

I S M M

FACULTAD DE GEOLOGIA

TRABAJO DE DIPLOMA

BUSQUEDA HIDROGEOQUIMICA DE YACIMIENTOS POLIMETALICOS
EN LA SIERRA DEL PURIAL/

AUTOR : MAGALYS PUPO GARCIA.

GUIAS : ING J REBORIDO .

ING J SANJURJO.

MOA 1981

INDICE

Pag.

Resumen.....	
Introducción.....	
Parte General.....	
Cap. I. Condiciones físico geograficas.....	1
I.1-Situación y limites.....	
I.2-Orohidrografía.....	
I.2.1-Relieve.....	
I.2.2-Hidrografía.....	
I.3-Clima.....	
I.3.1-Temperatura.....	
I.3.2-Precipitaciones.....	
I.4-Economía y vías de comunicación.....	
Cap. II. Condiciones geológica.....	9
2.1-Investigaciones geológicas anteriores.....	
2.2-Geología regional.....	
2.3-Geología del área.....	
2.3.1-Estratigrafía.....	
2.3.3-Magmatismo y vulcanismo.....	
Cap. III. Tipos, volúmenes y metodología de los trabajos.....	22
Cap. IV. Condiciones hidrogeológicas del área.....	29
Cap. V. Fundamentos teóricos del método hidrogeoquímico- de búsqueda.....	38
Cap. VI. Búsqueda hidrogeoquímica.....	45
Cap. VII. Análisis crítico de los trabajos.....	56
Cap. VIII. Conclusiones y recomendaciones.....	59
8.1- Conclusiones.....	
8.2- Recomendaciones.....	
Anexo gráficos.....	63
Bibliografía.....	64

RESUMEN.

El presente Trabajo de Diploma "Búsqueda hidrogeoquímica de yacimientos polimetálicos" en la Sierra del Purial" tiene como objetivo básico valorar el contenido de los diferentes elementos en el agua para la búsqueda de yacimientos minerales.

En el mismo se ofrece una información de las características físico geográficas , se estudian las condiciones geológicas e hidrogeológicas del área , se da una fundamentación teórica del método hidrogeoquímico de búsqueda y se analizan de forma amplia los diferentes complejos de aureo las hidrogeoquímicas presentes en el área para la búsqueda de yacimientos minerales.

Por último se señalan las conclusiones y recomendaciones a nuestro criterio ayudarían a un trabajo futuro de mayor calidad.

INTRODUCCION.

El presente Trabajo de Diploma "Búsqueda hidrogeoquímica de yacimientos polimetálicos en la Sierra del Purial" tiene como objetivo fundamental el estudio de las condiciones hidrogeoquímicas del área para la búsqueda de yacimientos polimetálicos y como objetivo complementario crear en el diplomante los hábitos y habilidades para procesar, resumir y aplicar los conocimientos adquiridos durante su carrera.

Es preciso señalar que el material bibliográfico para la confección de este trabajo no fué suficiente, ya que es la primera vez que se realiza un trabajo de esta índole en nuestro país, con el cual se ha incrementado un método más para la búsqueda de yacimientos minerales y además ha servido de complemento a los demás métodos empleados para el Levantamiento Sierra del Purial realizado por la Empresa de Geología de Santiago de Cuba.

Las investigaciones hidrogeológicas realizadas responden al Proyecto Técnico Económico de dicho levantamiento, -- que abarca un área de 2100 Km² . Los trabajos de campo fueron ejecutados en el período comprendido entre los años --- 1977 y 1979 , sin embargo el procesamiento de los datos se hizo en el último semestre de 1980 culminandose en Enero de 1981.

A partir de Septiembre de 1980 la autora de este trabajo bajo la dirección del Ingeniero José Reborido Fernández -- procedió a la ejecución del informe final que es el contenido de este trabajo.

Es bueno señalar que la falta de literatura técnica - que tratara sobre la búsqueda hidrogeoquímica fue suplida por la asesoría brindada por el compañero antes mencionado y por el Ingeniero Vacheslov Demidov.

Este trabajo consta de una parte general donde se hace un esbozo de las características geográficas - económicas y geológicas de la región y una parte especial que trata sobre las condiciones hidrogeológicas del área , se da una fundamentación teórica del método hidrogeoquímico de búsqueda y se estudian las condiciones para la búsqueda hidrogeoquímica de yacimientos minerales. Por último para -- culminar el trabajo se dan las conclusiones y recomendaciones.

La autora no desea terminar esta introducción sin -- antes expresar sus mas sinceros agradecimientos a la Empresa de Geología de Santiago de Cuba y en especial al -- Ingeniero José Reborido Fernández por la asesoría brindada , así como a los Ingenieros Armando Núñez Carty, R. - Cordovés , Carlos Puig , a la técnico Rosa Guerra y a todos los compañeros que de una forma u otra ayudaron a la feliz culminación de este trabajo.

Capítulo I.- Condiciones físicas geográficas.

1.1.- Situación y límites.

El área objeto de estudio se encuentra situada al Este de la antigua provincia de Oriente (Anexo N.1). Comprende los municipios de San Antonio del Sur, Imías, Baracoa y Maisí y abarca un área de 2100 Km² enmarcados en las planchetas topográficas n. 5276 y 5376 del mapa a escala 1:100 000.

Los límites geográficos de la zona son los siguientes: Hacia el norte la limita el curso inferior del Río Toa el Océano Atlántico, al Sur el Mar Caribe, al Este el Paso de los Vientos y al Oeste el Río Yateras.

La referida área responde a las coordenadas, Lambert, - Norte 187,7, Sur 151, Este 782,7 y Oeste 705,12.

La población del territorio es irregular y se concentra principalmente al Oeste de la región y en la Costa. Los poblados más habitados son: Puriales de Caujerí, San Antonio del Sur, Imías, Cajobabo, La Tinta, La Asunción, Maisí y Sabana. A 50 Kilómetros al Oeste del área se encuentra el centro de la provincia Guantánamo y a un Km al Norte, el puerto de Baracoa.

1.2.- Orohidrografía.

1.2.1.- Relieve.

La zona de estudio se caracteriza por un relieve montañoso; en ella se distingue varios grupos orográficos siendo el principal de ellos el grupo Sierra del Purial situado entre el Va-

lle de Caujerí y la Mesete de Maisí. El relieve presente en esta zona es de montañas bajas profundamente diseccionadas con alturas máximas de 1 000 a 1 200 m. y alturas mínimas de 500 a 700 m.

Al Noroeste de la Sierra del Purial se encuentran las Cuchillas del Toa situada entre los ríos Toa y Jiguaní al Oeste y el río Quiviján al Este. Hacia la parte Norte se localizan las Cuchillas de Baracoa ubicadas entre los ríos Quiviján y Yumurí. En esta área también está presente un relieve de montañas bajas profundamente diseccionadas en forma de cuchillas. Este tipo de releive es característico de las rocas metamórficas que afloran en dicha área.

Al Sur de la Sierra del Purial se extiende a lo largo de la costa una serie de elevaciones que presentan numerosos niveles de terrazas costeras en sus laderas dirigidas al mar. Las cimas de estas elevaciones va aumentando gradualmente hacia el Este hasta que se funden con la meseta y terrazas de Maisí, la que constituye la más oriental de todas las unidades geomorfológicas de Cuba. Hacia el mar la superficie del terreno va descendiendo en amplias terrazas al Este, hacia el Paso de los Vientos, entanto que hacia el Norte las terrazas se hacen mucho más estrechas.

Las costas que bordean el área presentan un relieve abracivo cárcico.

1.2.2.- Hidrografía

Los ríos que drenan las montañas de la Sierra del Purial forman en la mayoría de los casos valles estrechos y profun-

dos que mantienen estas características hasta su desembocadura en el mar, presentando un desnivel entre el fondo de los valles y las cimas de las elevaciones adyacentes de varios centenares de metros. Los ríos que cortan las elevaciones costeras del Caribe forman cañones muy profundos que en el caso del río Jauco tienen formas casi verticales de 400 m. de altura.

De igual forma el río Yumurí situado en la vertiente - Norte forma cañones muy profundos.

Cuando en su curso los ríos atraviesan formaciones poco resistentes se forman valles intramontanos, siendo el más importante de ellos, el Caujerí que está labrado por el río Sabanalar y sus afluentes. Son notables también por sus dimensiones - los valles de Imías y San Antonio del Sur.

En general la red fluvial de la zona de estudio está bien desarrollada y únicamente en su extremo oriental es deficiente. Los ríos de la cordillera oriental de la Sierra del Puñal constituyen parte de mayor abundancia acuífera.

Entre los principales ríos que drenan la zona de estudio se pueden citar los siguientes:

Río Toa.- Este constituye uno de los principales ríos de Cuba. Posee una longitud total de 118 Km y su cuenca abarca un área de 1 053 Km². Este río atraviesa la zona de estudio sólo en la parte Noroeste, en la Cuenca I donde se presenta con un curso sinuoso, observándose una serie de meandros que hacia su curso medio se hacen más serrados. El río presenta varias direc-

ciones, pero en general su rumbo es de Oeste a Este. Los cambios que éste presenta en su rumbo están asociados a la tectónica de la zona.

Río Quiviján.- Se extiende a lo largo de la Cuenca II, presenta un curso sinuoso con desarrollos de meandros que se hacen menos pronunciados en la zona de las serpentinitas; su dirección se ve afectada por la tectónica de la zona.

Río Sabanalamar.- Este se localiza a lo largo de la Cuenca III, su curso es sinuoso con gran cantidad de meandros que se pronuncian más hacia su curso superior y medio donde se desarrollan los esquistos y se hacen menos pronunciados en los conglomerados.

Río Duaba.- Corre a lo largo de la Cuenca IV, presenta desarrollo de meandros en su curso superior y medio y cambia localmente su dirección debido a la tectónica de la zona.

Río Yacabo Abajo.- Se localiza en la Cuenca V. No presenta gran extensión.

Río Jojo.- Situado en la Cuenca VI se presenta un curso sinuoso de meandros estrechos en la zona de los esquistos.

Río Miel.- Corre a lo largo de la Cuenca VII. Presenta muchos meandros y cambia su dirección según la tectónica de la zona.

Río Jauco.- Representa a la Cuenca VIII; su curso es poco sinuoso con desarrollo de algunos meandros en las zonas -- donde se localizan los esquistos.

TABLA DE PRECIPITACIONES

MUNICIPIO	SAN A. DEL SUR		IMIAS		BARACOA		MAISI	
	Fozo Azul		Farola		La Diversión		Los Jagueyes	
	1978	1979	1978	1979	1978	1979	1978	1979
Pluviómetros								
AÑOS								
MESSES								
Enero	64,7	37,0	274,2	153,3	129,7	218,3	405,0	69,0
Febrero	76,8	10,0	235,5	210,7	26,5	180,4	130,9	313,0
Marzo	67,9	-	199,1	130,5	84,8	165,9	118,8	137,1
Abril	100,9	-	86,3	56,1	149,5	91,9	68,0	39,6
Mayo	219,3	135,4	177,7	255,5	368,0	314,4	168,0	219,0
Junio	130,0	150,9	242,0	149,5	162,2	129,7	107,2	12,8
Julio	86,1	59,7	102,0	180,8	138,9	100,7	155,0	28,8
Agosto	101,5	114,0	88,5	104,2	63,0	97,5	124,5	-
Septiembre	151,5	434,4	254,9	730,2	84,2	448,4	272,6	346,0
Octubre	137,7	318,8	273,2	261,0	74,6	89,2	224,5	-
Noviembre	37,3	27,4	190,7	174,8	130,0	147,0	164,0	38,5
Diciembre	1,0	5,7	39,2	103,3	93,0	69,0	90,5	95,5
TOTAL	1174,3	1292,6	2168,3	2509,0	1504,4	2053,2	2102,2	1299,3

Río Yumuri.- Este se localiza en la Cuenca IX; es de gran extensión, presenta gran desarrollo de meandros y cambia su dirección según la tectónica de la zona.

Los ríos mencionados anteriormente, así como sus afluentes tienen un curso permanente, en cambio hacia toda la costa -- Sur y Este del área los arroyos que corrían sobre las litologías de las Formaciones Cabo Cruz, Maya y Maquey permanecieron secos durante todo el período que duró el levantamiento, excepto el río Maya y otros arroyos situados al Este del área (Cuenca X) -

Otros ríos de menor importancia en el área son: Río - Seco, Río Macaguani, Río Roble, Río Mata, Río Baracoa, etc.

La red hidrográfica en general es de forma pennada.

1.3.- Clima.

El clima ejerce gran influencia en las condiciones hidrogeológicas de una región; ésto se pone de manifiesto por la acción de sus principales elementos, como son: temperatura, precipitaciones, evaporación, etc.

1.3.1 Temperatura.

El clima de la región es de tipo tropical y está - sometido a la acción de los vientos alisios del Noreste y los vientos alisios del Sureste los que presentan velocidades de - 19,2 Km/ H.

En la zona de estudio puede observarse gran variación de la temperatura del aire. Según datos el Atlas Nacional (1980) se puede notar que la temperatura media anual del aire

hacia la costa Sur y Este del área alcanza valores mayores de 26°C, entanto que ésta va disminuyendo hacia el centro del área donde los valores oscilan entre 17 y 20°C.

Según el punto de observación situado en la Punta de Maisí, la temperatura máxima absoluta del aire es de 37°C y la mínima de 17°C.

1.3.2.- Precipitaciones

Cuba se caracteriza por una gran cantidad de precipitaciones atmosféricas cuyo valor promedio para toda la isla según observaciones de muchos años es de 1410 mm. En las regiones montañosas el régimen de precipitaciones es mayor que en las regiones llanas.

En el área se distinguen dos períodos muy bien definidos; el período de seca que abarca los meses de noviembre a abril y el período de lluvia los meses de mayo a octubre.

En la tabla de precipitaciones se dan los valores de las precipitaciones por meses y el total anual para los años 1978, 1979. En los pluviómetros Pozo Azul del municipio San Antonio del Sur, Los Jagüeyes, del municipio Maisí, Farola, del municipio Imías y La Diversión, del municipio Baracoa, observándose que los máximos valores de precipitaciones se registran en el mes de septiembre para todas las estaciones pluviométricas en el año 1979 y los mínimos en los meses de marzo-abril.

Para el territorio de Baracoa, el 48% de las precipitaciones caen en el período de lluvia y el 52% en el período de seca.

Esta distribución al resto de los municipios donde el 30% de las precipitaciones caen en temperatura seca y el 70% en la época de lluvia.

En general las mayores precipitaciones se producen en la parte Norte del área donde alcanzan valores mayores de 3 000 mm. y las menores en la costa Sur.

1.4.- Economía y vías de comunicación.

En la región de estudio se distinguen dos importantes ciudades; Guantánamo, capital de la provincia y Baracoa. La provincia cuenta con una población de más de 200 000 habitantes. La economía es fundamentalmente agropecuaria predominando el cultivo del café, cacao, caña de azúcar y plátano.

El desarrollo industrial de la región se encuentra representado por 18 industrias, las cuales dedican su producción a la confección de alimentos; éstas se encuentran en los dos núcleos poblacionales más importantes de la provincia --- (Guantánamo y Baracoa).

La provincia cuenta con dos aeropuertos civiles, uno en la ciudad de Guantánamo y otro en Baracoa y un puerto para exportación e importación.

Particularmente en el área de estudio la economía está basada en el cultivo del café y cacao. El desarrollo industrial es pobre, predominando la industria alimenticia y en menor grado, la industria ligera.

Las vías de comunicaciones en el área poseen po-

co desarrollo y están representadas por una carretera principal que une la ciudad de Guantánamo con Baracoa y atraviesa los poblados de San Antonio del Sur e Imías. Además cuenta con caminos secundarios que unen varios poblados, como son: Baracoa-Maisí, Maisí-Cajobabo, Imías- Los Calderos, Maisí- Latinta-Baracoa, etc. El área cuenta con una aereopuerto civil situado en la ciudad de Baracoa.

En resúmen, en el área de estudio el relieve se caracteriza por ser montañoso donde las mayores elevaciones se sitúan hacia la parte Norte, central y Oeste, del área y las menores hacia el Este y Sur donde se observa un relieve de mesas y mesetas. La red hidrográfica de la zona está bien desarrollada y sólo en su extremo oriental es deficiente. La temperatura media anual del aire varía en toda el área aumentando su valor desde la parte central hacia las costas. Las precipitaciones están distribuidas en dos períodos: uno de lluvia que abarca los meses de mayo a octubre y otro de seca que abarca desde noviembre a abril.

Capítulo II.- Condiciones geológicas de la región

2.1.- Investigaciones geológicas anteriores.

El grado de conocimiento geológico del extremo suroriental de nuestra isla es bastante deficiente ya que se carece de materiales de información detallados.

Las primeras investigaciones de interés sobre la provincia fueron realizadas N. H. Darton y Meijjer en 1926. Ellos proponen y describen la Formación Maquey de carácter terrígenos y dejar establecidos algunos rasgos de la geología del área.

Entre los años 1931 y 1934. S. Taber publicó algunos datos sobre la región de Guantánamo en los que se descubre la geología de la Sierra del Purial definiéndola como el flanco Norte de un anticlinal que continuaba supuestamente en la Fosa de Bartlett.

En el año 1944 la compañía petrolera cubana realizó un levantamiento granimétrico en esca 1: 500 000 con el fin de encontrar yacimientos de petróleo. Y fue confeccionado un mapa geológica esquemático en escala 1: 100 000 del área más perspectiva de la región (Guantánamo).

En el año 1955 el geólogo M. Kozary realizó en esta misma región trabajos de reconocimiento y búsqueda de petróleo.

Luego del triunfo de La Revolución y como parte del plan de nuestro gobierno para el desarrollo geológico de la isla se llevaron a cabo la mayoría de los trabajos proyectados

en la Sierra del Purial, la cual era prácticamente desconocida.

A mediados de los años 60 A. F. Adamovich y V. D. -
Chajovich presentaron un informe sobre investigaciones geológi-
cas realizadas por ellos durante el mapa geológico a escala --
1: 200 000 de la región de Baracoa en la cual se exponen los -
rasgos generales de la geología del extremo oriental de la Sie-
rra del Purial y las Cuchillas de Baracoa, se estudian los me-
tamorfitos de la Sierra del Purial y se ejercen interesantes su-
gerencias sobre su edad.

En 1964 los geólogos checoslovacos Coch, Mysh y Tyšls
realizaron un reconocimiento geológico del tramo de la vía azul
entre Cajobabo y La Farola, además de presentar el informe de --
este estudio muestran un mapa de escala 1: 50 000 del tramo de
la carretera estudiado y una estrecha faja adyacentes.

En 1970 M. Somin y G. Millán visitaron la Sierra del
Purial realizando algunas marchas para el estudio de las metamor-
fitas. Los Resultados obtenidos fueron incluidos en un informe
dedicado al estudio de los macizos metamórficos de Cuba.

En 1971 un grupo de especialistas franceses A. Michard,
J. Butterlin y A. Boileau, acompañados de geólogos de la anti-
gua escuela de geología de la Universidad de Oriente realizaron
algunas marchas en San Antonio del Sur, Macambo y la Vía Azul
de donde se recogió el material primario para la confección de
una pequeña nota científica sobre las metamorfitas de alta pre-
sión en la Sierra del Purial. Esta nota fue acompañada por un -

pequeño mapa que revela diferencias con los mapas geológicas de Cuba a escala 1: 1000 000 y 1: 500 000.

Desde fines del año 1972 hasta fines de 1973 A. Boiteao, M. Campos (de la Universidad de Oriente) realizaron un estudio preliminar a escala 1: 100 000 en la parte Sur de la Sierra del Purial entre las localidades de San Antonio del Sur al Este y Cajobabo al Oeste. En el informe planteado se descubren las características litológico estructurales del borde Sur del macizo metamórfico del Purial y brevemente las características de las Formaciones sedimentarias que recubren dicho macizo, además fue confeccionado un mapa geológico a escala 1: 100 000.

En el transcurso de los años 1973-1974 los geólogos - R. Quintas y M. Campos y J. Cabiellas, de la Universidad de Oriente realizaron algunas investigaciones para aclarar diversos aspectos de la geología del flanco Sur de la Sierra del Purial, y mapear en detalles algunas áreas. Los datos reunidos durante estos años de investigaciones fueron unificados en un informe en el cual por primera vez para la Sierra del Purial se escribe todo el corte en informaciones, proponiéndose algunas nuevas unidades estratigráficas características de la región central de la antigua provincia de Oriente. Además se proponen algunas nuevas ideas de la tectónica regional.

En 1975 los graduados F. Gallardo y H. Fourment realizaron trabajos de diplomas en el Valle de Imías. El primero trató la estratigrafía de las formaciones sedimentarias del Valle de Imías y el segundo la geología del mismo a escala ---

1: 25 000.

En 1977 J. Cobiella, F. Quintas, M. Campos y M. Hernández realizaron el informe del trabajo titulado " Geología de la región central y Suroriental de la provincia Guantánamo" en el cual se unifican los diferentes trabajos realizados en la región antes de esa fecha.

En 1978, la graduando Carmen Vega en su trabajo de diploma realizó el estudio petrográfico de las anfibolítas Macambo en la zona de La Tinta, cmunicipio Baracoa.

En 1979 W. Ríos en defensa de su título de ingeniero geólogo realizó un estudio petrográfico- geológico-estructural de las anfibolitas presentes en San Antonio del Sur, en la zona de Macambo.

En la actualidad se están realizando investigaciones en toda el área de la Sierra del Purial hasta Maisí a cargo de Empresa de Geología de Santiago de Cuba y además continúan las investigaciones por el Departamento de Ciencias Básicas del Instituto Superior Minero Metalúrgico.

2.2 Geología Regional

En Cuba Oriental desde el punto de vista regional pueden distinguirse cuatro grandes estructuras que se extienden en forma de Arco Convexo hacia el Noroeste. Estas estructuras son:

- 1.- Anticlinorium Sierra Maestra.
- 2.- Sinclinorium Oriental

3.- Anticlinal Oriental

4.- Cuenca Nipe- Baracoa.

Anticlinorium Sierra Maestra.- Este coincide en gran medida con las montañas del mismo nombre. La denominación de Anticlinorium no parece adecuada para esta estructura que es más bien un monoclinal en el cual como regla general los buzamientos se hacen más pronunciados hacia el Sur, hundiéndose las capas hacia el Norte en la Cuenca de Santiago de Cuba y hacia el Noroeste en la Cordillera de La Gran Piedra. Localmente como sucede al Norte de Santiago de Cuba, la adyacencia monoclinal está complicada por pliegues lineales a veces tumbados hacia el Norte, fallas inversas y pequeños cabalgamientos. No obstante a las objeciones anteriores se mantiene el nombre de Anticlinorium que durante los últimos quince años se ha aplicado a esta estructura esperando que futuros estudios puedan precisar esta naturaleza.

Sinclinorium oriental.- Está situado inmediatamente al Norte del Anticlinorium Sierra Maestra, entre éste y el anticlinal oriental. Se extiende desde el Golfo de Guacanayabo hasta Playitas de Cajobabo en la provincia Guantánamo. El Sinclinorium presenta una estructura sencilla formada por pliegues --suaves (braquipliegues y domos) cortados por algunas fallas -- y solamente en su extremo Oriental, en Cajobabo, hay dislocaciones intensas (sobrecorrimientos).

El Sinclinorium Oriental se encuentra enclavado en un área con una fuerte tendencia a la subsidencia desde inicios -- del Paleógeno por lo que ha recibido un gran espesor de sedimen_

mentos y aún en la actualidad su extremo Occidental (Llanura del Cauto y Golfo de Guacanayabo) es una región de intensa sedimentación.

Anticlinal Oriental. Se denomina con este nombre a la enorme estructura en forma de arco convexo hacia el Noreste que se extiende desde la Sierra de Nipe al Oeste a través de la Sierra Cristal, Cuenca de Río Sagua , Cuchillas del Toa y Sierra del Purial hasta la Meseta de Maisí al Sureste . El Anticlinal Oriental comprende el Anticlinorium Mayarí - Baracoa y el Horst de la Sierra del Purial de la clasificación de Pucharowski et al .

Las investigaciones realizadas en los últimos años - han demostrado por un lado la existencia del supuesto Horst de la Sierra del Purial y por otro lado la afinidad de las estructuras de ambas regiones .

El Anticlinal Oriental consta de dos niveles estructurales notablemente diferentes . Su núcleo está constituido por rocas casi siempre intensamente deformadas que forman una sierra de mantos tectónicos , en tanto que en los flancos están formados por rocas Cenozoicas fundamentalmente del Paleógeno, poco dislocado y un espesor limitado pues el Anticlinal ha demostrado una marcada tendencia al ascenso desde inicios del Paleógeno y aún mantiene ese caracter.

Cuenca Nipe Baracoa. Se encuentra ubicada inmediatamente al Norte del Anticlinal Oriental, formada por rocas Eocé

nicas o mas jóvenes de la cual solo es visible su flanco Sur, pues gran parte de ella está cubierta por el Océano Atlántico. Esta estructura ha sido muy poco estudiada y se poseen datos - muy limitados sobre sus características, de aquí que se proponga para ella el nombre un poco vago de Cuenca.

Estas cuatro grandes estructuras mencionadas tienen una historia geológica bastante larga que en el caso del Anticlinal Oriental se remonta al Paleoceno. Ya a fines del Eoceno todas se encuentran bien diferenciadas, manteniendo su naturaleza hasta la actualidad.

Las rocas mas antiguas de Cuba Oriental afloran en el núcleo del Anticlinal Oriental y están representadas por diferentes secuencias de metamorfitas, rocas vulcanógenas y serpentinitas. Las metamorfitas yacen en la Sierra del Purial, en el borde de las Cuchillas del Toa y Baracoa y en la Sierra Cristal, Por su composición son muy variadas y están representadas en ellas los tres complejos distinguidos en los macizos metamórficos cubanos por Somin y Millán . Algunos de ellos parecen alóctonos (metavulcanitas y rocas metamórficas sedimentarias - agrupadas por Cobiella et al en varias formaciones) , en tanto que otras (anfíbolitas) es posible que sean autóctonas. Las metavulcanitas están representadas por labas , tobas y tufitas - de composición andesítica y basáltica, las cuales constituyen el equivalente no metamorfizado de las metavulcanitas de Sierra del Purial. Afloran en ventanas tectónicas en las Cuchillas de Baracoa y al parecer

de Baracoa y al parecer también en el Valle de Caujerí y más ampliamente en las elevaciones predominantes de la Sierra Cristal. Todas estas rocas están cubiertas por un enorme manto serpentinitico que se extiende desde la Sierra de Nipe hasta cerca de Maisí, por debajo del cual en muchos lugares yace una melange del Maestrichtiano rica en material serpentinitico.

Según los datos de Kozarú, Levis y Furrázola et al -- en el límite occidental de la Sierra Maestra en la base del corte yacen vulcanitas, areniscas y conglomerados tobáceos de edad Aptiano - Turoniano sobreyacidas por rocas terrígenas del Campaniano - Maestrichtiano por arriba de las cuales descansan rocas vulcanógenas sedimentarias (Formación El Cobre). Al Este de la entrada de la Bahía de Guantánamo se ha reportado la existencia de esquistos verdes.

En el Anticlinorium Sierra Maestra y el Sinclínorium Oriental el corte Paleoceno - Eoceno Medio está representado -- por las capas de la Formación El Cobre que alcanza varios miles de metros de potencia acunándose hacia el Anticlinal Oriental -- en cuyo flanco Sur su espesor no pasa de unos 1000 m y en áreas extensas está ausente. Al Sur de la Sierra del Purial las capas de la Formación El Cobre están ausentes y son reemplazadas parcialmente por las brechas de la Formación San Ignacio.

2.3.- Geología del área.

La Sierra del Purial comprende una de las cuatro grandes estructuras regionales del extremo oriental, la cual fué--

propuesta por J Cobiella con la denominación de Anticlinal Oriental.

2.3.1.- Estratigrafía.

En la estructura de la región se encuentran rocas metamórficas, terrígenas y carbonatadas del Jurásico al Holoceno. Estas rocas están distribuidas en las siguientes formaciones:

Formación Sierra Verde (J₃ - K₁)

Tiene propagación limitada al Este del área. Está representada por mármoles, esquistos cloríticos, sericíticos, grafiticos, arcillosos y anfibolíticos con lentes de cuarcitas de color gris verdoso, pardos, fracturados y agrietados.

Formación Farola (K₁₋₂)

Tiene una propagación muy amplia en el área. Está representada por esquistos sericíticos - cloríticos, esquistos grafiticos - cloríticos, esquistos sericíticos - silíceos - cloríticos y esquistos silíceos - cloríticos - carbonatados.

Formación Guira de Jauco (Mz?)

Tiene propagación limitada en la parte Este del área. Está representada por mármoles, una redeposición de capas de anfibolitas, esquistos finos a gruesos de color verde, esquistos cloríticos y ultrabasitas serpentinizadas.

Formación San Ignacio (P')

Tiene propación al Sur del área. Está representada por brechas masivas con fragmentos gruesos no clasificados de esquistos y serpentinitas.

Formación El Cobre ($P_1 - P_2^2$)

Tiene propagación limitada al Sur y Noreste del área. Está representada por tobas ácidas , areniscas , gravelitas y brechas tobáceas de color blanco grisáceo.

Formación San Luis (P_2^{2-3})

Se localiza al Suroeste del área. Está constituida -- por lutitas , aleurolitas de color gris verdoso , areniscas de granos finos algo carbonatadas, argilitas con intercalaciones de gravelitas y granos redondeados de esquistos.

Formación Cilindro (P_3)

Se propaga al Oeste del área . Está representada por conglomerados calcareos que en la parte superior se transforman gradualmente en conglomerados polimicticos con intercalaciones de areniscas.

Formación Maquey ($P_3^3 - N_1'$)

Tiene propagación al Sur y Oeste del área. Está constituida por una fuerte redeposición de aleurolitas y areniscas en cemento calcáreo , calizas arcillosas y arenosas de color -- blanco amarilloso y carmelita.

Formación Cabo Cruz ($N_1'^{-2}$)

Tiene amplia propagación al Este del área. Está re -- presentada por aleurolitas de color gris claro y calizas biogénicas.

Formación Maya (N_1^3)

Se propaga al Sur , Este y Noroeste del área. Está -- constituida por conglomerados con cemento calcáreo, calizas car

sicas fracturadas de color crema rosáceo.

Formación Cauto (Q_{I-II})

Tiene propagación al Oeste del área. Está constituida por arenas , arenas arcillosas con intercalaciones de lodo. Estas crocas presentan una coloración gris a gris amarilloso y están mal clasificadas.

Formación Jaimanitas (Q_{I-III})

Se localiza a la orilla del mar , bordeando el área de estudio. Está representada por calizas organógenas algo recristalizadas de color blanco amarilloso a crema ; masivas y a veces cársicas.

Formación Jutía (Q_{IV})

Se encuentra en la costa Sur del área . Está representada por aleurolitas calcáreas , arenas , arcillas y margas, a veces con guijarros finos ; en ocasiones se encuentran intercalaciones y lentes de turba. La potencia de ésta es de I - 5 m.

Formación Río (Q_{IV})

Se localiza al Oeste , Sur y Noreste del área . Está representada por bloques de rocas decantadas , gravas , arenas, aleurolitas y arcillas .

2.3.2.- Tectónica.

Con relación a la estructura una gran parte (central) de la región representa en si el pilar tectónico (horst) de Sierra del Purial , el cual está formado principalmente por rocas metamórficas del Jurásico. En su mayor parte estas tienen un bu

zamiento monoclinal al Noreste , midiendo un ángulo de 30° - 40°
La yacencia monoclinal comparativamente rara de las rocas se --
complica con los grandes pliegues y amplitud de las alas de has
ta 10 Km y mas frecuentemente pliegues pequeños .

Al Oeste, Sur, Este y Noreste el Anticlinorio se ro
dea de cavidades superpuestas rellenas por depósitos terrígenos
y carbonatados. Depósitos mas antiguos del Eoceno - Oligoceno --
tienen ángulo de buzamiento de hasta 15° - 30° con inclinación -
del pilar tectónico. Los depósitos del Neógeno tienen yacencia-
suavemente inclinada de hasta 10° - 15° . En las rocas metamórfi-
cas antiguas (del Jurásico) se propagan amplias fallas de ca-
rácter de desplazamiento, corrimiento y ruptura , las cuales se
mapean con gran dificultad debido a la gran monotonía del perfil

2.3.3.- Magmatismo y vulcanismo.

Entre las rocas intrusivas la mayor propagación la-
tienen las ultrabasitas (serpentinitas) . Estas se extienden en
dirección Sureste de una amplia faja (cinturón) en la parte No-
reste y Sureste de la región , en forma de un macizo grande in-
dependiente que compone las montañas de la Sierra del Purial y
Sierra del Convento. Además se encuentran pequeños cuerpos de--
serpentinitas en las regiones de desarrollo de los esquistos me-
tamórficos. Estos a veces tienen forma de lentes y están rela -
cionados con zonas de fallas tectónicas. Las rocas tienen un co
lor gris oscuro , granos medios parcialmente esquistosos y espe
jos de fallas bien desarrollados. Las serpentinitas , en gene -

ral son hapoharzburgitas. Al Norte de la región , en la cuenca del Río Toa , aflora un macizo grande de gabroides . También se encuentran cuerpos pequeños de gabros y gabro - diabasas en la región de desarrollo de los esquistos metamórficos ; a veces estos están serpentinizados; las rocas un color gris y granos medios. Otros grupos de rocas tienen una propagación muy limitada y dimensiones pequeñas . Están representadas por : en la región del Yacimiento Elección sills de composición diorítica y en el curso inferior del Río Jojo cuerpos de andesito-dacitas, yacente entre las rocas vulcanógenas sedimentarias de la Formación El Cobre.

PARTE ESPECIAL.

Capítulo III.- Tipos, Volúmenes y Metodologías de los trabajos.

El área objeto de estudio para la confección de este informe abarca un área de 2100 Km² enmarcados en la Sierra del Purial.

Para la ejecución de la tarea hidrogeológica en dicha área se realizó un complejo de métodos, los cuales se expresan en la tabla N°1a y que a continuación se describen.

3.I.- Itinerarios hidrogeológicos.

Este método de levantamiento hidrogeológico es muy importante para el estudio de cualquier zona o región ya que nos da una información primaria muy útil de las características hidrogeológicas de los horizontes acuíferos superiores. Durante estos trabajos se realizaron las siguientes observaciones:

3.I.1.- Observaciones Geológicas.

3.I.2.- Observaciones Geomorfológicas.

3.I.3.- Observaciones Hidrogeológicas.

3.I.4.- Observaciones Hidrológicas.

3.I.5.- Observaciones Geobotánicas.

Durante estos trabajos fueron mapeados y documentados todos los puntos de muestreo de todas las manifestaciones acuíferas (manantiales, arroyos, ríos). (Ver anexo N° 2) a través de todas las depresiones del relieve, haciendo énfasis en las partes bajas de cañadas, ríos y arroyos.

TABLA DE TRABAJOS HIDROGEOLOGICOS

No.	T I P O S D E T R A B A J O S	U.M	Volumen Proyectado	Volumen Real	%
1	Itinerarios hidrogeológicos	Km ²	2 100	800	38,09
2	Observaciones hidrogeológicas durante la perforación.	M	8 200	481,0	5,8
3	Bombes de pruebas	<u>Pozos Pert</u> Brig turno	<u>6</u> 18	0	0
4	Muestreo hidroquímico	Muestras	420	405	96,5
5	Mediciones simultáneas de - los niveles en los pozos.	Mediciones	84	18	21,4

TABLA 1a

Es preciso señalar que los puntos de muestreo no responden a la escala del mapa pero son suficientes para la caracterización de los complejos acuíferos del área, lo que justifica la no realización de todos los itinerarios.

3.2.- Observaciones hidrogeológicas durante la perforación.

Estas observaciones se realizaron con el fin de valorar las condiciones hidrogeológicas e ingeniero geológicas desde un punto de vista cualitativo. Durante las mismas se realizaron numerosas observaciones :

1.- Mediciones de los niveles de las aguas subterráneas al comienzo y terminación de cada turno de perforación.

2.- Caída libre del instrumento de perforación señalando el intervalo en el cual ocurre y su longitud.

3.- Pérdida y retroceso del líquido de perforación señalando el % e intervalo en los cuales ocurren.

4.- Grado de recuperación del testigo.

Según se observa en la Tabla N° I las mediciones de los niveles no fueron realizadas en todos los pozos, a consecuencia de la falta de cintas de mediciones de los niveles de las aguas subterráneas.

3.3.- Bombeos de pruebas.

Estos trabajos no se realizaron ya que para la escala de los trabajos no serían representativos. Además, éstos se proyectaron para las área de búsqueda, las cuales no se de-

finieron con exactitud hasta que culminaron los trabajos de levantamiento, incluyendo el informe geológico.

3.4.- Muestreo hidroquímico.

El muestreo hidroquímico se realizó durante los itinerarios hidrogeológicos, en los manantiales, arroyos, ríos y pozos campesinos, de manera tal que caracterizaran a todas las formaciones geológicas del área con dos muestras como mínimo - para cada una, tomando una para análisis químico y otra para análisis espectral, las cuales fueron analizadas en los laboratorios "Elio Trincado Figueredo" de la ciudad de Santiago de Cuba e "Isacc del Corral" de la ciudad de la Habana respectivamente.

Durante los análisis químicos fueron determinados -- los siguientes elementos: CO_3^- , HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , Ca, Mg, Fe, Na, K. Además PH, dureza y mineralización. Durante los análisis espectrales se determinaron: As, Sb, Ge, Ti, Pb, Sn, W, Ag^{-4} , Ni, Bi, Co, Mo, Cd, Cu, Co, Zn, Ba, Ga, Fe, Cr, Mn, V y Al. Para estos análisis espectrales se procedió a la evaporación de las muestras de agua para la obtención del residuo seco.

Las condiciones tomadas en cuenta para el muestreo -- fueron: limpieza del embase y su tapa y hermeticidad en su tapado (cierre cuidadoso del embase y forro de parafina).

A las muestras tomadas para análisis espectrales se le añadieron de 3 - 5 ml de H_2SO_4 como plantea la metodología para este análisis.

La toma de muestras fue realizada en botellas de vidrio con capacidad de 0,75lt.

Previo a la toma de muestras la botella fué endulzada con el agua escogida para el análisis.

Como se observa en la Tabla N° I no fueron tomadas -- todas las muestras planteadas para este trabajo; ésto fué motivado por la ausencia de manifestaciones acuíferas en las Formaciones Maquey, Jaimanitas, y San Ignacio y por el número reducido de éstas en las Formaciones Cabo Cruz y Maya. Además por la falta de transporte para ir a todos los puntos requeridos -- del área y por falta de un batómetro para muestrear en los pozos geológicos de mapeo y estructurales.

3.5.- Mediciones simultánea de los niveles en los pozos geológicos.

Estas mediciones se efectuaron con el objetivo de confeccionar el mapa de hidroisohipsas, con ayuda de los manantiales mapeados y los niveles medidos en los pozos campesinos.

Las mediciones fueron realizadas 24 horas como mínimo después de perforados los pozos , para lograr así la evacuación natural del agua empleada como líquido de perforación y la consiguiente estabilización del nivel del manto acuífero.

La no ejecución de estas mediciones en todos los pozos fué producto de la falta de cintas . Las mediciones no realizadas fueron sustituidas por trabajos realizados por la Empresa de Hidroeconomía de Guantánamo.

Una vez culminados los trabajos de fueron analizados los resultados obtenidos de los mismos y elaborados en forma de gráficos y tablas, para los cuales se realizó en primer lugar la clasificación de las aguas subterráneas según la fórmula de Kurlov, dando el tipo de agua según Alekin.

La fórmula utilizada para esta clasificación fué :

$$M, \frac{2A}{2C}, PH$$

M.- Mineralización.

2A.- Aniones de mayor % equivalente.

2C.- Cationes de mayor % equivalente.

De esta clasificación fueron obtenidos diferentes tipos de aguas, las cuales se expresan en las Tablas N° 1, 2, 3, 4, 5 y además fueron representados en forma de diagramas circulares en el mapa de medios químicos. (Ver anexo N° 3).

Los materiales gráficos confeccionados fueron:

- Mapa de ubicación geográfica.
- Mapa de datos reales.
- Mapa de hidroisohipsas.
- Mapa de mineralización.
- Mapa de medios químicos.
- Mapas hidrogeoquímicos de diferentes elementos

Mapa de ubicación geográfica

Este fue confeccionados con datos del Atlas Nacional de Cuba.

Mapas de datos reales.

Fue confeccionado a escala 1: 50000. En él fueron plasmados todos los datos reales del área como son: punto de muestra en manantiales, ríos, arroyos, pozos campesinos y criollos (Ver anexo No 3).

Mapa de hidroisohipsas.

Este mapa se realizó con los datos de los niveles de las aguas subterráneas medidos a algunos pozos de perforación y a los pozos criollos y campesinos así como con todos los manantiales mapeados durante los itinerarios. Para este mapa fue utilizado la base topográfica a escala 1:100 000 por medio de la cual se determinó la cota del nivel del agua subterránea (Ver anexo N° 7).

Mapa de mineralización.

Se confeccionó en base a los rangos que establece la instrucción y recomendación metodológica vigente actualmente en la URSS para la búsqueda hidrogeoquímica (Ver anexo N° 5).

Mapa de medios químicos.

En éste se tomaron como base las muestras que caracterizaban a las diferentes formaciones geológicas. Al número de muestras hidrogeoquímicas, cercanas unas a las otras, que caracterizaban a una formación determinada se le hallaron los valores promedios de los % de Mg eq/l. de los aniones y cationes.

Con éstos se confeccionaron los diagramas circulares para la representación de los medios químicos. Este mapa se realizó sobre la base geológica de los trabajos realizados por la Brigada Gu-bano-Hungaro con algunas modificaciones realizadas por la Empresa de Geología de Santiago de Cuba (Ver anexo No. 4)

Mapas hidrogeoquímicos de diferentes elementos.

Para confeccionar estos mapas fueron tomados como base los contenidos en ml/l de los diferentes elementos en cada punto muestreado, separando luego las áreas con contenido de fondo del elemento de acuerdo a la mineralización según plantea la -- instrucción metodológica vigente en la URSS (Tabla No. 2a) así como los sectores en los cuales existían aureolas hidrogeoquímicas (Ver anexos No. 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14)

Mapa hidrogeoquímico complejo.

Este fue confeccionado por el método grafoanalítico. -
(Ver anexo No. 15)

Mapa de PH

Se elaboró en base a los resultados obtenidos de los - análisis químicos divididos éstos según los rangos de acidés y basicidad. (Ver anexo No. 6)

Capítulo IV.- Condiciones hidrogeológicas del área.

Las condiciones hidrogeológicas que a continuación se exponen no caracterizan de forma amplia y detallada las condiciones hidrogeológicas de los complejos acuíferos detectados en el área de estudio, ya que los datos que se tienen no son suficientes para hablar ampliamente y con más precisión de los mismos.

Después de analizados los itinerarios realizados en el área fueron detectados siete complejos acuíferos, que por el poco grado de estudio a que han sido sometidos no se han podido dividir en horizontes acuíferos. Estos complejos son los siguientes:

- 1.- Complejo acuífero de las rocas metamórficas del Jurásico Superior - Cretácico Inferior - Medio. ($J_3 - K_{I-2}$).
- 2.- Complejo acuífero del Mesozoico ?. ($Mz ?$).
- 3.- Complejo acuífero de las rocas vulcanógenas - sedimentarias del Paleoceno - Eoceno Medio. ($P_I - P_2^2$).
- 4.- Complejo acuífero de las rocas sedimentarias del Oligoceno. (P_3).
- 5.- Complejo acuífero de las rocas sedimentarias del Eoceno Medio - Superior. (P_2^{2-3}).
- 6.- Complejo acuífero de las rocas carbonatadas del Eoceno Medio - Mioceno. ($N_I^2 - N_I$).
- 7.- Complejo acuífero de los sedimentos Guaternarios. ($Q_I - Q_{IV}$).

Complejo acuífero de las rocas metamórficas del Jurásico Superior - Cretácico Inferior - Medio. (J₃ - K_{I-2}).

Este complejo acuífero está representado por las Formaciones Sierra Verde y Farola. Las litologías presentes en él --- son : mármoles , esquistos cloríticos , sericíticos , graffíticos, esquistos sericíticos-silíceos-cloríticos y esquistos cloríticos -silíceos carbonatados. Estas rocas se encuentran fracturadas y agrietadas , permitiendo así la circulación del agua.

El mayor número de manifestaciones acuíferas de este -- complejo se localiza hacia la Formación Farola, la cual ocupa la mayor extensión en el área, en tanto que la Formación Sierra --- Verde no es de gran extensión.

El quimismo de este complejo acuífero es muy variado-- debido a la complejidad geológica existente en el mismo. Así podemos señalar que al Noroeste de la Cuenca VIII el agua presente es Hidrocarbonatada, clorurada - cálcica, sódica ; dulce ; ácida y básica. En la Cuenca I es sulfatada, clorurada - cálcica, magnesiánica; dulce; ácida y en ocasiones muy ácidas. En la Cuenca II hacia la parte Centro y Este se encuentran aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - cálcicas, magnesianas; dulces ; ácidas y básicas a excepción de la parte central donde existen aguas de intensa salinidad y muy ácidas que pueden ser producto de la presencia de algún cuerpo mineral. Hacia el Noreste de la Cuenca III se reportan aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - sódicas, cálcicas; dulces y básicas . Al Sur de la Cuenca IV las aguas son hidrocar

bonatadas, carbonatadas - magnesianas, cálcicas ; dulces ; ácidas , neutras y básicas. Al Noreste de la Cuenca V se encuentran aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, cálcicas; dulces y de poca salinidad ; básicas y ácidas. Al Norte de la misma cuenca son hidrocarbonatadas, cloruradas - sódicas, magnesianas ; dulces ; básicas y muy ácidas. En el extremo Este de la Cuenca--VI y en la parte Centro y Este de la Cuenca VIII se manifiestan aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, cálcicas ; -- dulces ; ácidas y básicas.

A partir de los análisis químicos a las diferentes variedades de esquistos se determinó que el contenido de Mg en el agua es insignificante, lo que puede estar dado por un contenido pequeño de éste en la roca. De aquí se puede decir que a medida que aumenta la basicidad en las rocas aumenta el contenido de Mg en las mismas y por tanto en el agua.

De forma general se puede decir que el gradiente hidráulico en este complejo se hace mayor hacia la zona donde se desarrollan las rocas más básicas , o sea hacia la parte Sur y Noreste del complejo donde es de esperar por tanto un coeficiente de filtración pequeño.

Complejo acuífero del Mesozoico ?. (Mz ?).

Las rocas que forman este complejo acuífero están representadas por gabros y serpentinitas . La circulación del agua se produce a través de fisuras y grietas, lo que se comprueba -- con el afloramiento de manantiales. La composición química de --- las aguas en este complejo acuífero es muy variada, encontrándose

aguas hidrocarbonatadas, cloruradas -cálcicas, magnesianas hacia el Norte de la Cuenca IV , donde los resultados de los análisis químicos de las rocas arrojan un contenido de Ca mayor que de Mg, lo que le confiere al agua el predominio de dicho catión. Hacia el extremo Sureste de la misma cuenca las aguas son hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, sódicas. Al Noroeste de la Cuenca VII se manifiestan aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, cálcicas ; similar clasificación se presenta hacia el extremo Sur - Sureste de la Cuenca IX y hacia su extremo Oeste se reportan aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, sódicas.

Como se puede observar en los tres últimos tipos de -- aguas predomina el catión Mg, ésto es producto de que los mismos se encuentran sobre las serpentinitas donde hay un predominio del catión Mg en comparación con el resto de las litologías presentes en el área , lo que fue comprobado a través de los resultados de los análisis químicos realizados a las serpentinitas.

El gradiente hidráulico varía en las diferentes zonas en que se desarrolla este complejo acuífero , siendo mayor en -- las zonas Norte y Sur aledañas a la Cuenca IX donde coincide con la divisoria principal de las aguas subterráneas .

Complejo acuífero de las rocas vulcanógenas - sedimentarias del Paleoceno - Eoceno Medio. (P_1 - P_2^2).

Las rocas de este complejo son tobas ácidas, areniscas, gravelitas y brechas tobáceas correspondientes a la Formación El Cobre. Las aguas presentes son de tipo fisural; la composición -

química de las mismas es hidrocarbonatada, sulfatada - magnesia-
na, cálcica; son aguas dulces y básicas. Esta característica es-
tá presente hacia la parte Este de la Cuenca I.

El contenido del anión sulfato en el agua responde a--
la presencia de azufre en las rocas , lo que fué determinado a--
partir de los análisis químicos de las mismas.

Complejo acuifero de las rocas sedimentarias de Oligo-
ceno. (P₃).

Las rocas que componen este complejo acuifero están re-
presentadas por conglomerados con lentes de areniscas y aleuoli-
tas correspondientes a la Formación Cilindro. Las aguas presentes
son de tipo fisural ; por su composición química son hidrocarbo-
natadas, cloruradas - cálcicas, magnesianas; ácidas y básicas. Es-
tas características se observan hacia la parte Noroeste de la --
Cuenca VII.

Las manifestaciones acuíferas que caracterizan a este-
complejo acuifero son bastante limitadas.

Complejo acuifero de las rocas sedimentarias del Eoce-
no Medio - Superior. (P₂²⁻³).

Está representado por lutitas, aleurolitas, areniscas -
de granos finos algo carbonatadas, argilitas con intercalaciones
de gravelitas, granos redondeados de esquistos y cemento calcá--
reo pertenecientes a la Formación San Luis. Aquí están presentes
las aguas de grietas, pero ésto fué detectado solamente en dos -
puntos (al Sureste de la Cuenca III y al Sureste de la Cuenca -

VIII) a lo largo de toda la extensión en la cual ella aflora, por lo que la acuosidad desde un punto de vista cualitativo es muy pobre o insignificante. La composición química del agua hacia la parte Suroeste de la Cuenca III es clorurada, sulfatada-sódica, cálcica; de poca salinidad y básica, en tanto que hacia el Oeste de la Cuenca VII es hidrocarbonatada, clorurada - cálcica, magnesiana, dulce y ácida.

Complejo acuífero de las rocas carbonatadas del Eoceno Medio - Mioceno Superior. ($N_I^2 - N_I$).

Representado por aleurolitas, calizas cársicas, fracturadas y calizas masivas agrietadas, correspondientes a las Formaciones Maya y Cabo Cruz. El agua presente es de tipo fisural. También están presentes aguas cársicas, pero solamente en la Formación Cabo Cruz, al Este del área donde ella se desarrolla mas ampliamente.

El quimismo de las aguas en este complejo acuífero es muy variado; así tenemos que al Norte de la Cuenca III las aguas presentes son hidrocarbonatadas, cloruradas - cálcicas, sódicas, dulces, ácidas y básicas. Al Este de la Cuenca X, donde aflora la Formación Maya las aguas son cloruradas, sulfatadas - sódicas magnesianas, de intensa salinidad y básicas; esta característica no se puede generalizar para toda la Formación y mucho menos para el complejo acuífero, ya que según los resultados de los análisis químicos realizado a la muestra tomada en el área, el contenido de Na y Cl es muy elevado (87,97 % y 57,49 %) (-

Ver tabla N° 3) , lo que responde al parecer a una intrusión salina. Hacia la parte Suroeste de la Cuenca III están presentes aguas cloruradas, sulfatadas - sódicas, cálcicas; dulces y muy ácidas. Al Noroeste de la Cuenca VII son hidrocarbonatadas, cloruradas - cálcicas, magnesianas ; dulces y básicas. Al Sureste de la Cuenca VIII se encuentran aguas hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, sódicas; dulces y ácidas y al Noreste de la misma cuenca son hidrocarbonatadas, cloruradas - cálcicas, sódicas; dulces y ácidas.

Es preciso señalar que en las Formaciones Cabo Cruz y Maya no existe un número considerable de manifestaciones acuíferas superficiales que las caractericen.

En el área que ocupa este complejo acuífero fueron detectadas numerosas cuevas que se encontraban secas, excepto en la parte Este donde se detectó la circulación del agua, por lo que es posible plantear que hacia esta zona se ha desarrollado un curso mas profundo por donde circula el agua, constituyendo ésta un área perspectiva para la búsqueda de aguas subterráneas.

Complejo acuífero de los sedimentos Cuaternarios. ---
(Q_I - Q_{IV}).

Está constituido por guijarros, gravas, arenas, limos y arcillas que representan a las Formaciones Cauto, Jutía y Río. En este complejo están presentes aguas de tipo intersticial, hidrocarbonatadas, cloruradas - magnesianas, cálcicas; dulces y -

básicas.

Además de los complejos acuíferos antes mencionados - en el área existen algunas formaciones geológicas en las cuales no se determinaron manifestaciones acuíferas que las caracterizaran a ellas como tal . Estas formaciones son :

Formación San Ignacio. (Oligoceno Superior - Mioceno-Inferior). Constituida por brechas masivas de fragmentos gruesos no clasificados de esquistos y serpentinitas.

Formación Maquey (Oligoceno Superior - Mioceno Inferior). Constituida por calizas arcillosas , aleurolitas , areniscas de color gris a gris amarilloso.

Formación Jaimanitas (Pleistoceno). Constituida por calizas organógenas algo recristalizadas de color blanco amarilloso a crema , masivas y a veces cárnicas.

Analizando el mapa de hidroisohipsas (Anexo N° 7) se pueden observar diferentes direcciones de las aguas subterráneas para las diferentes cuencas , siendo las predominantes las siguientes :

CUENCAS	DIRECCIONES PREDOMINANTES
Cuenca I	Sureste
Cuenca II	Noreste y Noroeste
Cuenca III	Suroeste
Cuenca IV	Norte y Noroeste
Cuenca V	Sur y Suroeste
Cuenca VI	Sureste y Suroeste
Cuenca VII	Noreste

Cuenca VIII

Sureste

Cuenca IV

Noreste y Noroeste

De forma general se apresia que hacia la parte central y longitudinal se encuentra una divisoria principal de las aguas subterráneas que coincide aproximadamente con la divisoria central de las aguas superficiales y que divide a la zona en dos grandes cuencas : Norte y Sur . Esta parte central constituye la zona de alimentación .

La fuente de alimentación la constituyen las precipitaciones atmosféricas , que son muy abundantes en algunas zonas.

La descarga de las aguas subterráneas se produce hacia las corrientes superficiales y hacia el mar.

El gradiente hidráulico varía en toda el área siendo mayor hacia la parte central y longitudinal , donde las hidroisohipsas se encuentran mas unidas , por lo que debe esperarse un menor coeficiente de filtración hacia esta zona.

Capítulo V.- Fundamentos teóricos empleados para la búsqueda -
hidrogeoquímica.

La metodología empleada para la búsqueda hidrogeoquímica ha sido confeccionada sobre la base de los trabajos de A/A - Brodski, G.A.Goleva, S.R. Krainov, V.V. Polikarpóchkin, A.D.Hiter, Z.V. Komarov y E.E. Belikov y también con las instrucciones y recomendaciones metodológicas vigentes actualmente en la URSS. Debido a las discusiones de algunas diferencias con respecto al método hidrogeoquímico de búsquedas los datos reflejados concuerdan - en lo fundamental con las ideas de A.A Brodski, G.A Goleva y S.R- Krainov.

Se sabe que las aguas naturales poseen la capacidad universal de disolver en cualquier cantidad todos los elementos y todas sus combinaciones incluyendo todos los minerales de la naturaleza.

Se ha establecido que las aguas que drenan los yacimientos minerales o aureolas geoquímicas primarias o secundarias genéticamente vinculadas con ellos se enriquecen con los componentes de estos yacimientos y aureolas, como resultado de lo cual se forman las aureolas acuíferas y los reflejos de dispersión de los elementos con concentraciones de fondo anómalas en comparación con las naturales. La revelación de dichas anomalías acuíferas -- constituye la esencia del método hidrogeoquímico de búsqueda de yacimiento minerales útiles.

- A.A Brodski distingue tres tipos de agua.
- Aguas minerales
- " aureolas
- " con contenido de fondo

Las aguas minerales se encuentran en los cuerpos minerales y su composición se forma bajo su interacción. El área de propagación de las aguas minerales depende de las condiciones hidrogeológicas, de la composición de las rocas encajantes y de la intensidad de las alteraciones químicas de las rocas encajantes.

Con las aguas aureolas se relacionan las aguas que rodean los cuerpos minerales y que tienen una composición química alterada. Ellas se forman bajo la influencia de las aguas minerales que se derraman o debido a la interacción de las aguas subterráneas con las rocas hidrotermalmente alteradas que rodean a los cuerpos minerales. Así las aguas que se examinan están vinculadas genéticamente con los cuerpos minerales, esto es que se consideran indicadores de los cuerpos minerales y de los yacimientos. Las aguas de aureolas pueden propagarse a distancias considerables (hasta 3-5 Km) Las escalas de propagación habitualmente dependen de la actividad química del medio circundante y también de las condiciones hidrodinámicas del movimiento de las aguas subterráneas.

Por aguas con contenido de fondo habitualmente se entienden las aguas naturales de un territorio dado cuya composición química no experimentó la influencia directa de los cuerpos mine-

rales o de las aureolas vinculadas con ellas. El contenido de microelementos en las aguas con contenido de fondo habitualmente es bastante mas bajo que en los minerales y las de aureolas con una composición cualitativamente idéntica. La parte de los elementos nitrogenados por ejemplo: Na, K, Mg, Ca, Cl pueden encontrarse en concentraciones y sobrepasan las de las aguas de aureolas y minerales.

La complejidad del método hidrogeoquímico de búsqueda radica en que en la solubilidad de las combinaciones químicas en las aguas naturales (subterráneos y superficie) influye una cantidad de factores que varían en una serie de casos de una manera considerable, siendo los principales los siguientes:

- Las propiedades de los elementos (valencia, radio de los iones, la capacidad para la polarización)
- La composición de las aguas (propiedades ácido-alcalinas y oxidante-reductoras, presencia de gases activos O_2 , CO_2 , H_2 , S, etc)
- La forma en que se encuentran los elementos en las rocas y minerales.
- La magnitud PH de las soluciones acuosas.
- Condiciones del paisaje (clima, dinámica de las aguas naturales)

La ventaja fundamental del método hidrogeoquímico de búsqueda en comparación con otros métodos geoquímicos es la profundidad relativamente grande que alcanza. La segunda ventaja importante consiste en la extensión considerable de las aureolas acuíferas y el flujo de dispersión, lo que permite revelarlas con un número de muestras relativamente pequeño. Es particularmente ventajosa la aplicación de este método en las regiones montañosas en presencia de estructuras profundamente derrumbadas, cuando a la superficie salen las aguas de circulación profunda, las cuales pueden encontrar en su camino cuerpos minerales.

Además de esto éste método es efectivo también en condiciones de relieve desmembrado en presencia de una capa potente de depósitos friables, aún cuando las aguas de aureolas tienen la posibilidad de aflorar en las partes hundidas del relieve.

Es necesario señalar que junto con las ventajas mencionadas el método hidrogeoquímico tiene también defectos sustanciales; el principal de ellos es la dificultad de interpretación de las anomalías (la gran extensión, el número considerable de anomalías falsas, etc.) y su revelación (variación de los contenidos de los elementos, variabilidad del fondo natural, etc.).

El empleo del método hidrogeoquímico aún es limitado ya que faltan los métodos analíticos para la determinación de una serie de elementos, por ejemplo In, Tr. Para F, Nb, V, B, Be Hg y W los métodos existentes son pocos sensibles. Se han elaborado los métodos de análisis para Cu, Zn, Mn, Ni, Co, As, Ge, U,

Sr, Li, Sn, Pb, Ga, Ag, Zr, Ti, Cr y Mo.

El método hidrogeoquímico puede ser empleado con mayor efectividad para la búsqueda de yacimientos sulfurosos cuyas menas se oxidan fácilmente con formación de compuestos solubles en agua. Actualmente existen posibilidades de empleo de éste método para la revelación de elementos no sulfurosos.

Se conocen tres tipos de investigaciones hidrogeoquímicas:

- De reconocimiento.
- De búsqueda.
- Detallada.

La cantidad aproximada de muestras hidrogeoquímicas en 1 Km^2 en dependencia de la escala de los trabajos y la complejidad de la constitución geológica se ofrece en la tabla N^o 3a.

En caso general se plantea para que cada región particular de alimentación de las aguas subterráneas y el depósito de agua específico de las aguas superficiales (dentro de los límites de los depósitos hidrográficos y la homogeneidad de las rocas que componen el área) estén caracterizadas por no menos de tres muestras. La ubicación de los puntos de toma de muestras en el área para cualquier escala del levantamiento debe ser uniforme.

Para la elección de los puntos de toma de muestras hidrogeoquímicas es necesario orientarse por las siguientes re-

TABA DE MUESTREO HIDROQUIMICO

TIPO DE LEVANTAMIENTO.	ESCALA	Cantidad de muestras en 1 Km ² En el caso de una Constitución Geológica	
		SENCILLA	SEMICOMPLEJA COMPLEJA
De Reconocimiento	1: 1,000,000	0,01	0,02
	1: 500,000	0,04	0,05
	1: 200,000	0,10	0,15
	1: 100,000	0,30	0,50
De Búsqueda	1: 50,000	0,70	1,0
Detallada	1: 10,000	Se someten a prueba todos los puntos de agua. La distancia entre los puntos de toma de muestras no debe sobrepasar 1 Cm en el mapa de la escala correspondiente.	

TABLA 3a

glas :

-Dentro de los límites de la región particular de alimentación no deben haber fuentes de contaminación antropogénica. (industrial, agrícola, etc).

-No deben existir construcciones metálicas para captar las aguas por debajo del nivel de éstas en las calas , pozos - campesinos , etc.

-No deben haber impurezas provocadas por las aguas de perforación y solución arcillosa en los pozos , tampoco deben haber abundantes impurezas de material fangoso-arcilloso en las corrientes de aguas superficiales y otros depósitos de agua.

Los requisitos fundamentales planteados al muestreo - hidrogeoquímico son : la observación de la pureza del muestreo, la escrupulosidad de la documentación y la exactitud y plena objetividad de las observaciones.

Previo a la toma de muestras de agua es necesario enjuagar las botellas y tapones no menos de dos veces con el agua escogida para el análisis.

En las condiciones climáticas de Cuba el muestreo hidrogeoquímico es mas conveniente realizarlo al inicio del período seco , cuando las aguas que se investigan tienen un régimen más estable y las regiones de alimentación están claramente manifestadas, ya que los procesos de concentración de las aguas que complican la interpretación de los datos hidrogeoquímicos, a consecuencia de la tendencia de una serie de elementos a la -

TRABAJO
DE
DIPLOMA

Instituto Superior Minero Metalúrgico
FACULTAD DE GEOLOGIA

HOJA

No. 44

acumulación en las aguas , aún influyen debilmente en su composición química.

Capítulo VI.- Búsqueda hidrogeoquímica.

Se ha establecido que las aguas que drenan los yacimientos ó las aureolas geoquímicas primarias ó secundarias genéticamente vinculadas con ellos se enriquecen con los componentes de estos yacimientos y aureolas, como resultado de lo cual se forman las aureolas acuíferas y los flujos de dispersión de los elementos con concentraciones de fondo anómalas en comparación con las naturales. La revelación de dichas anomalías constituye la esencia del método hidrogeoquímico de búsqueda.

El capítulo que a continuación se expone reviste --- gran importancia para la culminación de este trabajo.

Con la finalidad de localizar algunas áreas con perspectivas para la búsqueda de yacimientos minerales en el área del levantamiento, procedemos a un análisis de las diferentes aureolas hidrogeoquímicas desarrolladas en las diferentes cuencas.

Así tenemos que en la Cuenca I se observan algunas aureolas de baja intensidad de Zn, Sn, Cu, siendo esta última la de mayor extensión debido a la alta propiedad de migración que posee dicho elemento. También está presente el As con una alta intensidad; como se sabe este elemento ocupa las partes superiores de los cuerpos minerales, ya que en el ascenso de las soluciones minerales por las fracturas éste ocupa uno de los primeros lugares. Todo esto, unido a una serie de características satisfactorias para las zonas en las cuales existe mineralización, como son: presencia de un PH muy ácido y una disminución del contenido de Na y K da un criterio para hablar de la presencia de un cuerpo mineral no erosionado que según la dirección de las aguas subterráneas debe ubicarse al Noreste de la anomalía de As. (Ver anexo N° I5).

Es bueno destacar que la presencia de As da un criterio para la búsqueda de yacimientos auríferos.

En la Cuenca II, en su parte Centro y Oeste se superponen en orden decreciente las siguientes aureolas hidrogeoquímicas: Cu, Zn, Mo y Sn, lo que está acorde con las propiedades de migración de los elementos. Por su intensidad las aureolas acuíferas se disponen en el siguiente orden: Mo, Sn, Zn y Cu. La ausencia de Pb y Ba y un contenido de fondo de Ag, unido a -

las aureolas hidrogeoquímicas presentes responden a manifestaciones minerales erosionadas, ya que en la distribución de los elementos anteriormente mencionados en los cuerpos minerales el Mo y el Sn ocupan las partes bajas. Analizando la dirección de las aguas superficiales y subterráneas dichas manifestaciones deben encontrarse al Suroeste de la Cuenca. En la parte Este de esta misma cuenca se observan dos aureolas acuíferas de alta intensidad de Cu y Zn y una de baja intensidad de Ag, así como una anomalía intensa de la mineralización y un PH muy ácido; a su vez en esta zona hay una ausencia total de Pb, Ba, Mo y Sn; como el poder migratorio de estos elementos es muy inferior al de los elementos que componen a las aureolas anteriormente mencionadas es lógico pensar que de existir algún cuerpo mineral el mismo se encuentra a una distancia considerable del desarrollo de dichas aureolas acuíferas, por lo que se propone al analizar la dirección de las aguas subterráneas y superficiales intensificar el muestreo hacia el Sureste en etapas de trabajos posteriores con la finalidad de reducir el área de búsqueda. Al Norte de la cuenca se observan tres aureolas acuíferas de moderada intensidad de Zn, Pb y Cu, siendo esta última de mayor extensión, lo que justifica la movilidad del elemento. Más hacia el Norte (fuera del área) se encuentran valores anómalos de Mo en la muestra N° 173 (Ver tabla N° 8) lo que da un criterio para la búsqueda hacia esta zona.

Del análisis de las aureolas acuíferas desarrolladas - en la Cuenca III se ve que hacia el Norte se desarrolla el mayor número de ellas y están dadas por Cu , Pb y Ba de baja intensidad Mo y Sn de moderada intensidad y una muy significativa de Sb , el cual es un elemento raro que ocupa las partes superiores de los cuerpos minerales. Estas características unidas a la poca movilidad del Mo y a la presencia de un PH ácido dan un indicio para la búsqueda de cuerpos minerales no erosionados que según la dirección de las aguas superficiales y subterráneas deben ubicarse hacia el Norte.

En la parte central de esta cuenca existe un complejo de aureolas acuíferas representadas por Mo y Sb de moderada intensidad. La presencia de este último en este complejo descarta la posibilidad de que el mismo se halla originado del flujo de dispersión de las aureolas que se ubican al Norte por lo que tienen que ser originadas por manifestaciones minerales ubicadas al Este y Oeste donde se observa una pequeña aureola de Zn lo que está acorde con la dirección de las aguas superficiales y subterráneas.

Analizando el mapa geológico, en la dirección y ubicación del desarrollo de las aureolas acuíferas está presente una falla en la cual pueden existir sustancias mineralizantes que ascendieron a través de ellas, las que pueden originar los elementos de Zn, Mo, Pb y Sn en el agua. En la parte Sur del desarrollo de este complejo de aureolas acuíferas donde están presentes los tres elementos que la constituyen existe un PH ácido y un ligero aumento de la mineralización, y coincide con la intercepción de dos fa

llas. De lo anteriormente expuesto se puede afirmar que en las manifestaciones minerales que originaron a estas aureolas acuíferas están ausentes las perspectivas mineras de Cu y Pb (Ver --- anexos No. 2, 9, 10, 13 y 14)

En la parte Sur de esta cuenca se desarrolla un complejo de aureolas acuíferas entre las cuales están presentes la de Zn con baja y moderada intensidad, Pb con baja intensidad, Sn de alta intensidad y Mo de moderada intensidad. En el desarrollo de esta última existe un PH ácido y un aumento de la mineralización y además analizando el mapa geológico se observa la intercepción de dos fallas y como es sabido esto favorecen a la acumulación de la mineralización lo que posiblemente origine a dichas aureolas hidrogeoquímicas.

Al Sureste de la Cuenca IV se observan numerosas aureolas acuíferas de Cu, Pb, Ag y Zn, de baja intensidad, y en algunas porciones el Zn y la Ag son de alta y moderada intensidad respectivamente. Estas se solapan en el extremo Sureste del complejo de aureolas acuíferas, donde se observa un PH ácido y el contenido de K aparece como traza y el de Na es muy pequeño. Por la baja intensidad que presentan las diferentes aureolas hidrogeoquímicas y por los elementos que la constituyen, las cuales ocupan las porciones intermedias de los cuerpos minerales, las mismas son originadas por manifestaciones minerales ya erosionadas. Por la ausencia de minerales índices, por ejemplo el Mo el cual migra muy poco, el interés de búsqueda en la zona de desarrollo de estas aureolas auríferas es insignificante por lo que este trabajo, analizando la dirección de las corrientes de las aguas superficiales y --

subterráneas debe dirigirse hacia el Sur y Este fuera de los límites de dichas aureolas auríferas.

En la cuenca V se observa que hacia la parte central se desarrolla un complejo de aureolas acuíferas de baja intensidad de Cu, Zn, Ba, Ag y Mo y este último también presenta una moderada intensidad. En la mayor parte de desarrollo de dicha aureolas se presenta un PH muy ácido y en una pequeña porción es básico; - el contenido de Na es muy bajo y el K está en forma de trazas. - Como es sabido estas características están presente en las aureolas acuíferas que son originadas por las aguas que drenan a los cuerpos minerales o las aureolas primarias o secundarias.

Debido a la baja intensidad de estas aureolas acuíferas y a la presencia de Mo se puede decir que las manifestaciones minerales que originaron dichas aureolas corresponden a aureolas secundarias o a cuerpos minerales muy erosionados que deben encontrarse, según la dirección de las aguas superficiales y subterráneas hacia el Norte, no lejos de ellas, debido a la débil propiedad de migración que presenta el Mo.

Hacia la parte Este de la misma cuenca se desarrollan cuatro pequeñas aureolas acuíferas: tres de baja intensidad de Cu, Zn y Ba y una de alta intensidad de Mo, que deben ser producto de las aguas que drenan a las aureolas secundarias o cuerpos minerales muy erosionados ubicados al Este de su desarrollo.

Las aureolas que se encuentran en la parte Sur de esta cuenca son originadas por el flujo de dispersión de las corrientes superficiales.

Hacia el Sur de la cuenca están presentes pequeñas aureolas acuíferas de Ag, Zn y Cu de baja y moderada intensidad, - las cuales fueron originadas por el flujo de dispersión. La mayor intensidad que presentan éstas con relación a las que se ubican al Norte está dada por los fragmentos del posible cuerpo mineral ya erosionado, que deben ubicarse al Sur de la cuenca ya que en las litologías presentes en esta área donde ellas se desarrollan no son característicos los yacimientos polimetálicos.

Analizando los complejos de aureolas que se desarrollan en la cuenca VI se nota que el de mayor importancia es el del Este donde está presente el Mo con una baja intensidad y el Pb con moderada intensidad. Como las propiedades migratorias de estos elementos les permiten una movilidad muy reducida, las manifestaciones minerales que les dieron origen deben estar muy cerca de las mismas. Además existen otras aureolas auríferas de baja intensidad de Ag y Zn, ésta última en ocasiones es de moderada intensidad. Al analizar el mapa de mineralización se ve que hay un ligero aumento de la misma y sin embargo el PH es básico; además el Cu está presente con un contenido de fondo. Según la dirección de las aguas superficiales y subterráneas dichas manifestaciones minerales deben ubicarse al Norte y Noroeste de estas aureolas auríferas.

En la parte central se solapan tres pequeñas aureolas acuíferas: dos de moderada intensidad de Ag y Zn y una de baja intensidad de Sn. Debido a la ausencia de Mo y analizando la dirección de las aguas superficiales y subterráneas las manifestaciones minerales que originaron a dichas aureolas acuíferas de-

ben ubicarse al Noroeste y a distancias considerables de éstas.- Por la ausencia de Cu como valor anómalo en las aureolas acuíferas, el contenido del mismo es muy insignificante en las manifestaciones minerales.

En la parte Oeste se localiza una pequeña aureola acuífera de Ag de baja intensidad, los demás elementos están ausentes excepto el Cu que aparece con un contenido de fondo, por lo que en general esta no reviste importancia.

En el complejo de aureolas acuíferas que está presente al Oeste de la cuenca VII se aprecia que el orden de amplitud de las aureolas decrece de la siguiente forma: Zn, Pb y Cu y éstas se desarrollan sobre la serpentinitas; como se sabe estos elementos sulfurosos no se encuentran genéticamente vinculados a esta litología por lo que es necesario remitirse a la localización de las manifestaciones minerales que dieron origen a estas aureolas acuíferas en las fallas que se ubican en la Formación Farola al Oeste de las mismas, lo que está acorde con el flujo de dispersión que ocasionan las aguas.

En general estas aureolas son de baja intensidad y en ocasiones demoderadas. Además el contenido de Na y K es bajo y el PH es ácido, lo que corresponde a aguas que drenan a manifestaciones minerales. La menor amplitud que se observa en la aureola de Cu puede ser motivada por una concentración menor que los demás elementos, o quizás por el medio hidroquímico en que se desarrolla, ya que en él el contenido de Mg es muy superior al de Na y Ca, a diferencia de los otros medios donde estos presentan valores semejantes y predomina uno u otro indistintamente.

En la parte Noreste de esta cuenca se observa un complejo de aureolas hidrogeoquímicas de Cu, Zn, Pb de baja y moderada intensidad las cuales también se solapan con litología correspondientes a la Formación Cilindro que genéticamente no albergan a estos elementos como mena. Del análisis de la dirección de las aguas se puede decir que las manifestaciones minerales que dieron origen a dichas aureolas deben ubicarse al Sur y Oeste de las mismas y tienen que estar presentes en las fallas que se encuentran hacia estas direcciones.

Al Sureste se desarrolla otro complejo de aureolas acuíferas que al igual que en los casos anteriores no están asociadas genéticamente a las litologías presentes, (Formación San Luis), por lo que tienen que estar dadas por soluciones mineralizantes que ascendieron por fallas y luego fueron transportadas por el flujo del agua. En dicho complejo se encuentran presentes el Cu y la Ag con una baja intensidad, el Pb con moderada y alta intensidad y el Sn con moderada intensidad. Por la presencia de este último, el cual es prácticamente inerte y analizando la dirección de las aguas las manifestaciones minerales deben estar situadas muy cerca, hacia el Sureste de su desarrollo. La presencia de un PH ácido así como un ligero aumento de la mineralización y un contenido pequeño de Na y K confirman la existencia de dichas manifestaciones minerales, ya que estas son características de las aguas que circulan por los cuerpos minerales.

Al Este de la cuenca VIII se desarrolla un complejo de aureolas acuíferas de gran importancia que según las propiedades

de migración de los elementos que lo constituyen disminuyen su amplitud en el siguiente orden: Cu, Pb, Ag, Zn, Ba, Sn y Mo. La intensidad con que aparece estas aureolas acuíferas varían en los diferentes elementos, encontrándose el Cu y el Zn en los tres rangos establecidos, el Ba y el Sn con alta y moderada intensidad, el Mo y el Pb con moderada y baja intensidad y la Ag con alta y baja intensidad. Analizando el comportamiento del PH se observa que más del 50% del área que abarca dicho complejo es de carácter ácido; en su parte central existe una pequeña variación de la mineralización. El contenido de K es pequeño encontrándose en una parte en forma de trazas y el de Na es muy bajo. Todas estas características presentes en las aguas son satisfactorias para poder predecir sobre la existencia de cuerpos minerales. Haciendo un análisis de los elementos índices Mo y Sn, los cuales son poco móvil y prácticamente inmóvil respectivamente y por encontrarse inscriptos en las partes centrales de las aureolas más amplias se puede decir que las manifestaciones minerales que dieron origen a dichas aureolas deben enmarcarse en la zona de desarrollo de las mismas. A estos se suman elementos tales como: Ba y Pb que también poseen baja propiedad de migración.

Por otra parte se observa que hacia las partes aledañas al Norte, Sur y Este estos elementos sulfurosos no se asocian genéticamente a las litologías presentes y la tectónica no es muy marcada, ya que no se ha confirmado la presencia de fallas por las cuales podrían haber ascendido las soluciones mineralizantes que originaran yacimientos hidrotermales.

En la Cuenca IX se observan dos complejos de aureolas acuíferas, uno en el extremo Oeste y otro en la parte Central. En el complejo situado al Oeste están presentes Ag, Cu y Mo con una baja intensidad, Zn y Sn con moderada intensidad y Pb con baja y moderada intensidad. Estas aureolas acuíferas se desarrollan en un medio ácido donde el contenido de Na es pequeño y el K generalmente aparece como traza. Por las características que poseen el Mo y el Sn de ser minerales índices y según la dirección de las aguas, las manifestaciones minerales deben ubicarse cerca y al Suroeste del desarrollo de dichas aureolas acuíferas.

Según la amplitud de las aureolas acuíferas desarrolladas se puede ver que la de Cu es inferior a la de Zn y Pb, lo que puede ser motivado por un contenido menor de este elemento en la manifestación mineral que le dio origen o por el medio en el cuál se desarrolla.

El complejo de aureolas acuíferas que se ubica en la parte Central está caracterizado porque las aureolas de Cu, Pb y Zn presentan los tres rangos de intensidad establecidos, la Ag presentan moderada y baja intensidad y el Sn y Mo moderada intensidad; en este mismo orden está dada su amplitud. Estas se desarrollan en un medio básico y en algunas porciones de las mismas existe un ligero aumento de la mineralización; el contenido de Na es bajo y el K aparece como traza. Del análisis de la dirección de las aguas y la ubicación del Mo y el Sn, las manifestaciones minerales que dieron origen a estas aureolas acuíferas deben situarse al Sur.

Haciendo una comparación entre estos dos complejos de aureolas acuíferas se puede decir que las ubicadas en la parte central por poseer mayor intensidad no pudieron ser originadas por el flujo de dispersión que proviene de las que se ubican al Oeste, por lo que ambas fueron originadas por manifestaciones minerales diferentes.

Los elementos que están presentes en ambos complejos de aureolas acuíferas genéticamente no están vinculados como mena a las serpentinitas donde ellas se desarrollan; como es sabido el conjunto de estos elementos sulfurosos son característicos de yacimientos hidrotermales por lo que la mineralización que originó a dicho complejo está asociada a las fallas.

Para concluir este capítulo se puede señalar que en el área de estudio están presentes numerosos complejos de aureolas acuíferas, siendo los mas importantes de ellos los que se desarrollan en las Cuencas I y VIII y las partes aledañas a la Cuenca III, por lo que estas zonas se consideran las mas importantes para la búsqueda de yacimientos minerales.

Para este capítulo ver anexos N° 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,

14 y 15.

Capítulo VII.- Análisis crítico de los trabajos.

Para la confección de este capítulo se hace necesario hacer una evaluación del trabajo, destacando los logros y deficiencias del mismo.

Para comenzar es preciso señalar que la autora no --
contó con material bibliográfico suficiente que tratara sobre --
la búsqueda hidrogeoquímica para la confección del capítulo --
fundamental de este trabajo, ya que es la primera vez que se --
realiza un trabajo de esta índole en nuestro país. Además la --
caracterización que se hace de las condiciones hidrogeológicas --
del área no es muy amplia, ya que los datos con que se conta --
ron no fueron suficientes.

Otro aspecto fundamental es que la autora no visitó --
el área de estudio, ya que los trabajos de campo habían culmi --
nado lo que hizo mas engorroso el trabajo de gabinete, toda --
vez que no se conocía el terreno, pero esta deficiencia fué --
suprimida por la valiosa ayuda brindada por los compañeros de --
la Empresa de Geología de Santiago de Cuba que realizaron es --
tos trabajos y por los resultados obtenidos de los mismos. En --
estos trabajos de campo se observaron ciertas desviaciones las --
cuales se explican en el Capítulo III. Hay que destacar por --
ejemplo que los itinerarios realizados no correspondieron a la --
escala del levantamiento y un % de los mismos no brindaron --
una información clara debido a que muchos fueron realizados --
por un técnico medio sin ningún tipo de experiencia, antes --
que llegara la asesoría de un ingeniero. Así mismo el muestro-

hidroquímico tampoco respondió a las exigencias de la búsqueda hidrogeoquímica para la escala, ya que debían ser tomadas de 0,5 - 0,8 muestras por Km² de acuerdo a la complejidad geológica. Además algunas muestras fueron tomadas en corrientes superficiales de caudales considerables despreciando el muestreo en arroyos pequeños aledaños al punto de muestreo, los cuales serían de mayor importancia para la búsqueda hidrogeoquímica y para la caracterización de los diferentes complejos acuíferos. Esta deficiencia pudo haberse eliminado con la permanencia de un ingeniero en la brigada.

También se puede señalar que los materiales de los análisis químicos y espectrales no fueron elaborados durante los trabajos de campo, lo que era muy importante para definir las zonas de mayores perspectivas para la búsqueda de yacimientos minerales; esto fué producto de que los resultados de dichos análisis llegaron después de los trabajos de campo.

Un señalamiento de gran importancia es que no fueron realizadas todas las mediciones de los niveles y las observaciones hidrogeológicas durante la perforación a todos los pozos lo que trajo como consecuencia que las curvas de hidroisohipsas tuvieran una precisión menor que la esperada. Además por la no ejecución de los bombeos de prueba no se pudieron dar los parámetros hidrogeológicos de los diferentes complejos acuíferos existentes en el área.

A pesar de las dificultades antes expuestas este trabajo de Diploma ha cumplido sus objetivos ya que desde el pun-

to de vista docente ha preparado al diplomante para su futura-
vida profesional, creando en él las habilidades para procesar,
resumir y aplicar sus conocimientos; desde el punto de vista -
de producción este trabajo ha aportado un método mas para la--
búsqueda de yacimientos minerales para las Empresas de Geolo--
gía y ademas se han definido zonas de gran importancia para --
la búsqueda en el área de los trabajos.

Capítulo VIII.- Conclusiones y Recomendaciones.

8.I.- Conclusiones.

A continuación la autora da una relación lo mas -- exacta posible de las conclusiones a que pudo llegar luego de finalizado el trabajo.

1.- La red hidrográfica de la zona es muy amplia, --- siendo los recursos hídricos de gran importancia , excepto en la parte Sur y Este donde son muy escasos.

2.- La información sobre las condiciones hidrogeoló- gicas del área es muy reducida , debido a los pocos datos exis- tentes.

3.- En las aguas predominan fundamentalmente los ca- niones HCO_3^- y Cl^- e indistintamente los cationes Ca , Mg y Na.

4.- En el área están presentes siete complejps acuí- feros.

5.- En las Formaciones San Ignacio , Maquey y Jaima- nita no se detectaron manifestaciones acuíferas que las carac- terizaran.

6.- En las litologías que constituyen a la Formación San Luis se detectaron exclusivamente dos puntos acuíferos que las caracterizaran , por lo que la acuosidad desde el punto de vista cualitativo es muy escasa.

7.- La divisoria de las aguas subterráneas se encuen- tra hacia la parte central y longitudinal del área , constitu- yendo esta parte la zona de alimentación.

8.- La descarga de las aguas subterráneas se realiza

hacia las corrientes superficiales y hacia el mar.

9.- La mineralización del agua en general es menor de 1 Gr/L , excepto en el extremo mas oriental donde alcanza un valor de 5,1 Gr /L. Hacia esta parte está presente una intrusión salina.

10.- A medida que aumenta la basicidad en las rocas -- aumenta el contenido de Mg en el agua.

11.- El contenido del anión sulfato en el agua responde a la presencia de azufre en las rocas vulcanógenas - sedimentarias.

12.- La búsqueda hidrogeoquímica se realizó en base a las recomendaciones metodológicas vigentes actualmente en la -- URSS.

13.- En las zonas donde se desarrollan las aureolas -- acuíferas siempre se observa una variación en la mineralización y el PH.

14.- El contenido de Na y K en la zona de desarrollo-- de las aureolas acuíferas es muy pequeño y en ocasiones en forma de trazas.

15.- Las aureolas acuíferas de Cu generalmente son mas amplias , excepto las que se encuentra sobre las corrientes superficiales que corren por las serpentinitas.

16.- Las aureolas acuíferas que están presentes en las serpentinitas necesariamente deben su origen a manifestaciones minerales asociadas a fallas

17.- El flujo de dispersión de los elementos es mayor-

en los complejos de aureolas donde no aparece el Sn y el Mo.

18.- La búsqueda de los cuerpos minerales debe orientarse fuera de la zona de desarrollo de las aureolas acuíferas, excepto en la Cuenca VIII.

19.- La asociación mineralógicas de los complejos de aureolas acuíferas responde a yacimientos hidrotermales típicos.

8.2.- Recomendaciones.

Con el objetivo de dejar aclaradas las cuestiones que han sido determinadas parcialmente, se elaboran las siguientes recomendaciones

1.- Realizar un muestreo con una red regular que cumpla las exigencias de la escala de los trabajos.

2.- Establecer puntos donde se realicen muestreos sistemáticos tanto de las aguas superficiales como subterráneas.

3.- Realizar trabajos experimentales para ampliar las características hidrogeológicas de los diferentes complejos -- acuíferos.

4.- Debido a la cavernosidad presente en las calizas que se desarrollan en la parte Sur y Este del área es necesario realizar trabajos hidrogeológicos para conocer las reservas de agua para el abastecimiento de los pueblos vecinos.

5.- Aumentar el muestreo hidroquímico en toda la zona y específicamente hacia las zonas en las cuales se hace referencia sobre la posible presencia de manifestaciones minerales, con la finalidad de delimitar con mas precisión dichas

zonas.

6.- Como áreas de búsqueda fundamentales se recomiendan las zonas que enmarcan los complejos de aureolas acuíferas desarrollados en la Cuenca I, en la parte Noroeste de la Cuenca III y en la Cuenca VIII.

Anexos Gráficos.		Nº
1-	Mapa de ubicación geográfica.	I
2-	Mapa geológico.	2
3-	Mapa de datos reales.	3
4-	Mapa de medios químicos.	4
5-	Mapa de mineralización.	5
6-	Mapa de PH	6
7-	Mapa de hidroisohipsas	7
8-	Mapa hidrogeoquímico de Cu	8
9-	Mapa hidrogeoquímico de Pb	9
10-	Mapa hidrogeoquímico de Zn	10
11	Mapa hidrogeoquímico de Ag	11
12	Mapa hidrogeoquímico de Ba	12
13	Mapa hidrogeoquímico de Mo	13
14	Mapa hidrogeoquímico de Sn	14
15	Mapa hidrogeoquímico complejo	15
Tablas		
1-	Tabla de los trabajos hidrogeológicos	Ia
2-	" " precipitaciones.	2a
3-	" " muestra hidroquímica	3a
4	" " cantidad promedio de elementos en las aguas naturales de diferente mineralización	4a
5-	Tablas de análisis químicos	I,2,3,4,5,6
6-	" " " espectrales.	7,8

Bibliografía.

- 1- Guantánamo Hidroeconomía. Análisis del inventario de los recursos hidráulicos de la provincia y el aprovechamiento de las aguas.
- 2- Budanov N, Hernández J . Informe sobre los trabajos de búsqueda y exploración ejecutados en el Yacimiento Elección. desde 1961 hasta 1965.
- 3- Furrázola-Bermúdez G. Geología de Cuba. 1964
- 4- Somin M L, Millán G. Complejos metamórficos de Isla de Pinos, Escambray y Oriente y su edad . Ediciones A.N. URSS, serie geológica N°5 . 1972
- 5- Cobiella J L, Macizos serpentiniticos de Sabanilla, Mayarí Arriba , Oriente . Revista tecnológica . Volúmen XII N°4 1974
- 6- Makarov M y Norman A. Informe preliminar de los trabajos -- realizados en la Sierra del Purial.
- 7- Nagg E, Bráto A. Texto explicativo del mapa a escala 1:250 000 levantado y confeccionado por la Brigada Cubano - Hungara entre 1972 y 1976.
- 8- Métodos geoquímicos de búsqueda de yacimientos minerales. -- Libro de texto para los estudiantes de las especialidades de -- Geología.
- 9- A S. Vershinin, Profesor consultante traducido del ruso por -- V Nedorsteau, bajo la redacción de C A Crombet , ingeniero químico.
- 10- A A Brodski, G A Goleva , S R Krainov. Recomendaciones sobre las metodologías para la búsqueda hidrogeoquímica.
- II- E G S C , Proyecto Técnico Económico del levantamiento --- Sierra del Purial.

- I2- J Sanjurjo . Conferencias Hidrogeología General.
- I3- A Hurtado . Conferencias de Geoquímica.
- I4- J Arioza . Conferencias Geología de los yacimientos minera
les.