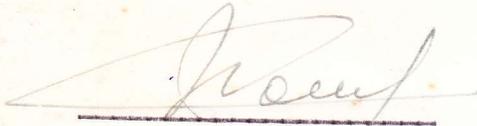


INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO

MOA - HOLGUIN

TRABAJO DE DIPLOMA

TITULO: REEVALUACION DE LAS RESERVAS  
Y RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA  
EN LA CUENCA PARADA  
SANTIAGO DE CUBA



ING. JUÁN RÓMERO  
PROFESOR GUÍA



NELCY MEDINA  
ALUMNO.

1979

= AGRADECIMIENTOS =

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a aquellos compañeros que con su ayuda y experiencia han hecho posible la realización de éste trabajo.

A nuestro guía Ing. Juan Romero, al Ing. Roberto Monje, a los compañeros Roider Mesa y Catalina Arzuaga, así como a quienes laboran en la Unidad de Hidroeconomía Provincial de Santiago de Cuba y muy especialmente al Ing. Rodrigo Berovides por lo mucho que nos sirvieron sus oportunas sugerencias.

= RESUMEN =

En este trabajo titulado "Reevaluación de los Recursos y reservas de agua subterránea en la Cuenca Parada", Santiago de Cuba y cuyo objetivo es hacer un análisis de los datos de las observaciones sistemáticas realizadas en la cuenca desde el año 1977 hasta Abril de 1979 y teniendo en cuenta los trabajos realizados anteriormente establecer las conclusiones y recomendaciones con vistas a la reposición de las áreas de agua subterránea salinizadas, se muestran distintos capítulos que recogen las características físico - geográficas, geológicas e hidrogeológicas generales y detalladas, el cálculo de las reservas de explotación por el método de balance e hidrodinámico así como las conclusiones y recomendaciones que de éste estudio se derivan pudiendo de ésta forma cumplir con el objetivo propuesto.

- I n d i c e -

Páginas

- Agradecimientos	
- Resumen	
- Introducción . . . . .	1
- Partes Generales	
- Volumen y Metodología de los trabajos realizados . .	4
- Capítulo I Condiciones Físico- Geográficas	
- I.1 Situación Geográfica . . . . .	5
- I.2 Relieve . . . . .	5
- I.3 Hidrología . . . . .	6
- I.4 Clima . . . . .	7
- I.5 Economía de la Región . . . . .	8
- I.6 Vías de Comunicación . . . . .	8
-	
- CAPITULO II Condiciones Geológicas e Hidrogeológicas Generales .	
- II.1 Geología	
- II.1.1 Historia de las investigaciones geológicas . .	10
- II.1.2 Estratigrafía . . . . .	11
- II.1.3 Tectónica . . . . .	14
- II.1.4 Magmatismo . . . . .	15
- II.2 Hidrogeología . . . . .	15
- PARTE ESPECIAL	
- CAPITULO III Características geológicas detalladas..	17
- CAPITULO IV Característica Hidrogeológicas detalla- da . . . . .	23

- continuación -

- IV. 2 Análisis de los mapas de hidroisohipsas . . . . . 25

- CAPITULO V Hidroquímica

- V.1 Clasificación del agua subterránea como tal en la zona que actualmente no presenta contaminación con la intrusión salina . . . . . 28

- VI.2 Análisis del fenómeno de intrusión salina . . . . . 33

- VI.2.1 Análisis de los gráficos evaluativos del contenido de cloro y mineralización . . . . . 34

- V.2.2 Análisis de los mapas de mineralización . . . . . 35

- V.2.3 Análisis de los perfiles de batometría . . . . . 37

- CAPITULO VI Cálculos hidrogeológicos

- VI.1 Método de Balance . . . . . 41

- VI.2 Método hidrodinámico . . . . . 47

- CAPITULO VII Conclusiones y recomendaciones

- VII.1 Conclusiones . . . . . 51

- VII.2 Recomendaciones . . . . . 53

BIBLIOGRAFIA . . . . . 55

- ANEXOS      GRAFICOS -

	Nº de Plano
- Plano de situación general y detallada	1
- Mapa Geológico general	2 a
- Mapa Geológico detallado	2 b
- Perfiles Litológicos	3 y 4
- Mapas de Hidroisohipsas	
Período Seco ( 4- 1977)	5
Período Húmedo ( 10-1977)	6
Período Seco ( 4 - 1978)	7
Período Húmedo (10-1978)	8
Período Seco (4 -1979)	9
- Gráficos evaluativos de precipitaciones y niveles	10,11 y 12
- Gráficos evaluativos de cloro y mineralización	13 y 14
- Mapas de mineralización	
Período Seco (4 - 1977)	15
Período Húmedo ( 10 - 1978)	16
Período Seco (4-1978)	17
Período Húmedo (10 - 1978)	18
- Perfiles esquemáticos de Batometría	19
- Gráfico evaluativo de precipitaciones, gasto y amplitud de niveles	20
- Gráfico de aforo, pozo 214	21
- Tabla de datos generales	<div style="text-align: center; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px dashed black; padding: 2px;"> <u>Nº de Tabla</u>                      1                 </div>
- Tabla de análisis químicos	2
- Tabla de niveles y precipitaciones	3
Tabla del gasto de explotación	4

## INTRODUCCION:

El conocimiento de los recursos hídricos subterráneos, la evaluación de sus reservas, explotación racional y conservación son de vital importancia para el desarrollo económico - social, industrial, agrícola de cualquier país.

En los últimos tiempos la utilización de las aguas subterráneas con fines de abastecimiento humano y técnico ha adquirido mayor significación, sobretodo en nuestro país, donde el régimen de lluvias es muy variado - y los ríos de que disponemos en general son pocos caudalosos, es por esto que debemos de velar por la conservación en calidad y cantidad de -- las aguas subterráneas y su uso debe realizarse con prudencia, por ello todo programa de explotación de agua se establecerá con el fin primordial de evitar el agotamiento de los horizontes y complejos acuíferos, -- así como la ocurrencia de fenómenos tales como la penetración de intrusión salina en las aguas subterráneas, cosa que actualmente está afectando en gran medida a los acuíferos de nuestro país, debido a muchos -- casos a las condiciones específicas de ellos, como son su cercanía al -- mar, explotación irracional de sus reservas, etc.

El presente trabajo tiene como objetivo hacer un análisis de los datos de las observaciones sistemáticas realizadas en la Cuenca Parada, Santiago de Cuba desde el año 1977 hasta Abril del año 1979 y teniendo en cuenta los trabajos realizados anteriormente establecen las conclusiones y recomendaciones con vista a la reposición de las áreas de aguas subterráneas salinizadas.

La cuenca Parada comenzó a explotarse desde antes del año 1959, para -- abastecimiento de agua a la entonces Refinería de Petróleo de Santiago de Cuba (propiedad de un consorcio extranjero) con varios pozos -- contruídos para ese fin.

Al triunfo de la Revolución en 1959 la actual Refinería de Petróleo -- "Inos. Díaz" continuó abasteciéndose de estos pozos. Entre 1967 y ----

partir de entonces algunos pozos comenzaron a explotarse con fines de riego conjuntamente con los de abastecimiento a la Refinería, todo esto sin un correspondiente control sistemático; no obstante éste como la cuenca se alimenta fundamentalmente de las precipitaciones atmosféricas y el régimen de los mismos era bueno, no se produjeron consecuencias iniciales funestas.

Entre 1972 y 1973 se realizó una investigación conjunta del Departamento de Hidrogeología del Grupo Hidráulico (DAP.) y la escuela de Geología de la Universidad de Oriente estableciéndose como principal conclusión la existencia de intrusión salina en la Cuenca y el avance de la misma hacia los pozos de explotación de la Refinería (pozos 7 y 8) proponiéndose toda una serie de medidas de control sistemático que en la práctica se realizaron algo tardíamente (entre ellas el cese de explotación de los pozos para riego), y sólo parcialmente.

De 1975 a 1977 (ambos inclusive) se produjo una intensa sequía que al disminuir los recursos de agua subterránea disponibles, con una sobreexplotación ya continuada trajo como consecuencia la salinización de los pozos 13 y 15 más el 8 pudiéndose obtener conclusiones y tomar nuevas medidas gracias a la existencia de algunos controles sistemáticos.

En 1978 la intrusión salina abarca el 92 % aproximadamente dentro del área de la cuenca desde su límite con el mar.

La hidrogeología de la cuenca Parada es bastante compleja debido a lo anteriormente expuesto y además a que esta es una cuenca abierta próxima a la Bahía de Santiago de Cuba, con la cual limita, a la existencia de una litología heterogénea en los sedimentos acuíferos ya que la cota absoluta del nivel de las aguas subterráneas es próxima a cero.

Esta tarea la hemos desarrollado en 2 partes, una general y una especial las cuales a su vez constan de 2 capítulos la primera y de 5 capítulos la segunda con sus correspondientes anexos gráficos.

Para su confección no se realizaron por parte nuestra trabajos de campo

donde se encuentra recopilados las observaciones sistemas que se han ido realizando en un período aproximado de 5 años, además y fundamentalmente para la realización de la primera parte del trabajo, nos hemos auxiliado de tesis e informes realizados en períodos anteriores-- al comprendido por nosotros.

Luego de revisar cuidadosamente la bibliografía de que disponemos -- nos hemos apoyado fundamentalmente en el trabajo de grado de la Ingeniera Bertha Guerra (1972) titulado "Condiciones Hidrogeológicas preliminares de la cuenca Parada", y en el Informe Hidrogeológico cualitativo y cuantitativo de reservas de aguas subterráneas en la Cuenca Parada (1975-1976) del Ingeniero Francisco Ferrer, por considerarlos los más completos y que más se ajustaban a las características de -- nuestro trabajo; no obstante haber utilizado además otros materiales como se indica en la bibliografía.

Nuestro trabajo ha estado encaminado a cumplir cabalmente con el objetivo propuesto y poder así hacer una reevaluación de la Cuenca Parada que nos permita recomendar un gaste racional de detener y luego -- hacer retroceder el avance de la intrusión salina lo cual traería -- como resultado un enriquecimiento de los Recursos y Reservas de explotación de dicha Cuenca, es por esto que el peso de nuestra tarea recae en la parte especial, a la cual hemos dedicado la mayor parte -- del tiempo disponible pues es de donde podremos extraer las conclusiones más importantes desde el punto de vista práctico y económico.

-----

PARTE

GENERAL

VOLUMEN Y METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

- 1).- Des visitas de orientación al área de estudio
  - 2).- Revisión y estudio de la bibliografía y material de archivo existente.
  - 3).- Elaboración en base a lo anterior de una parte general del informe.
  - 4).- Selección y análisis de las columnas litológicas necesarias para la confección de 5 perfiles.
  - 5).- Análisis de los datos de observaciones sistemáticas del régimen y de precipitaciones para la confección de 5 mapas de hidroisohipsas y de 6 gráficos de observación del régimen
  - 6).- Procesamiento de 20 resultados de análisis químico de 5 pozos, para establecer la composición química del agua y confeccionar 5 gráficos de variación del cloro y la mineralización, así como los 4 mapas de mineralización.
  - 7).- Confección de dos perfiles de batometres.
  - 8).- Recopilación de los datos de explotación de los pozos en la Cuenca, en el período analizado y confección de un gráfico.
  - 9).- Procesamiento de los datos de un aforo en un pozo con el objetivo de determinar los parámetros hidrogeológicos.
  - 10).- Cálculo de las reservas de explotación por 2 métodos de balance e hidrodinámico
  - 11).- Confección de las conclusiones y recomendaciones
-

CAPITULO I

CONDICIONES FISICO - GEOGRAFICAS

I.1 - Situación Geográfica

La Cuenca de Santiago de Cuba está ubicada en la costa Sur de la antigua provincia de Oriente. La misma está limitada en la parte Norte por las Sierras de Puerto Pelado y de Boniato, al Sur por el Mar Caribe, al Este por el macizo montañoso de la Gran Piedra y al Oeste por las estribaciones de la Sierra Maestra.

La zona de estudio comprende la Cuenca Parada la cual se encuentra al Oeste de la Bahía de Santiago de Cuba, limita al Este por la bahía antes mencionada, al Norte, Sur y Oeste por las montañas y elevaciones de las estribaciones de la Sierra Maestra.

Esta cuenca se encuentra entre las coordenadas 598,750 - 601,000 de longitud Este y 151,250 - 153,000 de latitud Norte por el Sistema Lambert.

El área de extensión de la cuenca es de 6,017 Km<sup>2</sup> aproximadamente con una longitud de 2,70 Km y 2,25 Km. de ancho. Es atravesada de Norte a Sur por la carretera que va a la Refinería "Ines.-Díaz" y en su extremo Sur se encuentra la carretera de la playa "Mar Verde"; al Noroeste existe un camino paralelo al río Paradas (Plano # 1)

I.2 - El relieve de la región de Santiago de Cuba es muy variado. Hacia el Norte y Oeste el relieve se presenta montañoso y en la parte central Este y Sur es de llano a ondulado.

Las principales elevaciones existen al Norte y Noroeste comprendidos en la denominada Sierra de Boniato cuya elevación mayor es el Puerto Moya, con altura de 413 metros; al Norte de la bahía aparecen las montañas de Puerto Pelado con altura de hasta 300 -

bahía encontramos testigos de mesetas, llanuras, valles intramontanos como Santa María, Caimanes, Veguitas y otros; en ellos existen mezclas de sedimentos masivos y aluviales, desarrollándose conos de deyección producto de la acción acumulativa de los ríos y arroyos que atraviesan la zona. Estos se localizan en los pies de monte de las elevaciones.

La Cuenca Parada se caracteriza por tener un relieve llano con muy pocas ondulaciones, dentro de sus límites la inclinación del terreno es suave y va de Oeste a Este desde la cota 10 aproximadamente hasta la cota 0 en sus límites con la Bahía de Santiago de Cuba.

### I.3- hidrología

La región es atravesada por varios ríos y arroyos, hacia el Este se encuentra el Río San Juan, Guamá, Río Seco, al Oeste corre el Río Paradas (Cobre), Caimanes y Gascón que desemboca en la bahía, situado al Noroeste existen numerosos arroyos entre los cuales tenemos Zacatecas-Jagüey, Lajas, Naranjo, Majín y otros.

La pendiente longitudinal de estos ríos es suave, de magnitud aproximadamente igual a 0,006 (1) debido a éste la fuerza erosiva es limitada y la velocidad de transportación es pequeña después de salir de la zona montañosa.

Nuestra área específica de estudio es atravesada de Oeste a Este por el Río Paradas (Cobre) que presenta taludes que varían en altura desde algunos centímetros hasta 2 - 5 metros (1), al igual que los demás ríos mencionados anteriormente, en sus respectivas áreas, el río Paradas es la única fuente de escurrimiento superficial existente en la Cuenca Parada. Por sus características de río montañoso presenta un escurrimiento variado con amplias oscilaciones en su gasto, presentando sus mayores escurrimientos en los meses de Mayo a Octubre y los mínimos de Noviembre a Abril coincidiendo los mismos con los períodos de llu-

pantanosas pero en la época de seca desaparecen debido a la gran evaporación que existe en el área.

#### I.4- Clima

El clima en Santiago de Cuba al igual que en el resto de nuestra isla es tropical, aunque esta zona por sus características específicas de ser una depresión rodeada de montañas en la parte Norte y Noreste y bloqueada en la parte Sur por elevaciones costeras, es una de las más calurosas de la isla ya que los vientos alisios y brisas marinas no actúan directamente sobre ella; entre los elementos del clima tenemos:

##### I.4.1 Temperatura

La temperatura promedio anual es de 24°C, siendo la mínima de 17,3°C y la máxima es de 30,0°C aproximadamente.

##### I.4.2 Vientos

En Santiago de Cuba actúan varios tipos de vientos entre los que se encuentran :

- a).- Vientos del Norte
- b).- Vientos del Sur
- c).- El terral
- d).- Gravitacionales
- e).- Ciclones
- f).- Huracanes

Las direcciones predominantes de los vientos son Norte-Noreste y Sur-Sureste con una velocidad promedio de 20 Km/hora.

##### I.4.3 Precipitaciones

Las precipitaciones atmosféricas están regidas por las características climáticas de la zona; al igual que en toda Cuba existen dos períodos, seco y lluvioso, por lo general las precipitaciones se presentan con ca-

te es en específico para la Cuenca Parada según los datos del pluviómetro 1331 "El Gorgojo", desde el año 1964 hasta 1978. (Tabla # 3)

#### I.4.4 Evaporación

Producto a la gran insolación que sufre la región, la evaporación en Santiago de Cuba es elevada presentando mayores valores que las precipitaciones, esto hace que el escurrimiento superficial presente valores bajos -- con relación al volumen de precipitaciones

Según datos de los años 1966 hasta 1969 la evaporación oscila entre los 110 y 194 mm., esto es mensualmente (3).

#### I.5 Economía de la Región:

El desarrollo económico de la provincia Santiago de Cuba está dado fundamentalmente por las industrias encontrándose entre otras la Refinería - "Inos. Díaz", la Fábrica de Cemento "José Merceron", la cervecería, Fábrica de Calzado, Pasteurizadora de El Caney, la Renté, el Combinado Alimenticio; y en construcción la fábrica textil más grande de Latinoamérica.

La Agricultura tiene poca importancia, debido a la poca productividad -- y reducida extensión de las áreas de cultivo; sus principales productos son las frutas del Caney y el desarrollo de huertos escolares .

#### I.6 Vías de Comunicación:

En Stgo. de Cuba se encuentran bien desarrollados las vías de comunicaciones.

Entre las que se encuentran la vieja carretera Central, la carretera de Mar Verde, la carretera del Morro, la de Siboney, la de El Caney y la de Cuabitas.

En proceso de construcción se encuentra la Autopista Nacional (tramo Stgo San Luis) la autopista que comunica a Santiago con Pilón de Manzanillo y una carretera rápida.

Posee una amplia comunicación con el resto del país por la Terminal de Ferrocarril y además a través del Aeropuerto Internacional "Antonio Maceo"

Según lo analizado en los distintos aspectos de éste Capítulo podemos resumir inicialmente y de forma muy general que debido al relieve llano --- existente en la Cuenca Parada el escurrimiento predominante es el subterráneo lo cual favorece la alimentación del acuífero.

Con respecto a las precipitaciones observamos que esas no son abundantes y son de menor magnitud que la evaporación, lo cual influye de forma negativa sobre la alimentación de las aguas subterráneas.

---

CAPITULO II

CONDICIONES GEOLOGICAS E HIDROGEOLOGICA GENERALES

II.1 GEOLOGIA

II.1.1 Historia de las investigaciones geológicas

En la región de Santiago de Cuba se han realizado diversas investigaciones geológicas las cuales en orden cronológico son las siguientes: (3)

Mayes C. W. Vaughan T. W. y Spencer (1901)

Este trabajo reportó en toda la región un gran desarrollo de margas y calizas conteniendo un gran número de corales.

Vanghan (1918)

Descubrió y denominó las rocas de la Formación La Cruz.

Cooke C.W. (1919)

Realizó estudios paleontológico de la Formación La Cruz e indicó su gran semejanza con las Formaciones Anguila y Tampa ubicada en Antillas Menores y Florida, respectivamente

S. Taber (1931 - 1932)

Estudió la Formación La Cruz y también en la Sierra Maestra estudió la secuencia vulcanógena - sedimentaria y la dividió en dos formaciones: El Cobre y Vinent, no estando muy clara ésta última.

Lewis Straezerk y Simens (1944 - 1945)

Realizaron un levantamiento geológico, con el fin de estudiar los yacimientos de manganeso de la parte meridional central de Oriente, elaborando un mapa geológico a escala 1:50 000. Se terminaron unas cuencas en tres Svitas (miembros).

a) Svita Caney (Cr<sub>2</sub>)

b) Svita Mongolezongo (Pg<sub>1-2</sub>)

c) Svita Yarayabo (Pg<sub>2</sub>)

Ing. Mario Campos

En su trabajo de grado "Estratigrafía y Tectónica de la Formación La Cruz", realizó la división de esa Formación en tres miembros.

- a) Quintero (N<sub>1</sub>)
- b) Versalles (N<sub>1</sub>-N<sub>2</sub>)
- c) Ciudadamar (N<sub>2</sub>-Q)

Ingenieras Iris Méndez y Marisol Rodríguez (1974)

En su trabajo de grado "Geología de la Sierra de Beniate y Puerto Peñalade proponen una nueva división de la Formación "El Cobre"

- a) Miembro Beniate (Eoceno medio)
- b) Miembro Mongolezongo (Paleoceno - Eoceno medio)
- c) Miembro Caney (Cretácico superior)

Tal como hemos dicho en Santiago de Cuba se encuentran presente las Formaciones El Cobre, La Cruz y Ciudadamar, ésta última ha sido denominada por algunos autores como miembro y por otros como formaciones.

### II.1.2 Estratigrafía

De las formaciones mencionadas anteriormente haremos una breve reseña:

Formación El Cobre (Paleoceno - Eoceno medio)

Las rocas constituyentes de estas formaciones forman un complejo vulcanógeno-sedimentario, de estructura y litología variada, entre los que se encuentran lava-brecha, aglomerados, tobas de diferentes composición y granulometría, lavas de composición básica, media y ácida, ignimbritas y algunos lentes de calizas.

Formación La Cruz (Mioceno medio - Plioceno inferior)

Las rocas de la Formación La Cruz afloran en la parte central y Sur de Santiago de Cuba, son de composición terrígena - carbonatadas.

Formación Ciudadamar (Plioceno ? - Cuaternario)

nosas que se extienden de Este a Oeste de la bahía, formando una faja costera con un espesor promedio de 40 - 80 metros.

Estas rocas yacen discordantemente sobre las rocas de la Formación La Cruz en Aguaderos, siendo sus mejores afloramientos los de Ciudadamar - El Morro y Aguaderos .

La Cuenca Parada en específico, está bordeada por pequeñas colinas donde afloran las rocas de la Formación El Cobre por lo que además de los sedimentos aluviales cuaternarios que en esta zona de encuentran hay - que hacer una descripción más amplia de dicha formación

En base a estudios anteriores realizados se han propuesto diferentes divisiones para la Formación El Cobre nosotros nos referiremos a la -- utilizada por la Ing. Belén Milanés en su trabajo de grado (3), según la cual esta formación se encuentra dividida en los miembros Caney, Mon golozone y Boniate. Nos limitaremos a describir brevemente los dos primeros por ser las que tienen alguna relación con el área de estudio --- nuestra.

#### MIEMBRO CANEY (P<sub>g</sub> 1)

Esta constituido por rocas efusivas de composición media y básica representadas fundamentalmente por lavas amigdaloidales de perfiritas andesíticas. En este miembro se encuentran lentes de calizas macivas y brechas, las cuales presentan contenido orgenógeno.

Entre las rocas piroclásticas que constituyen el miembro Caney se encuentran tobas, aglomerados y areniscas tobáceas.

Las tobas y areniscas presentan diferentes granulometría, su composición es básica y media y sus colores van de verde a gris crema.

En ocasiones las tobas se encuentran interestratificadas con los aglomerados, siendo las tobas de granos finos y medios estratificados y a su vez compactas sin embargo los de granos gruesos son poco compactas, deleznable y muy alteradas.

Los aglomerados son polimícticos son subangulares y subredondeados de -

ban en una matriz tobácea deleznable y generalmente alterada.

La actividad intensiva en este miembro está representada por numerosas "sills" de composición básica media.

La potencia del Miembro Caney es aproximadamente de 2100 a 2300 mts.

MIEMBRO MONGOLOZONGO (Pg 1-2)

Se encuentra yaciendo concordantemente el Miembro Caney. Su litología es terrígena piroclástica, constituida por conglomerados, tobas y areniscas tobáceas de distinta granulometría. Además existen intercalaciones y tufitos calcáreos. La composición de las rocas varía bruscamente en sentido vertical no siendo así en dirección longitudinal.

Hacia la parte inferior del miembro predominan los conglomerados y areniscas tobáceas con intercalaciones de tobas de composición media y ácida. En la parte media se encuentran calizas tobáceas y tufitas. En la parte alta el miembro está compuesto por aglomerados, es decir a medida que ascendemos hay un predominio piroclástico.

Las areniscas tobáceas presentan granulometría desde gruesa a fina en la mayoría de los casos son delezna**bles**, generalmente son de color verde oscuro, gris; presentan una buena <sup>estratificación</sup> de tipo gradacional y en algunos casos conformada. Su potencia varía desde centímetros hasta 25 metros.

Las tobas son de composición media a ácida y su granulometría es variable. Las finas son estratificadas y compactas y los gruesos son todo lo contrario. Sus colores son los mismos que para las areniscas y su espesor es de 40 metros.

Los aglomerados son polimícticos de color verde a crema y su matriz está alterada y es de composición tobácea, los cantos son de composición efusiva con tamaño de 4 a 6 cms.

Las tufitas son por lo general compactas, de color gris claro, y granos finos.

## SEDIMENTOS CUATERNARIOS

En la región de Santiago de Cuba los sedimentos cuaternarios se encuentran yaciendo indistintamente sobre recas de la Formación La Cruz o sobre recas de la Formación El Cobre.

Consisten en arenas, gravas, arcillas y sus transiciones, por su origen -- se clasifican en:

### a) Deluviales - preluviales.

Los depósitos deluviales-preluviales son producto de las acumulaciones de los ríos y arroyos en su salida de la zona montañosa, debido a su poca --- transportación tienen una granulometría gruesa, son angulosos y no presentan buena selección.

### b) Literales

Los depósitos literales son los que se encuentran más cerca de la costa --

### c) Aluviales

Estos tipos de sedimentos son los que se encuentran distribuidos en nuestra área de estudio, la Cuenca Parada, los cuales descansan discordantemente sobre la Formación El Cobre, la potencia de estos sedimentos es muy variable siendo el promedio de 25 - 30 metros.

Están representados principalmente por sedimentos areno-arcillosos, arcille arenoso, arenas con gravas y cantos redados, las gravas son de tamaño variable, los cantos tienen diámetros hasta de 6-7 cms. La composición de los cantos y gravas es toba de granos gruesos y medios y andesitas porfiríticas

## II.1.3 Tectónica

La región de Santiago de Cuba incluyendo la Cuenca Parada, se encuentra --- situada en el anticlinorium Sierra Maestra donde la Formación El Cobre forma parte del ala Norte del anticlinorium, cuyo eje principal se orienta de Este a Oeste y el flanco Sur está sumergido en el Estrecho de Colón, des---

les, el inferior representado por rocas de la Formación El Cobre (Paleoceno - Eoceno Medio) y el superior formado por rocas de la Formación La Cruz (Mioceno Medio - Plioceno Inferior) separados ambos por una discordancia angular.

En la zona de estudio y sus alrededores existen varios sistemas de fallas -- las cuales son agrupadas en dos clasificaciones:

- a).- Grupo de fallas latitudinales
- b).- Grupo de fallas sublongitudinales

El primer grupo posee un rumbo general Este - Oeste, constituye un grupo de fallas más antiguas desarrolladas ampliamente en las rocas de la Formación "El Cobre".

Según trabajos de microrregionalización sísmica se ha situado una falla de dirección Noroeste hacia el fondo de la Cuenca Parada, otra falla se encuentra donde el Río Paradas cambia su rumbo y otras ~~varias~~ dos en dirección a la Bahía del Miradero, todas son supuestas (4, plano 2b).

Las fallas sublongitudinales son más jóvenes, con un rumbo general Norte, -- Sur y Sureste - Noroeste desarrolladas en las rocas de la Formación "La Cruz" no perteneciente a nuestra área de estudio, por lo cual no las describiremos.

De acuerdo a las características morfológicas se han realizado estudios de los movimientos contemporáneos en la Cuenca Parada, por la Ingeniera Bertha Guerra (1) la cual divide dicha Cuenca en los 4 bloques siguientes:

Bloque I :- Zona Sur, este Bloque está levantado bruscamente y con cuerda con las formas quebradas del relieve actual de la zona.

Bloque II :- Centro de la Cuenca, se encuentra subsidiando lentamente.

Bloque III:- Zona Norte, se observa un levantamiento pero más lento que el bloque uno.

Bloque IV :- Zona Noroeste, tiene como característica la presencia de una falla en coincidencia con el Río Paradas.

#### II.1.4 Magmatismo

En las rocas de la Formación El Cobre se encuentra representada la actividad magmática por la presencia de:

- a) Intrusivos sub-volcánicos (Sills, cúpulas, algunos diques de basalto, diabasas, andesitas)
- b) Grandes intrusivos de dioritas, plagiogranitos, diques de aplititas.
- c) Pequeños intrusivos jóvenes de profundidad intermedia y sub-volcánicos de rocas básicas, medias y ácidas.

El magmatismo efusivo sólo se manifiesta en el Miembro Caney y está representado por mantos de lavas de porfiritas basálticas amigdaloidales.

#### II.2. Hidrogeología

Las condiciones hidrogeológicas de Santiago de Cuba no han sido estudiadas en detalles, de acuerdo a lo establecido hasta el momento en la región se considera los siguientes horizontes acuíferos (3)-

- a) Horizonte acuífero de las rocas de la Formación "EL Cobre"

Las aguas de este horizonte consisten en aguas de fisuras de la corteza de meteorización y de fisuras fililoneanas, las cuales yacen por debajo de los 10 mts. de profundidad.

Se localizan en la zona comprendida entre el Río Camimanes y el Río Paradas, yaciendo por debajo de los sedimentos cuaternarios, no se dispone de datos para saber si existe interrelación entre estas aguas y las aguas de los sedimentos cuaternarios.

- b) Horizonte acuífero de las rocas de la Formación "La Cruz"

Se presentan tres tipos de agua subterránea: De fisura, de estrato intersticial y aguas cársicas.

Aquí se encierra mayor volumen de agua subterránea y es éste horizonte acuífero el objeto de nuestro estudio. En la Cuenca Parada se encuentra constituido por sedimentos aluviales que van desde arcilla arenosa, arena arcillosa y arena hasta lentes de gravas y cantos rodados, los cuales presentan una potencia variada predominando en la cuenca los sedimentos arena arcillosos. El agua subterránea se aloja en los poros de los estratos y lentes de variada litología que componen este horizonte acuífero.

Posee como base impermeable las rocas vulcanógenas sedimentarias que pueden presentarse alterada hasta el estado arcilloso o arcilloso arenoso. Esta roca están constituidas por tobas, aglomerados, areniscas tobáceas, etc. de edad - Paleoceno - Eoceno medio.

El nivel de las aguas subterráneas se comportan de la siguiente forma:

En régimen normal yace a profundidades de 5-11 mts. para el extremo Oeste, - y 2-6 mts. en el extremo Este, siendo de 3-10 mts. para el centro de la cuenca .

En un régimen alterado debido a la explotación de los pozos que abastecen a la Refinería, el nivel dinámico alcanza profundidades que oscilan entre valores desde los 7 hasta los 21 mts. (Tabla # 3).

La principal fuente de alimentación de éste acuífero es por la infiltración de las precipitaciones atmosféricas a través del Río Paradas que puede alimentar a la cuenca en los períodos de grandes lluvias.

-----

PARTE

ESPECIAL

CAPITULO III

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DETALLADAS

En este Capítulo haremos una descripción detallada de la geología de la zona, fundamentada en la interpretación de los mapas geológicos y perfiles litológicos, construídos por nosotros, a tales efectos.

Según se muestra en el mapa geológico detallado (plano # 2a) los sedimentos aluviales cuaternarios se encuentran distribuídos en toda el área de la cuenca hacia ambos márgenes del Río Paradas. En dicha cuenca podemos observar 2 terrazas bien definidas una de cauce y otra entre la cota 5 y 10, encontrándose en esta comprendido la mayor cantidad de sedimentos, a partir de la cota 10 hay otra terraza aunque esta no está bien delimitada producto de su morfología ya que tiene sus límites en las formaciones rocosas.

En el área de estudio fueron confeccionado 5 perfiles litológicos, dos longitudinales y tres transversales, según los pozos o calas que se señalan en el plano 2b y que son los siguientes:

Perfiles longitudinales (Plano # 3)

I - I : P<sub>1</sub> - B<sub>so</sub> - A - C<sub>27</sub> - P<sub>so</sub> - P<sub>8</sub> - C<sub>31</sub> - C<sub>32</sub> - C<sub>28</sub> - P<sub>15</sub> - P<sub>187</sub>

II - II : - C<sub>38</sub> - P<sub>174</sub> - C<sub>36</sub>

Perfiles transversales: (Plano # 4)

III - III : - C<sub>36</sub> - C<sub>35</sub> - C<sub>33</sub> - C<sub>32</sub>

IV - IV : - C<sub>38</sub> - P<sub>211</sub> - C<sub>27</sub>

V - V : - C<sub>36</sub> - C<sub>30</sub> - C<sub>19</sub>

Debemos señalar que las descripciones de la litología presenta en los diferentes pozos o calas, son visuales, no existen determinaciones de índice físico - mecánico, y fueron realizados por autores de trabajos anteriores (Bibliografía 1.2) además para la construcción gráfica de

los perfiles empleados a una escala que aunque introduce cierta exageración vertical, es la más apropiada para reflejar bien las variedades litológicas presentes de la cuenca.

Por todo lo anteriormente señalado podemos considerar que estos perfiles son esquemáticos y convencionales.

Según el perfil I - I (plano # 3) representativo de la parte inferior -- del área de estudio, y de acuerdo a la documentación que poseemos de los pozos aquí incluidos, observamos que la potencia de los sedimentos aumentan considerablemente a partir del extremo izquierdo representado por el pozo 1, hasta el extremo derecho, dado por el pozo 187 en un rango de los 13 hasta los 60,4 mts., además también se observan una gran variabilidad facial tanto horizontal como vertical.

Al correlacionar la litología existen entre un pozo y otro se ha aplicado el criterio de interdigitación ya que los sedimentos no guardan continuidad lateral en la generalidad de los casos, siendo una excepción la arena arcillosa con contenido de gravas y cantos rodados que se mantienen desde el pozo 50 - hasta el 28.

Donde mayor uniformidad conservan los sedimentos aluviales es en el Pozo No. 1 y donde mayor variación observamos es en el pozo 50, aunque los sedimentos que encontramos son transiciones unos de otros y en los que podemos diferenciarlos es el mayor o menor contenido de ellos.

Hacia la zona central inferior de la cuenca observamos la presencia de carbonatos producto estos del aporte que hace el Río Paradas, luego de atravesar las calizas de la Formación "El Cobre", disolviendo parte de ellos para luego depositarlos en el área de la cuenca.

Hacia los extremos inferior y superior del área descrita en este perfil predominan las arcillas con contenido de gravas y cantos rodados, encontrándose hacia el centro las arenas arcillosas con gravas y cantos rodados, pero en menor proporción que las arcillas.

En la parte superior de la Cuenca Parada descrita según los pozos 38 174 y 36 en el perfil II - II (plano # 3), también podemos observar en aumento de la potencia desde la izquierda (pozo 38) hasta la derecha (pozo 36) desde los 14,7 mts. hasta las 39,8 lo más característico en esta zona es la presencia de numerosos lentes que varían su espesor entre los 0,5 y 6 mts. Los sedimentos predominantes son los arenosos, encontrándose en menor cuantía las arcillas

El perfil III - III (plano # 4) nos representa un corte transversal de la cuenca en su centro, según el cual podemos percatarnos en que aquí la heterogeneidad facial de los sedimentos es más característico, variando estos en tramos pequeños tanto horizontal como vertical la potencia de los sedimentos aluviales se mantiene más o menos constante en esta zona, alrededor de los 38 - 39 metros.

Los sedimentos arenosos y arcillosos se encuentran aproximadamente en la misma proporción, también se presentan lentes y carbonatos aunque estos en menor cantidad y sólo hacia la parte más baja del pozo 35.

Las arenas con contenido de arcillas gravas y cantos rodados son las que presentan continuidad lateral a lo largo del área, en el caso del resto de los sedimentos, estos se interdigitan unos con otros ya que varían bruscamente su composición en sentido lateral.

El perfil IV - IV (plano # 4) es representativo del extremo Oeste de la cuenca, los cambios de los sedimentos aluviales tanto en sentido vertical como horizontal en este extremo son menores, desde el pozo 38 hasta el 27 tanto las arenas como las arcillas van a mantener continuidad lateral, en sentido general, se observa una gran diferencia en el espesor de los sedimentos ya que desde 9,6 mts. en el pozo 38 va hasta los 31 mts. en el pozo 211.

En este caso los sedimentos son más potentes en el centro de la per-

El perfil V - V comprende la porción de la cuenca, más cercana de la Bahía de Miradero, en esta zona se mantienen las mismas características que en los anteriores analizados, aquí los sedimentos aluviales tienen su mayor potencia en el centro del área comprendida por este perfil.

Se observa una mayor cantidad de sedimentos, arcillosos con arenas y gravas que de la variedad arenosa. Los cambios de litología son notables en el pozo 36 en sentido vertical no siendo así para el pozo 30 y la cala 19.

En la cala 19 el contacto con la roca aparece a muy poca profundidad (5,5 mts.) en comparación con los otros pozos y calas, lo cual atribuimos a la poca acción de los agentes erosivos sobre la roca que no profundizaron mucho apareciendo ahora sólo una capa de arcilla de 5,5 mts. de espesor.

Luego de haber analizado todo perfil por separado podemos proceder a hacer una generalización de los sedimentos aluviales cuaternarios que se encuentran en la Cuenca Parada, ya que con sus ligeras variaciones guardan características similares en todos los casos vistos.

Lo más notable que estos sedimentos aluviales en su heterogeneidad facial dada esta por la presencia de sedimentos areno arcillosos, arcillo-arenosos, arenas, arcillas con gravas y cantos rodados.

Estos cambios faciales se manifiestan tanto horizontales como verticales en algunos casos de forma gradual (Plano # 4, perfil III-III) y en otras bruscamente (Plano # 3, perfil I - I) lo cual suponemos sea debido a que el Río Paradas desciende al área de la cuenca prácticamente llana, con meandros y desarrolla una sola terraza. Debido a estos cambios faciales en los sedimentos hemos aplicado el criterio de interdigitación, entre una y otra litología.

También queda mostrado que el espesor de los sedimentos aluviales no

desde la potencia de los sedimentos cuaternarios es mayor que en el resto de la cuenca.

Hay que señalar la presencia de numerosos lentes de composición arenosa arcillosa con gravas y cantos rodados, los que también presentan variaciones en su potencia en un rango de los 0,5 - 5 mts. (Plano # 3 perfil II-II).

Los sedimentos aluviales cuaternarios de la Cuenca Parada conforman un mismo horizonte acuífero.

Como ya hemos explicado en la cuenca no va a existir una distribución uniforme de los sedimentos aluviales, predominando los más acuíferos (arenas, gravas y cantos rodados) hacia el Centro de la cuenca, y en la margen derecha del Río Paradas, lo que trae consigo cambios en la permeabilidad a través del área de estudio ya que el coeficiente de filtración y demás parámetros hidrogeológicos variarán en rangos considerables.

En los perfiles se observa la presencia de una capa de arcilla a partir de la superficie, cubriendo el manto acuífero, la cual no es lo suficientemente potente para ejercer presión sobre él, además de que no es totalmente impermeable ya que presenta contenido de gravas, cantos rodados y arena, por lo general, por lo que el agua penetra en ella por capilaridad siendo el acuífero freático.

La base impermeable de este complejo acuífero está constituido por las rocas vulcanógenas sedimentarias que pueden presentarse alteradas hasta el estado arcilloso, o arcilloso arenoso. Estas rocas están compuestas por tobas, aglomerados, areniscas tobáceas, etc. de edad Paleoceno - Eoceno Medio, (Plano 3 y 4). El límite superior de este impermeable no es constante sino se localiza a diferentes profundidades a partir de la superficie. En algunos casos como por ejemplo en el pozo 15, 174 y en la cala 27, la base impermeable está constituida por arcillas.

Es necesario aclarar que las rocas poseen buzamiento hacia el Norte y de acuerdo a la dirección en que se han construido los perfiles litológicos debía calcularse el buzamiento aparente y representado en los planos, lo que se obvió por disminuir trabajos gráficos, ya que esto no influye de ninguna forma en nuestro estudio.

---

## CAPITULO IV

### CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DETALLADAS

La Cuenca Parada abarca una área pequeña de (6Km<sup>2</sup> aproximadamente) el acuífero existente es freático, alejándose el agua subterránea en los poros de los estratos y lentes que componen el complejo acuífero, el cual fué estudiado en detalle al final del Capítulo anterior.

En este Capítulo haremos un análisis del comportamiento de las condiciones hidrogeológicas en la cuenca, en el período que abarca nuestro trabajo (1977 a 1979), en base a los gráficos evaluativos de niveles y precipitaciones y a los mapas de hidroisohipsas con los datos de las observaciones sistemáticas en el área de estudio.

Ante todo debemos señalar las dificultades y limitantes que se nos han presentado para el desarrollo de este trabajo.

- 1).- Carencia de una red básica de observaciones específicas, sino que hemos tenido que utilizar la establecida, por autores de trabajos anteriores.
- 2).- Falta de control estricto en la explotación de los pozos, por lo que a veces se mide el nivel estático en ellos y en otros casos el nivel dinámico.
- 3).- Los filtros instalados en los pozos debido a su construcción presentan resistencia hidráulica, lo que conlleva a que el nivel del agua <sup>que</sup> se mide en los pozos en explotación sea mayor que el real, en el área circundante a ellos.
- 4).- El pluviómetro 01-1331, El Gorgojo no se encuentra exactamente en el área de estudio sino en una zona más alta hacia el Norte de la cuenca subterránea con coordenadas Norte 153,900 y Este 596,800

IV. 1 ANÁLISIS DE LOS GRÁFICOS EVALUATIVOS DE PRECIPITACIONES Y NIVELES FREÁTICOS (Planos # 10, 11 y 12)

Para confeccionarlos se utilizaron 6 pozos de la red de observaciones sistemáticas por ser los que mayor cantidad de datos poseen y los más representativos de la cuenca, ellos son los pozos:

1, 8, 13, 15, 174 y 215

Haremos una interpretación del régimen de las aguas en conjunto, ya que en todos los pozos las características son semejantes.

Se observa una estrecha relación entre la lluvia y la variación de niveles en los pozos lo que se explica por lo dicho anteriormente con respecto a que la alimentación del acuífero ocurre por medio de las precipitaciones ya que es una ley general de la infiltración que en los acuíferos freáticos la infiltración esté íntimamente relacionada con la variación del nivel; como es lógico un cierto desfase, debido a <sup>la</sup> redistribución del agua en los sedimentos, entre la elevación o descenso de los niveles y la mayor o menor cantidad de precipitaciones ocurridas en un período dado.

A fines del período seco de 1977, en los meses de Enero a Abril -- los niveles se mantienen muy bajos, alrededor de los 9-10 mts. de profundidad para los pozos 1, 8, 174, 215 (planos 10 y 12), lo cual atribuimos a la cercanía de estos <sup>del área</sup> de la cuenca que se encuentra en explotación (P<sub>211</sub>, P<sub>212</sub>, P<sub>213</sub>, P<sub>214</sub>, P<sub>147</sub>) y para los pozos más próximo al mar (13 y 15) el nivel se encuentra a los 6-7 mts. de profundidad. En estos niveles tan bajos consideramos que tiene especial influencia el hecho de que la zona estuvo sometida a una intensa sequía en años anteriores, la cual se extendió hasta 1977 -- ya que a principios del período húmedo de ese mismo año la situación varía, las lluvias aumentan considerablemente, 585 mm, y ocurre un brusco ascenso de los niveles que en los pozos 13 y 15 será a h = 5 mts, situándose los niveles a una profundidad entre los 2- y 3 mts. y en los pozos alejados del mar, estos experimentan un as

pero los niveles freáticos en los pozos no experimentan variaciones notables ya que siguen influenciados por las abundantes precipitaciones ocurridas en el mes de Mayo ya en el año 1978 notamos que se ha mantenido un buen régimen de precipitaciones por lo que los niveles continúan en ascenso llegando en algunos casos hasta los 1 ó 2 mts. de profundidad.

En los primeros 4 meses de 1979 los niveles comienzan a descender aunque no bruscamente, sino de forma gradual, debido a que las lluvias han disminuido notablemente.

#### IV. IV. 2 ANALISIS DE LOS MAPAS DE HIDROISOHIPSAS (Planos # 5,6,7,8 y 9)

Estos fueron confeccionados para los períodos de seca y lluvia (mes de Abril y Octubre respectivamente, de los años 1977, 1978 y mitad de 1979, según los datos de las observaciones sistemáticas teniendo en cuenta que la red en que se realizan las observaciones ha sufrido sus ligeras variaciones entre una y otra.

##### IV.2.1 PERIODO SECO 1977 (Plano # 5)

En este período las cotas del agua en los diferentes pozos van a tener valores muy bajos, encontrándose en todos los casos por debajo del nivel del mar llegando hasta los 15 mts.

Debido a la explotación en los pozos las hidroisohipsas describen un pronunciado cono de depresión con centro en el pozo 212.

La alimentación del acuífero es de las partes superiores ya que hacia ellos es que se encuentran las curvas de mayor valor. La dirección del flujo de las aguas subterráneas es hacia el cono de depresión y tal como nos indica la línea de flujo, hacia los pozos en explotación está fluyendo agua contaminada con la intrusión salina.

El gradiente hidráulico será mayor en donde las curvas están muy próximas o sea en el cono de depresión ya que aquí se inducen gradientes artificiales producto a la explotación de los pozos, esto se mantiene en todos los períodos.

##### IV.2.2 PERIODO HUMEDO 1977 (Plano # 6)

que la mitad de las curvas tienen valores por debajo del nivel del mar, éstos alcanzan menores profundidades que en el caso anterior por ejemplo el pozo 15, la columna de agua en los meses de Abril a Octubre se ha ascendido 5 mts.

El cono de depresión se mantiene aunque algo más amplio.

La alimentación del acuífero es de las partes superiores.

A la izquierda del pozo 7 la línea de flujo tienen dirección hacia el centro del cono de depresión, pero a la derecha de este pozo su dirección es hacia el Sur ya que como las precipitaciones han sido abundantes, toda el agua que entra a la cuenca no es extraída por los pozos en explotación sino que parte de ella corre hacia el extremo Sur de la cuenca y la explotación no ejerce gran influencia en esta área.

El gradiente hidráulico continúa siendo mayor hacia los pozos en explotación.

#### IV.2.3 PERIODO SECO 1978 (Plano # 7)

Los niveles han continuado ascendiendo a causa de mantenerse su comportamiento positivo del régimen de lluvia, las cotas del agua se mantienen hasta una profundidad de 4 mts. por debajo del nivel del mar, en otros casos se encuentra por encima de esta.

El cono de depresión se ha aplanado.

Entre los pozos 15 y 7 se forma como una divisoria del agua debido a que los niveles ascienden pues la alimentación en la cuenca va a ser principalmente desde la parte superior y secundariamente de la parte inferior y la dirección del flujo de agua subterránea en la parte izquierda se dirige hacia los pozos en explotación y en la derecha tiene dirección Noroeste - Sureste, no influyendo en ella la explotación.

#### IV.2.4 PERIODO HUMEDO 1978 (Plano # 8)

Se mantiene la misma situación, el nivel continúa ascendiendo, régimen de lluvia bueno, el cono de depresión se aplanó, la explotación no influye en ella.

IV. 2.5 PERIODO SECO 1979 (Plano # 9)

La situación similar se mantiene al período anterior,

Las cotas del agua oscilan desde 0,61 a 1,72 mts. las hidroisohipsas describen un pequeño cono de depresión con centro en el pozo 211 el cual se está explotando. Las líneas de flujo convergen hacia este pozo.

El gradiente hidráulico toma los mayores valores en la parte Noroeste de la cuenca.

Tal como hemos visto el acuífero se alimenta por las precipitaciones atmosféricas a través del Río Paradas ya que por ser éstas la zona más permeable, las aguas se infiltran por aquí, desde las partes superiores del área. El Río Parada en época de seca se hace subterráneo, es por eso que todas las variaciones en los niveles del agua está en función del comportamiento del régimen de lluvia.

La zona de descarga del acuífero es hacia la parte Sur de la cuenca -- según nos muestra la dirección del flujo de las aguas subterráneas.

-----

CAPITULO V

HIDROQUIMICA

Este Capítulo lo desarrollaremos teniendo en cuenta dos aspectos:

- V.1 Análisis del agua como tal en la zona que actualmente no presenta contaminación con la intrusión salina.
- V.2 Análisis del fenómeno de intrusión salina.

Para el análisis de estudio de la hidroquímica hemos tomado en cuenta los análisis químicos correspondientes a 5 pozos (1,2,211,212,213) 12 de estos análisis pertenecen al período seco y 8 al período húmedo (Tabla # 2)

Por no existir una amplia cantidad de análisis químicos y no disponer aún de los correspondientes al año 1979, se utilizaron para el desarrollo del primer punto a tratar en este capítulo, los análisis químicos de las muestras de agua del año 1976, aunque dicho año no forme parte del período comprendido para este trabajo.

Todos los análisis químicos correspondientes a muestras de agua tomadas en la parte superior del manto acuífero ya que para el área analizada no existen datos de batometreo.

V.1 Clasificación del agua subterránea como tal

Hemos realizado una clasificación lo más completa posible en base a una serie de parámetros, que se enumeran a continuación, según los promedios de los análisis químicos descrita en la tabla # 2 de forma tal que se pueda obtener una idea general de la composición y tipo de agua del área de estudio escogida, no afectada por la intrusión salina.

V.1.1 P H = 7,46 son aguas de neutras a básicas

V.1.2 Dureza total =  $Ca^{++} + Mg^{++}$  en mg lq/lt.

$$= 4,60 + 4,31 = 8,91$$

De acuerdo a la tabla de Alekín que norma la dureza, está comprendida en el-

### V.1.3. Agresividad

Solo contamos con los datos necesarios para determinar la agresividad sulfatada, la cual se manifiesta cuando en el agua esta presente los iones -- sulfatos en cantidades apreciables.

La condición para que exista agresividad sulfatada está en dependencia del contenido de cloro de la siguiente forma:

$Cl^-$ (Mg/l)	$SO_4$ (Mg/l)
1- 3000	>250

En nuestro caso con un contenido de cloro = 59 (Mg/l) existen 269 mg/l de sulfato por lo tanto el agua presenta agresividad sulfatada lo que provoca que si se encuentra en contacto con elementos o estructuras de hormigón -- éstas con el tiempo se destruyan a causa de la formación de nuevos compues tos.

### V.1.4 Mineralización

De acuerdo a la mineralización las aguas pueden ser:

	Mineralización
Dulces	Hasta 1 gr/l
Algo saladas o salobres	1 - 3 gr/l
Saladas	3 - 10 gr/l
Muy saladas	10 - 35 gr/l
Salmueras	>35 gr/L

En nuestro caso la mineralización es de 0,75 gr/lt por lo tanto en la parte considerada las aguas son dulces.

### V.1.5 Según la relación cloro carbonato (Mg eq/lt)

$$\frac{Cl^-}{C_{O_3} + C_{O_3} H^-}$$

bastante contaminada	2,8 - 6,6
altamente contaminada	6,6 - 15,5
agua de mar	200

$$\frac{Cl^-}{C_{O_3} + C_{O_3} H^-} = \frac{1,50}{5,01} = 0,30 \text{ mg eq/lt} \leq 0,5 \text{ es un agua normal}$$

no tiene contaminación con el agua de mar

V.1.6 Para conocer si las aguas son aptas para el riego, se pueden evaluar -- por el coeficiente de irrigación (Ki) y por la relación sodio absorción (S A R) en mg eq/lt.

Según el coeficiente de irrigación se pueden presentar uno de los tres ca sos siguientes:

Caso I  $Na^+ \leq Cl^-$   $Ki = \frac{288}{5 Cl}$

Caso II  $Cl^- + S_{O_4}^{=} > Na > Cl$   $Ki = \frac{288}{Na^+ + 4 Cl}$

Caso III  $Na^+ > Cl^- + S_{O_4}^{=} =$   $Ki = \frac{288}{10 Na^+ - 5 Cl^- + 9 S_{O_4}^{=}}$

Nuestro caso se ajusta al segundo.

$$Cl^- + S_{O_4}^{=} > Na^+ > Cl^-$$

$$6,14 > 2,20 > 1,50$$

$$Ki = \frac{288}{Na^+ + 4 Cl^-} = \frac{288}{220 + 6,00} = \frac{288}{8,20}$$

$Ki = 35,12 \text{ mg eq/lt.}$

Ki característica del agua para el riego

->18 Buena

18-16 Regular (necesita drenaje)

5,9 - 1,2 No recomendable (drenaje artificial)

< 1,2 Mala, no sirve.

Según la relación sodio absorción:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

$$SAR = \frac{220}{\sqrt{\frac{891}{2}}} = \frac{2,20}{2,1}$$

SAR = 1,05 Mg eq/lt.

De acuerdo a la siguiente tabla.

SAR	Clase de agua
< 48	excelente
10-18	buena
18-26	regular
> 26	mala

Esta agua presenta un SAR = 1,05 mg eq/lt < 18 o sea es excelente.

V.1.7 Para la clasificación genética del agua utilizaremos la fórmula de Kurlon y la de Alekín.

Fórmula de Kurlon

Nos permite clasificar el agua por su composición química y por algunas propiedades físicas.

$$M, PH, ToC, Co_2 \quad \frac{2A}{2C}$$

- M - mineralización
- ToC - temperatura
- Co<sub>2</sub> - libre
- 2 A - los 2 aniones de mayor % equivalente a 2 C. Los dos cationes de mayor % equivalente.

El tipo de agua predominante es la sulfatada hidrocarbonatada cálsica magnesi na con mayor o menor predominio del calcio sobre el magnesio o viceversa.

En menor proporción el agua presente es de tipo hidrocarbonatada clorurada.

Alekín plantea 3 clases de agua, según el predominio de un tipo determinado

- I) Aguas hidrocarbonatadas o carbonatadas ( $\text{CO}_3^{\text{H}^-} + \text{CO}_3^{\text{=}}$ )
- II) Aguas sulfatadas ( $\text{SO}_4^{\text{=}}$ )
- III) Aguas cloricas ( $\text{Cl}^-$ )

A su vez estas clases se dividen en 3 grupos según el catión predominante  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  o  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  y en tres tipos

Tipo I)  $\text{CO}_3^{\text{H}^-} > \text{Ca}^{++} + \text{Mg}$  aguas poco mineralizadas

Tipo II)  $\text{CO}_3^{\text{H}^-} < \text{Ca}^{++} + \text{Mg}$   $\text{CO}_3^{\text{H}^-} + \text{SO}_4^{\text{=}}$  aguas subterráneas poco y medio mineralizadas.

Tipo III)  $\text{CO}_3^{\text{H}^-} + \text{SO}_4^{\text{=}} < \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$  aguas de ríos, y lagos y mares con alta mineralización.

Tipo IV) Ausencia de  $\text{HCO}_3^-$

En nuestra área el agua según Alekín es hidrocarbonatada cálcica magnesia na del tipo II o sulfatada cálcica magnesia del tipo II ya que:

$$\text{CO}_3^{\text{H}^-} = 5,01 \text{ mg eq/lt} \quad \text{SO}_4^{\text{=}} = 4,64 \text{ mg eq/lt}$$

$$\text{Cación predominante } \text{Ca}^{++} = 4,60 \quad \text{Mg}^{++} = 4,31$$

$$\text{Tipo II) } \text{CO}_3^{\text{H}^-} < \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} < \text{CO}_3^{\text{H}^-} + \text{SO}_4^{\text{=}}$$

$$5,01 < 8,91 < 9,61$$

O sea son aguas poco y medio mineralizadas.

En cuenta a realizar una valoración del agua para su posible utilización en el consumo humano nos guiaremos por las normas del CAME, la cual establece las siguientes exigencias en la composición del agua.

En este caso

$$\text{NO}_3 \quad 10 \text{ mg/l}$$

$$\text{NO}_3 = 16,38 \text{ mg/lt}$$

$$\text{NO}_2 \quad \text{- Trazas}$$

$$\text{NO}_2 \quad \text{- Trazas}$$

$$\text{SO}_4^{\text{=}} \quad 500 \text{ mg/l} \text{ (En cuba hasta 1000)}$$

$$\text{SO}_4^{\text{=}} = 269 \text{ mg/lt}$$

$$\text{Cl}^- \quad 300 \text{ mg/lt} \text{ (En Cuba hasta 300)}$$

$$\text{Cl}^- = 53 \text{ mg/lt}$$

Mineralización

$$\text{Mineralización} = 0,75 \text{ gr/l}$$

$$\text{Total} \quad \leq 1 \text{ gr/l}$$

$$\text{Dureza Total} = 8,99 \text{ mg eq/lt}$$

$$\text{Dureza total} \quad \leq 7 \text{ mg eq/l}$$

Según podemos observar aquí se cumple los requisitos en cuanto al contenido de sulfato, cloro, nitritos y mineralización, pero en los otros aspectos no se cumple.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto y a que no contamos con una cantidad de datos suficientes, así como que no podemos hacer consideraciones en relación al contenido de bacterias infecciosas pues no existen determinaciones no estableceremos conclusiones definitivas con respecto a la calidad del agua subterránea para su consumo humano.

Haciendo un resumen de lo estudiado en la primera parte de este capítulo, podemos decir que en el área no contaminada por la intrusión salina las aguas son sulfatadas hidrocarbonatadas cálcicas magnesianas, neutras o básicas, duras con cierta agresividad del tipo sulfatada, poco mineralizadas, y aptas para el riego.

## V.2 Análisis del fenómeno de intrusión salina

En la introducción a éste trabajo se hace una breve reseña de la presencia de la intrusión salina en la Cuenca Parada:

En los acuíferos costeros que tienen comunicación con el mar, sino se observan normas adecuadas que no alteran el equilibrio existente entre el agua dulce y el agua de mar, existen el peligro de que ocurre la contaminación del agua dulce con la de mar, debido al desplazamiento de esta hacia el acuífero, tal es el caso que nos ocupa, ya que como se explicó al inicio en esta área no se han cumplido las recomendaciones fielmente tal como se han establecido en cuanto a la explotación del acuífero se refiere además ha influido también una pobre alimentación ya que las precipitaciones no han sido abundantes.

A partir de 1972 mediante métodos geofísicos según se plantea en el trabajo de grado de Bertha Guerra, se detectó la presencia de intrusión salina en la Cuenca Parada.

Desde entonces se han seguido realizando sistemáticamente estudios en dicha cuenca, mediante las cuales se ha podido establecer la situación de la intru-

Y podemos observar que su desplazamiento ha continuado hacia el interior de la cuenca.

En 1974, fue realizado un informe hidrogeológico evaluativo de las condiciones de la Cuenca Parada por el Ing. Constantino de Miguel, según sus determinaciones para este entonces el límite de la intrusión se encontraba a 75 mts. hacia la izquierda de su posición original, afectando los pozos 15 y 13.

Hacia 1976 - 1977, fecha en que fue realizado el siguiente estudio por el Ing. Francisco Ferrer (2), este límite se encontraba aproximadamente a unos 400 mts. de la situación anterior (Plano # 18)

A continuación analizaremos esta problemática para el período considerado en nuestro trabajo (1977 - 1979)

Señalaremos las limitantes por los cuales nos hemos visto presionados, para realizar un estudio exacto y correcto del asunto en cuestión.

1).- La Cuenca se encuentra en explotación y los análisis químicos se ven influenciados por ésto ya que unas veces las observaciones y muestras de agua se toman en el nivel estático y otras en el nivel dinámico.

2).- Se carece de una red de batometreo (muestreo hidroquímico vertical)--- adecuada, sólo se encuentran incluidos en ellos 2 ó 3 pozos.

Para el estudio específico de la intrusión salina realizaremos:

V.2.1 Gráficos evaluativos del contenido de cloro y mineralización.

V.2.2. Mapas de mineralización, tanto para el período de seca como de lluvia de cada mes.

V.2.3 Perfiles esquemáticos de batometría.

Pasamos y describen e interpretan detalladamente cada uno de ellos.

V.2.1 Gráficos evaluativos del contenido de cloro y mineralización (Planos 13 y 14)

Para esto tomamos 5 pozos los cuales son: 1, 8, 13, 15 y 174, por ser los que poseen mayor cantidad de datos y que por su ubicación nos dan una idea general de la situación de la cuenca.

En sentido general observamos una correspondencia entre los máximos y los mínimos del cloro y la mineralización en los gráficos.

Podemos notar que en las zonas más alejada del mar (Plano # 13) la mineralización presenta valores bajos, alrededor de 0,5 - 0,6 gr/lt. y en la zona afectada por la intrusión salina la mineralización es 1 gr/lt alcanzando valores hasta de 10 gr/lt (Plano # 13 pozo 8 y 13).

En el pozo 174 (Plano # 14) se observa que habiendo ocurrido un descenso en el contenido de cloro en el mes 9/1978, hay un aumento en la mineralización, lo cual es debido al aumento de otras sales que determinan en la magnitud de la mineralización como es por ejemplo, el sulfato.

#### V.2.2. Mapas de Mineralización (Planos # 15, 16, 17 y 18)

Estos mapas muestran la curva de 1 gr/lt superficial o sea en el nivel freático.

##### PERIODO SECO (4 - 1977) Plano # 15

La curva de 1 gr/lt sigue aproximadamente la línea del pozo 13 hasta el 214. Al Norte de esta curva las aguas presenta una mineralización 1 gr/lt o sea son aguas dulces y al Sur esta mineralización va aumentando, pasando a aguas algo saladas (hasta 3 gr/lt), luego son saladas (hasta 10 gr/lt.) y encontramos hasta aguas muy saladas en el pozo 8 donde la mineralización alcanza altos valores 10 gr/lt. Esto nos muestra que en este período el acuífero en sus niveles superiores presentaba una situación crítica en cuanto a la calidad del agua debido a esto, como ya se ha explicado a la poca lluvia ocurrida en períodos anteriores, lo que ha ocasionado una baja alimentación por parte del acuífero.

##### PERIODO HUMEDO (10/1977) Plano # 16)

En este período, contrario a lo que cabía suponer pues lo necesario en el

donos al Capítulo de Hidrogeología, según lo analizado en este mismo período, por el mapa de hidroisohipsas (Plano # 6) podemos ver que los pozos 7 y 8 se encuentran en el límite de la inversión del flujo, lo que influye en que sus recargas sean menos efectivas. El pozo 15 tiene tendencia a recibir agua pues el flujo va hacia él, por su ubicación lo que trae consigo que, este pozo sea el que presente una disminución en su mineralización, en el período analizado, no obstante haber aumentado esta en sentido general en toda la cuenca.

Según vemos la curva de 1 gr/lt se encuentra entre el pozo 174 y 214 presentando las aguas hacia el Noroeste de ella una mineralización en orden progresivo hasta los 12 gr/lt, o sea llegando hasta aguas muy saladas.

En el pozo 8 la mineralización alcanza valores de 16,6 gr/lt, y a pesar de haber explicado ya, las causas de estos aumentos creemos no sea hasta valores tan altos, sino que ha habido dudas en el dato de análisis químico para las muestras de agua, tomadas en este pozo.

#### PERIODO SECO (4/1978) Plano # 17)

El régimen de lluvia se ha mantenido positivo, la curva de 1 gr/lt, ha retrocedido hacia la parte inferior de la cuenca y los valores de la mineralización en esta parte se mantienen en un rango de los 1-2 gr/lt, o sea sólo llegan a ser aguas algo saladas, por tanto la situación ha mejorado.

#### PERIODO HUMEDO (10/1978) Plano # 18)

Podemos decir que las condiciones de la cuenca a la salinización de las aguas se refiere, ha experimentado su cambio favorable. Los pozos han recibido una buena alimentación, el área de agua dulce se ha extraído, digo, extendido, el agua que presenta una mineralización 1 gr/lt. se encuentra reportada en los alrededores del pozo 17, debido a la cercanías de este a la bahía de Miradero ya que presenta condiciones más favorables para la penetración del agua de mar, está agua algo salada también vemos que conforma una faja característica la cual comprende a los pozos en explotación por lo cual su formación se atribuye, a la extracción que se está suce-

### V.2.3. Perfiles esquemáticos de Batometría (Plano #19)

En nuestro estudio se hace necesario delimitar la intrusión salina tanto en su parte superior como inferior, hemos considerado estos límites dados por la curva de 1 gr/lt. de mineralización, que en superficie se muestra en los mapas construídos a tales efectos.

Para establecer sus límites en profundidad se construyeron perfiles de batometría, o sea, de muestreo hidroquímico vertical.

Otro método para determinar la intrusión salina es por la isorrelación cloro - carbonato ( $\frac{Cl^-}{CaCO_3 + MgCO_3}$ ), la cual no se pudo utilizar debido a carecer de todos los datos necesarios.

No obstante haber construídos los perfiles mencionados estos son muy esquemáticos y aproximados pues se contaba con muy pocos análisis pues de muestreo de agua de profundidad.

Se confeccionó el perfil que incluye los pozos 1,8 y 15 y el que incluye los pozos 1,174 y 13 por los pocos datos que poseíamos para el período considerando tomamos en cuenta años anteriores.

La metodología para trazar estos perfiles fué la siguiente:

- 1).- La ubicación de los pozos en el plano de acuerdo a la escala.
- 2).- Situar el nivel freático para los períodos considerables.
- 3).- Ubicación de la curva de 1 gr/lt interpolando tanto en sentido horizontal como vertical para encontrar los puntos por donde ellos pasan.
- 4).- Para encontrar hasta donde se extendía la curva de 1 gr/lt se sitúa en cada pozo, el límite del impermeable o sea la potencia de los sedimentos acuíferos.

Esta curva de 1 gr/lt representa la línea divisoria entre el agua dulce y el agua contaminada por la intrusión salina y presenta una cierta pendiente en dependencia de densidades entre el agua dulce y el agua contaminada; que por ser similares ambas densidades la pendiente no es muy pronunciada.

De acuerdo a lo que se observa en los perfiles de batometría (plano #19) podemos ver que en 1975 los niveles en los pozos considerados se encuentran alrededor de los 6 - 8 mts, llegando en el pozo 8 hasta los 10 mts. de profundidad en este año la intrusión salina se encontraba afectando el pozo 8 y el 15 ampliamente y también al 13, no teniendo influencia en el 174 ni el 1.

Ya para fines de 1975 la situación ha mejorado desplazandose el límite de la intrusión hacia la derecha, disminuyendo el volumen de agua contaminada ya que ahora este límite en el pozo 8 se encuentra a metros.

En 1976 los niveles freáticos en los pozos 8 y 15 se mantienen aproximadamente iguales que el año anterior pero la intrusión salina ha continuado retrocediendo, encontrándose situado ahora a partir de los 12 mts por debajo del nivel freático en el pozo 8.

En los pozos 174 y 13 observamos que los niveles se encuentran más profundos y que la intrusión salina afecta a ambos pozos a partir de su nivel freático.

Para finales de 1977 los niveles han ascendido en todos los pozos pero la intrusión ha avanzado afectando los pozos 8,13,15 y 174 siendo la situación más crítica en el pozo 8. A inicios de este año como se muestra en el plano # 18 vemos como aún la intrusión no afecta el pozo 174.

Para el año 1978 y debido al comportamiento positivo del régimen de lluvia, los niveles han ascendido notablemente encontrandose a los 2 mts. de profundidad para el pozo 13 y 15 y a los 4 mts. aproximadamente para el 8 y el 174, la intrusión salina ha retrocedido con relación a su ubicación anterior, aunque aún abarca una gran área de la cuenca (plano # 18) y forma un cono de depresión en el pozo 8, encontrándose este salinizado por completo hasta la profundidad de 22 mts. en que se realizó batometría el pozo 15 se da una situación digna de señalar y es que en todos los casos el límite de la intrusión salina siempre se encuentra a cierta distancia del nivel freático o sea por encima de este límite -

4 mts., debido este a lo que explicabamos anteriormente de que por su ubicación el pozo 15, se encuentra en una posición donde recibe buena alimentación.

En la primera parte de este capítulo cuando se hablaba de los mapas de mineralización se veía una notable mejoría en la cuenca en general en el período de 1978 en relación a los períodos anteriores en cuanto a la intrusión salina se refieren, hemos de aclarar nuevamente que este es para las condiciones superficiales, ya que al hacer un estudio para profundidades por debajo del nivel freático, observamos que la intrusión salina afecta la mayor parte de la cuenca (Plano # 18)

Hemos de destacar que esta intrusión salina no tiene forma de frente, o sea no es uniforme, ya que como bien sabemos en la cuenca existe una gran heterogeneidad facial, encontrándose el agua de mar, las mejores condiciones para penetrar hacia la margen derecha del Río Paradas ya que aquí se encuentran distribuidos los sedimentos más permeables.

CAPITULO VI

CALCULOS HIDROGEOLOGICOS

Para el cálculo de las reservas de explotación utilizamos dos métodos, primeramente el de balance y en segundo lugar el hidrodinámico.

El área que se escogió para los cálculos fué seleccionada en base al límite de la intrusión salina o sea, el área no contaminada aún por dicha intrusión, situada hacia el extremo Oeste de la cuenca (Plano # 18)

En esta área ha sido dividida para los cálculos en dos, una inferior que nos permitirá determinar las reservas de explotación en Categoría B, pues se dispone de datos que permiten catalogarlas como tales, y una superior que se presenta como una faja estrecha, en la cual no se cuenta con datos específicos pues no existen pozos de perforación en ella, pero por encontrarse cercana a la área estudiada y ser similares las características de toda la cuenca, se tomaron los mismos parámetros determinando en ella las reservas por analogía y catalogándolas en Categoría C.

VI.1 Método de Balance

$$Q_{\text{explotación}} = Q_n + Q_{\text{naturales}}$$

$Q_{\text{naturales}}$ :- Reservas naturales

$Q_n$ :- Recursos naturales

VI.1.1 Area Inferior:-  $F = 329062,5 \text{ m}^2$

Cálculos de los recursos naturales

a).- Por la magnitud de las infiltraciones

$$Q_n = WF$$

W - Infiltración de las precipitaciones atmosféricas a través de una

unidad del área del nivel freático en el tiempo determinado.

$$W = \frac{\Delta h + \Delta z}{\Delta t}$$

$\mu$  = Coeficiente de almacenamiento = 0,12 (2)

$\Delta h$ :- Ascenso del nivel debido a la alimentación de las precipitaciones atmosféricas .

$\Delta z$ :- Descenso del nivel durante un tiempo  $t$  debido a la distribución de las aguas por todo el manto acuífero.

Considerando los pozos que se encuentran en esa área (pozo 1 y 2)

La infiltración es la siguiente:

$P_1$

$$W_{1977} = 0,12 \frac{9,8}{365} = 0,12 \times 0,026 = 0,0031 \text{ m/día}$$

$$W_{1978} = 0,12 \frac{5,6}{365} = 0,12 \times 0,015 = 0,0018 \text{ m/día}$$

$$W = \frac{0,0031 + 0,0018}{2}$$

$$W_{P_1} = 0,0024 \text{ m/día}$$

$P_2$

$$W_{1977} = 0,12 \frac{2,47}{365} = 0,12 \times 0,0067 = 0,0008 \text{ m/día}$$

$$W_{1978} = 0,12 \frac{8,05}{365} = 0,12 \times 0,022 = 0,0026 \text{ m/día}$$

$$W = \frac{0,0008 + 0,0026}{2}$$

$$W_{P_2} = 0,0017 \text{ m/día}$$

Para el área considerada

$$W = \frac{W_{P_1} + W_{P_2}}{2} = \frac{0,0024 + 0,0017}{2} = \frac{0,0041}{2} = 0,002 \text{ m/día}$$

$$W = 0,002 \text{ m/día}$$

$$Q_n = 0,002 \text{ m/día} \quad \times \quad 329062,5 \text{ m}^2$$

$$Q_n = 658,1 \text{ m}^3/\text{día} = 7,61 \text{ l/seg.}$$

b).- Por el módulo de escurrimiento subterráneo

$$Q_n = 86,4 \text{ MoF}$$

Mo = Módulo de escurrimiento subterráneo (L x seg/Km<sup>2</sup>)

F = Area en Km<sup>2</sup>

$$Mo = 0,0317 Y$$

Y = lámina de escurrimiento subterráneo (mm)

$$Y = 1000 \mu \quad (h + z)$$

$$h + z = 6,48 \text{ m} \quad - 0,12)$$

$$Y = 1000 (0,12) (6,48)$$

$$Y = 777,6 \text{ mm}$$

$$Mo = 0,0317 (777,6) = 24,64 \text{ l x seg/Km}^2$$

$$F = 329062,5 \text{ m}^2 = 0,32 \text{ Km}^2$$

$$Q_n = 86,4 (24,64) (0,32)$$

$$Q_n = 681,2 \text{ m}^3/\text{día} = 7,88 \text{ l/seg.}$$

c).- Por la magnitud de las precipitaciones atmosféricas

$$Q = 10 N W F$$

N = cantidad anual de precipitaciones expresada en mm.

W = coeficiente de infiltración expresado en % de las precipitaciones atmosféricas

F = área de alimentación de las aguas subterráneas.

$$N = 95,3 \text{ mm}$$

$$F = 0,32 \text{ km}^2$$

$$X = 2,09$$

$$W = 2,09$$

$$Q = 10 (95,3) (2,09) (0,32)$$

$$Q = 637,3 \text{ m}^3/\text{día} \times 0,0115740 = 7,37 \text{ l/seg.}$$

Recursos Naturales 
$$Q_n = \frac{Q_a + Q_b + Q_c}{3}$$

$$Q_n = \frac{658,1 + 681,2 + 637,3}{3} = \frac{1976}{3}$$

$$Q_n = \underline{658,6 \text{ m}^3/\text{día}}$$

## V1.2 Cálculos de las reservas naturales

$$Q_{\text{naturales}} = \frac{\alpha V_e}{t}$$

$\alpha$  = Coeficiente de utilización de las reservas naturales

$$= (0,3 - 0,5)$$

Tomaremos  $\alpha = 0,3$

$$V_e = \mu V_o$$

$$\mu = 0,12$$

$$V_o = F H$$

$$F = \text{Area de alimentación} = 329062,5 \text{ m}^2$$

$$H = \text{potencia de los sedimentos acuíferos} = 11,3 \text{ m}$$

$$V_o = 329062,5 \text{ m}^2 \times 11,3 \text{ m}$$

$$V_o = 3718406,2 \text{ m}^3$$

$$V_e = V_o$$

$$= 0,12$$

$$V_e = 0,12 \times 3718406,2$$

$$V_e = 446208,7 \text{ m}^3$$

$$\text{Para } t=10 \text{ años} = 3650 \text{ días}$$

$$Q_{\text{naturales}} = \frac{V_e}{t}$$

$$Q_{\text{naturales}} = 36,6 \text{ m}^3/\text{día} \times 0,0115740 = 0,42 \text{ l/seg.}$$

$$Q_{\text{explotación}} = Q_n + Q_{\text{naturales}}$$

$$Q_n = 658,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{naturales}} = 36,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{explotación}} = 658,6 \text{ m}^3/\text{día} + 36,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{explotación}} = 695,2 \text{ m}^3/\text{día} \times 0,0115740 = 8,04 \text{ l/seg.}$$

VI.1.2 Area superior:  $F = 191812,5 \text{ m}^2$

Cálculo de recursos naturales

a) Por la magnitud de las infiltraciones

$$Q_n = W F$$

$$W = 0,002 \text{ m/día}$$

$$F = 191812,5 \text{ m}^2$$

$$Q_n = 0,002 \text{ m/día} \times 191812,5 \text{ m}^2$$

$$Q_n = 384 \text{ m}^3/\text{día} = 4,44 \text{ l/Seg.}$$

b) Por el módulo de escurrimiento subterráneo

$$Q_n = 86,4 \text{ MoF}$$

$$Mo = 24,64 \text{ l} \times \text{seg}/\text{km}^2$$

$$F = 0,19 \text{ Km}^2$$

$$Q_n = 86,4 (24,64) (0,19)$$

$$Q_n = 404,4 \text{ m}^3/\text{día} = 4,68 \text{ l/seg.}$$

c) Por la magnitud de las precipitaciones atmosféricas

$$Q_n = 10 N W F$$

$$Q_n = 95,3 \times 2,09 \times 0,19 \times 10$$

$$Q_n = 378,4 = 4,37 \text{ l/seg.}$$

Recursos naturales

$$Q_n = \frac{Q_a + Q_b + Q_c}{3} = \frac{384 + 404,4 + 378,4}{3} = \frac{1166}{3}$$

$$Q_n = 389 \text{ m}^3/\text{día} = 4,50 \text{ l/seg.}$$

Cálculos de las reserva naturales

$$\text{Para } t = 10 \text{ años} = 3650 \text{ días}$$

$$Q_{\text{naturales}} = \frac{\alpha V_e}{t}$$

$$V_c = \mu V_o$$

$$V_o = \pi R^2 H$$

$$R = 11,3 \text{ m}$$

$$V_o = 191812,5 \text{ m}^2$$

$$V_o = 11,3 \times 191812,5$$

$$V_o = 2167481,2 \text{ m}^3$$

$$V_e = 0,12 \times 2167481,2$$

$$V_e = 260097,7 \text{ m}^3$$

$$\alpha = 0,3$$

$$Q_{\text{naturales}} = \frac{0,3 (260097,7)}{3650}$$

$$= \frac{78029,3}{3650}$$

$$= 21,37 \text{ m}^3/\text{día} = 0,24 \text{ l/seg.}$$

$$Q_{\text{exp.}} = Q_n + Q_{\text{naturales}}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 389 \text{ m}^3/\text{día} + 21,37 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{\text{exp.}} = 410,37 \text{ m}^3/\text{día} = 4,74 \text{ l/seg.}$$

VI. 2 Método hidrodinámico de Binderman

Con la finalidad de determinar los parámetros necesarios para aplicar las fórmulas correspondientes a éste método procedimos a elaborar los resultados del bombeo experimental efectuando con fecha 10/7/76 en el pozo 5076-III-214 de coordenadas N: 151,750 ; E: 597,925 confeccionando la tabla y el gráfico mostrado en el plano # 21 para la recuperación del nivel en dicho pozo, con un gasto de 7,5 l/seg. y a partir de un abatimiento de 8,5 metros.

En el gráfico  $S (2M - S) V_S \text{ Log } T$ , para el área delimitada por las líneas discontinuas determinamos los siguientes parámetros:

$$C = \frac{S_2(2M - S_2) - S_1(2M - S_1)}{\text{Log } t_2 - \text{log } t_1}$$

$S_2$ : abatimiento para un tiempo  $t_2$

$S_1$ : abatimiento para un tiempo  $t_1$

$M$ : potencia hidrogeológica

$$C = \frac{109 - 105}{0,5 - 0,1}$$

$$C = \frac{4}{0,2}$$

$$C = 20$$

$$K = 0,366 \frac{Q}{C}$$

$$K = 0,366 \times \frac{648}{20}$$

$$K = \frac{273}{20}$$

$$K = 11,8 \text{ m/día}$$

$$\text{Log } a_y = 2 \text{ log } r - 0,35 + \frac{A}{C}$$

$a_y$ : coeficiente de piezo conductividad

r: radio del pozo 214 = 0,25 m

A = 98 m (gráfico S (2 M - S)  $V_s$  long t)

C = 20

$$\text{Log } a_y = 2 \text{ long } 0,25 - 0,35 + \frac{98}{20}$$

$$\text{Long } a_y = -1,22 + 4,55 = 3,33$$

$$a_y = 10^{3,33}$$

$$a_y = 2140 \text{ m}^2/\text{día}$$

Determinados los parámetros anteriores podemos pasar al cálculo de las reservas de explotación

$$Q_{\text{exp}} = K (S \ 2 \ M - S) / 2,3 \ \frac{\text{long } R}{r_0}$$

Q = Reservas de explotación

$$= 3,14$$

K = coeficiente de filtración = 11,8 m<sup>3</sup>/día

M = potencia hidrogeológica = 11,3 m

S = abatimiento fijado en el intervalo (0,2 - 0,6)

R = radio de influencia

$R = r_0 + 1,5 \sqrt{a_y t}$  : Se determina considerando toda el área de bombeo equivalente al área de una circunferencia con centro en el pozo 214

t = tiempo para el cual se calcula las reservas = 10 años = 3650 días

$a_y$  = coeficiente de piezo conductividad = 2140 m<sup>2</sup>/día

VI.2.1 Area Inferior

$$A = F = 329062,5 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$r^2 = \frac{329062,5 \text{ m}^2}{3,14}$$

$$r^2 = 104\,796,97 \text{ m}^2$$

$$r = 324 \text{ m}$$

Por tanto:

$$R = 323 \text{ m} + 1,5 \sqrt{2140 \text{ m}^2/\text{día} \times 3650 \text{ días}}$$

$$R = 323 \text{ m} + 1,5 \sqrt{7811000 \text{ m}^2/\text{día}^2}$$

$$R = 324 \text{ m} + 4192 \text{ m/día}$$

$$R = 4516$$

$$Q = 3,14 (11,8) \quad 3,39 (22,6 - 3,39)/2,3 \text{ long } \frac{4516}{324}$$

$$Q = 37 \times 65,12 / 2,3 \text{ long } 14$$

$$Q = \frac{2409,4}{2,3 \times 1,14}$$

$$Q = \frac{2409,4}{2,62}$$

$$Q = 919,6 \text{ m}^3/\text{día} = 10 \text{ L/seg.}$$

VI. 2.2 Area Superior

$$A = F = 191812,5 \text{ m}^2$$

$$r^2 = \frac{191812,5}{3,14}$$

$$r = 247 \text{ m}$$

$$R = 247 + 1,5 \cdot 2140 + 3650$$

$$R = 241 + 4192$$

$$R = 4433 \text{ m}$$

$$Q = 37 \times 65,12/2,3 \text{ long } \frac{4433}{247}$$

$$Q = 37 \times 65,12/2,3 (1,27)$$

$$Q = \frac{2409,4}{2,9}$$

$$Q = 830 \text{ m}^3/\text{día} = 9 \text{ l/seg.}$$

Como vemos la diferencia entre las reservas de explotación calculadas por ambos métodos en el caso de área inferior es de 2 l/seg. e sea no es -- muy notable.

Para el área superior la diferencia es mayor de 5 l/seg. lo cual atribuimos a que en ésta fórmula de método hidrodinámico se trabaje con valores -- de los gráficos y con logaritmo por lo que se introduce error.

-----

CAPITULO VII  
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII. 1 CONCLUSIONES

- 1.- La Cuenca Parada ocupa un área de 6 Km<sup>2</sup> aproximadamente y está formada por sedimentos aluviales cuaternarios arenos arcilloso y arcillo arenoso con lentes de gravas y cantos rodados que presentan marcada heterogeneidad, está rodeada por elevaciones constituidas por rocas de la Formación El Cobre de edad Paleoceno - Eoceno Medio.
- 2.- Los sedimentos aluviales cuaternarios conforman un complejo -- acuífero cuya base impermeable está constituida por la secuencia de las rocas vulcanógenas sedimentarias.
- 3.- La alimentación principal del acuífero es por las precipitaciones atmosféricas a través del Río Paradas desde las partes superiores del área, el drenaje de las aguas es hacia el extremo inferior de la cuenca.
- 4.- Las condiciones físico-geográficas en cuanto al relieve se refiere son favorables para la alimentación del acuífero, pues -- por ser éste llano propicia el escurrimiento subterráneo, en -- relación con las precipitaciones podemos concluir que éstas no se concentran en un período determinado y que su régimen ha mejorado en los últimos tiempos, favoreciendo éste al acuífero -- en cuestión.
- 5.- Debido a las condiciones específicas de la Cuenca Parada, de-

meno de intrusión salina, descubierta en 1972 y que en la actualidad ocupa el 92 % del área total de la cuenca encontrándose su límite entre los pozos 1 y 8 .

6.- El desarrollo de la intrusión salina ha sido rápido, presentando períodos de regresión y transgresión, de acuerdo al comportamiento del régimen de lluvia, las cuales influyen grandemente en la mejoría de la calidad química de las aguas, según vemos en los análisis químicos.

7.- En el área no contaminada por la intrusión salina las aguas son sulfatadas hidrocarbonatadas cálcicas magnesianas, de neutras a básicas, duras, con cierta agresividad sulfatada y pocos mineralizadas.

8.- Para el cálculo de las reservas de explotación se emplearon dos métodos, el de balance y el hidrodinámico, considerando el área no contaminada por la intrusión salina en dos, una inferior de la cual se poseían datos precisos pues ha sido bien estudiada y una superior donde se tomaron los parámetros del resto de la cuenca por analogía con ésta, obteniendo los siguientes resultados :

	Area Superior	Area Inferior
Método de Balance	8 l/seg.	4,7 l/seg.
Método hidrodinámico	10,6 l/seg.	9 l/seg.

9.- No obstante tener unas reservas en categoría B y otras en C consideramos que para la explotación se puede tomar la suma de ambos pues las características en toda la cuenca son muy similares.

10.- La mayor parte del agua de la cuenca obedece a los recursos naturales en dependencia del escurrimiento subterráneo .

VII. 2 RECOMENDACIONES

- 1.- Ampliar la red de observaciones sistemática que actualmente consta de los pozos 1, 2, 7, 15, 174, 211, 215 y 216 a los pozos 8, 13 y 147.
- 2.- Incluir como pozos para batometría el 1, 8 y 13 ya que actualmente sólo se consideran el 15 y 174, esto con vistas a poder construir dos perfiles de batometría completos por los pozos 1, 8, 15 y 1, 174, 13. Estableciendo un intervalo de muestreo de 5 metros, con un orden III (trimestralmente) incluyendo los meses de fines de período seco y húmedo (Abril y Octubre).
- 3.- La batometría actual que se realiza en base a muestreo de análisis químico se puede hacer ahorrando tiempo y más económicamente, por el método del conductímetro, reduciendo el análisis químico a dos muestras tipos.
- 4.- De los actuales pozos en explotación 147, 211, 212, 213 y 214- excluir el pozo 147, 212 y 213 y explotar el pozo 211 provisionalmente (se encuentran en el área contaminada por la intrusión salina) con un gasto de 6 l/seg. y el 214 con 4 l/seg., según lo recomendado en el informe anterior (2)
- 5.- Perforar un nuevo pozo para sustituir el 211, que se encuentre fuera del límite de la intrusión salina, con coordada--

- 6.- Debe tratarse de explotar el manto acuífero sin producir descensos grandes por debajo de la cota 0, lo que se cumplirá efectuando la recomendación No. 4, por lo tanto deben tomarse las medidas para situar los cuerpos de impelentes de las bombas en los pozos de explotación a profundidades menores que las originalmente recomendadas (15-17 mts.).
  
  - 7.- No proponemos obras de recargas pues actualmente no hay otra fuente cercana de la cual sea posible trasladar el agua para la cuenca, en un futuro cuando se termine la construcción de la "Presa Parada" actualmente en ejecución es posible que se pueda concebir cierta recarga a la cuenca.
  
  - 8.- Recomendamos se vele por el cumplimiento fiel de las orientaciones dadas y que periódicamente se continúe haciendo estudio en la cuenca para que se efectúe los reajuste necesarios de explotación.
-

