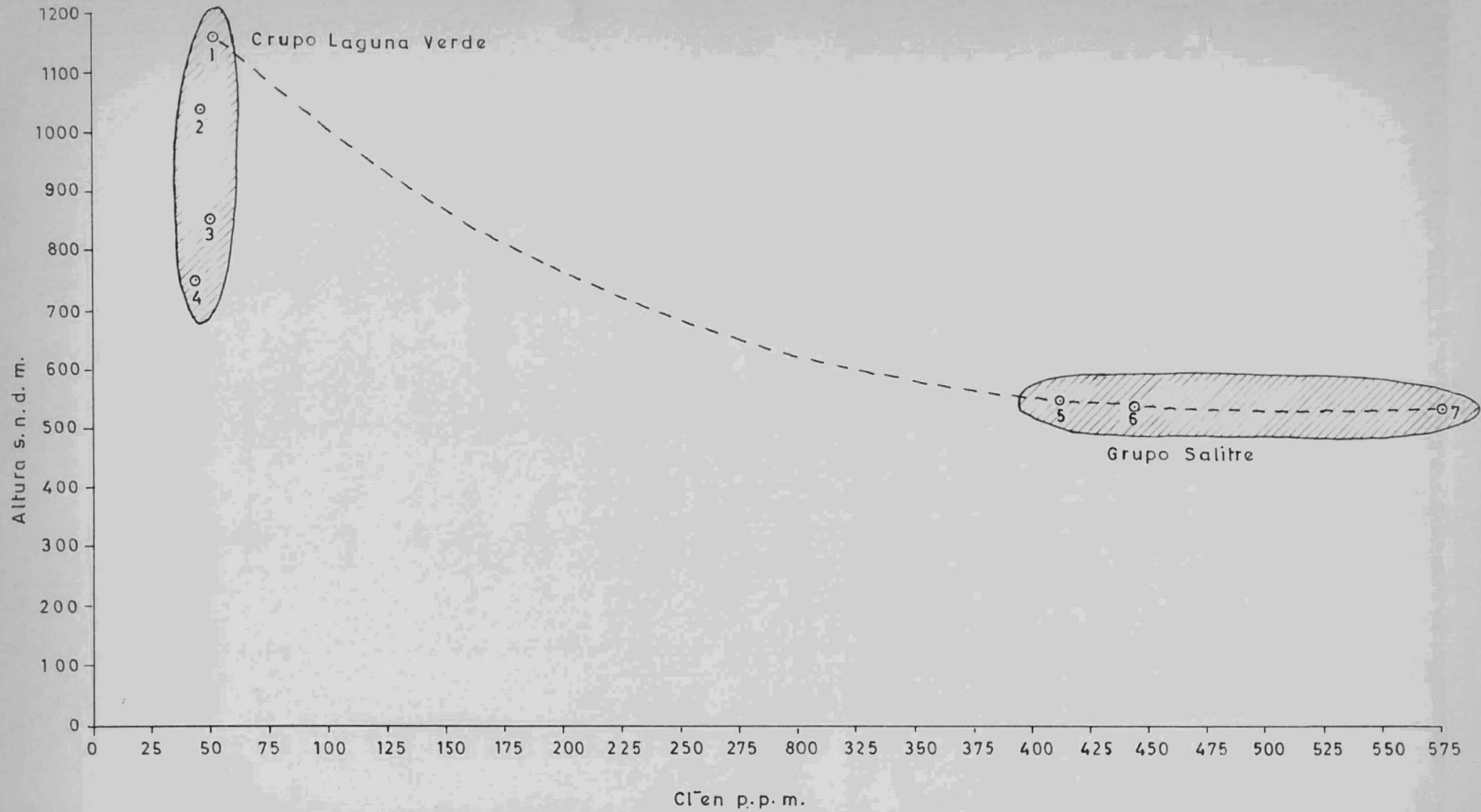
por las áreas fumarólicas. Parte del vapor y del agua subterráneas podrían moverse por gravedad hacia el Norte y aparecer como fuentes en niveles más bajos.

Áreas tales como AGUA SHUCA, PLAYON DE AHUACHAPAN, podrían ser mencionadas como áreas por donde agua de altas temperaturas se acerca a la superficie formando las fuentes por las cuales se libera vapor y permite que el agua continúe moviéndose hacia el Norte, y las fuentes de SALITRE podrían descargar el agua caliente que se ha movido desde lugares más lejanos y que se ha vuelto más fría debido a la pérdida de calor por conducción a través de las rocas que cubren dicho curso y al mismo tiempo lixiviando el CLORO de las rocas y aumentando el contenido de éste en el agua, ^{que} al brotar a la superficie en SALITRE contiene una cantidad mayor de CLORO que la que brota en el grupo de LAGUNA VERDE (Ver diagrama Fig. No.3 indicando el porcentaje de CLORO).

El Calcio y el Magnesio pueden ser lixiviados de las rocas ambientales que encuentran a su paso los vapores volcánicos y también disueltos de las rocas por las aguas termales.

Behre y Garrels afirman que las soluciones ascendentes (agua juvenil) tienden a presentar una razón Ca: Mg menor que las soluciones descendentes (Aguas compuestas y Aguas meteóricas).

Basándonos en el concepto de Behre y Garrels y considerando los análisis de Ca y Mg, en los grupos de Ahuachapán, cuyos resultados son:



CURVA IDEALIZADA DEL AUMENTO DE Cl^- EN (P. P. m.) CON RELACION A LA DISMINUCION DE ALTURA DE LOS GRUPOS TERMALES LAGUNA VERDE Y SALITRE.

GRUPO LI VERDE

	Ca (p.p.m.)	Mg (p.p.m.)
ERRR BLANCO	3.6	4.0
EL SAUCE	14.2	13.0
AGUA SHUCA	5.7	15.4
PLAYON DE AHUACHAPAN	6.2	17.2

GRUPO SALITRE

SALITRE E	12.0	49.0
SALITRE W	8.7	44.2
NACIMIENTO SALITRE	2.0	39.8

Podemos suponer que tales campos son originados por dos calentamientos completamente individuales provenientes de dos flujos calóricos independientes, pero tomando en cuenta la dirección del movimiento de aguas subterráneas el cual es de los macizos volcánicos, donde están situados los campos termales de LAGUNA VERDE a la zona de planicie donde están los grupos de SALITRE. Podría pensarse que el agua calentada en la zona alta (Macizos volcánicos) en su paso por las capas rocosas va lixiviando el CALCIO y el MAGNESIO y al brotar en la superficie en la zona de SALITRE los valores de CALCIO Y MAGNESIO tienen que ser mayores.

El problema se presenta en que el CALCIO en el campo de SALITRE en lugar de aumentar su valor disminuye, mientras que el MAGNESIO aumenta. Esto se podría explicar debido a que el CALCIO solamente puede-

ser lixiviado de las rocas por aguas termales con temperaturas altas-- en relación con el agua que puede lixiviar el MAGNESIO de las rocas -- que puede tener temperaturas mas bajas.

Los ALCALIS y ALCALINOTERREOS, de fuentes ácidas con un contenido alto de SO_4 , son lixiviados de las rocas ambientales y consecuentemente éstos no están relacionados con la solución de hidrotermal ya -- que no constituyen parte elemental de su composición química. Por eso la relación Na y K no tiene mayor importancia para apreciar el grado -- de influencia calórica que tienen las zonas termales en su aspecto general, pero en el caso de las zonas de las aguas termales de Ahuachapán la relación Na: K nos proporciona un medio útil para determinar la distancia relativa que ha viajado el agua subterránea, debido a la tendencia del Na de enriquecerse con relación al K por medio de inter-reacciones con las rocas, pues el Na y el K ayudan a investigar la distancia que ha recorrido el agua subterránea al existir una uniformidad petrográfica en el subsuelo como en el caso de la región de Ahuachapán; por lo tanto, en este caso esta relación si es de gran utilidad.

Los resultados analíticos de SODIO y POTASIO en los grupos termales de Ahuachapán son:

GRUPO LAGUNA VERDE

	Na	K	Na: K
CERRO BLANCO	2.1	47	22.4
EL SAUCE	11	6	1.8
AGUA SHUCA	11.9	5.3	2.2
PLAYON DE AHUACHAPAN	10.9	6.1	1.7

GRUPO SALITRE

	Na	K	Na:K
SALITRE E	350.1	5.1	68.6
SALITRE W	370.0	40.0	9.4
NACIMIENTO SALITRE	279.2	22.1	12.6

En la tabla anterior observamos que los valores de la relación Na:K en la región del grupo LAGUNA VERDE nos da valores relativamente bajos comparados con los valores de SALITRE; También hay que apreciar el enriquecimiento del Na con relación al K; esto nos indica que el aumento de SO_4 se debe a interacciones provocadas por el agua subterránea con las rocas ambientales en su movimiento de los macizos volcánicos hacia la zona de planicie donde está el grupo SALITRE.

Durante su transcurso el agua subterránea produce tales reacciones y al brotar a la superficie en la zona de SALITRE va cargada con un alto contenido de Na con relación al K; luego el campo SALITRE puede que sea consecuencia del calentamiento del agua subterránea en la zona de los macizos volcánicos.

BORO

El BORO es elemento característico de emanaciones vaporíferas geotermales y prácticamente no se encuentra en las rocas ígneas.

Goldschmidt estima en 3 grs por tonelada la cantidad existente de Boro en ellas, luego el contenido abundante de Boro en las fuentes termales puede deberse exclusivamente a influencia directa de las va-

pores volcánicos.

En el caso del grupo LAGUNA VERDE, donde los valores oscilan entre 97 y 18 p.p.m., se debe con gran seguridad a influencia de los vapores volcánicos, mientras que en el grupo SALITRE donde los valores oscilan entre 83 y 62 p.p.m. posiblemente se deban al movimiento del agua subterránea, pero considerando la volatilidad del BORO puede que durante su transcurso de los macizos volcánicos a la zona de planicie se pierda alguna cantidad de tal elemento, la cual es recuperada por influencia termal en el campo SALITRE.

El siguiente cuadro nos da los resultados de los análisis llevados a cabo en los pozos de Atiquizaya y Chalchuapa y nos demuestra que no existe influencia termal, aunque su temperatura sea mas o menos normal.

		Temp.C	Altura m.s.n.m.	RQ	PH		
No. 4	Pozo Atiquizaya	29.1	630	240	7.4		
No. 5	Pozo Chalchuapa	24.4	750	190	4.3		
=====							
	C. Elect.	Cl	B	Ca	Mg	Na	K
No. 4	19	32.5	87	22.99	11.8	17.4	4.2
No. 5	25	28.5	94	23.18	32.2	16.5	8.7

CONCLUSIONES

Las conclusiones finales a las que hemos llegado es que los campos situados en los macizos volcánicos con seguridad tiene influencia termal debido a la presencia de BORO en las fuentes termales. EL-

AGUA SUBTERRANEA METEORICA es calentada por estos vapores incorporándose a ella nueva cantidad de agua magmática y aumentando su caudal, esta agua entra en contacto con las rocas ambientales y que al brotar a la superficie llevan un porcentaje mayor de elementos.

No pensamos en que existan dos calentamientos magmáticos individuales en tales grupos, pero si por futuras investigaciones con perforaciones más profundas se realizan nuevas investigaciones geoquímicas, con seguridad; si existe influencia geotermal será en una cantidad mínima en la zona de SALITRE.

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

- ALLEN, E. T. Hot springs of yellowstone National Park.
Carnegie Inst. Wash. Pub., 466, 1935
- CHRISTMAN, G Geochemical aspects of thermal spring in El Salvador
U.N. Conference on New Sources of Energy, Sect. II. A.1
E/Conf. 35/C./10, ROMA . 1961
- DURR, F, Energía Geotérmica, Informe No.1. Publicación Interna -
del Servicio Geológico Nacional.
- Ellis, A. J. Chemical equilibrium in magmatic gases - Am. J. Sci. --
233, p. 416 - 431 - 1957
- GOLDSCHMIDT, V. M. Geochemistry. Edited by E. Muir.
At the Clarendon Press, Oxford 1958
- RANKAMA k. y SAHAMA G/ Geoquímica. Universidad de Helsinki. Edit. A-
guilar Madrid. 1954
- MASON B, A. Principios de Geoquímica. Universidad de Columbia EE.--
UU. Editorial Omega 1960
- TURNER, F. J. y VERHOOGEN, J.: Igneous and Metamorphic petrology
McGraw Hill, New York. 1960
- White D. E. Thermal spring and epithermal ore deposits.
Econ. Geol., 50 Anniversary Volume, p. 99- 155, 1955
- SEEGER, D. Hidrología regional de la parte Norte del Departamento
de Ahuachapán. Anales del Servicio Geológico Nacional-
Bol.4 San Salvador, 1962

- VALIENTE, Noemí. Aspectos Químicos de Manifestaciones Geotermales de la Región de Ahuachapán, El Salvador. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Químicas. Mayo 1959
- MONTERROSA Magaña, Stela. Análisis de Gases del Campo Fumarólico de Ahuachapán. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Químicas. Octubre de 1959
- UNITED STATES Sallinity Laboratory Staff
Diagnosis and Improvement of Saline and alkaly soils
Agriculture Handbook No. 60
United States Department of agriculture
- ROMERO HERNANDEZ, Santiago Orlando. Conductibilidad Eléctrica de las aguas de origen Geotérmico. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Químicas. Julio 1959