



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo.

TÍTULO: Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

Diplomante: Omar Teruel García.

Tutores: Dr. Constantino de Miguel.
MSc. Jorge Luis Blanco.

Moa
2005

“Año de la Alternativa Bolivariana para las Américas.”

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a todas las personas y entidades que han colaborado en la realización de este estudio, los cuales han hecho posible profundizar en el conocimiento de la geología de la región circundante a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A., así como a definir sus condiciones hidrogeológicas. Les dedico con todo mi corazón el resultado de este precioso sueño, tan deseado y esperado por mí y que ha concluido con la solución satisfactoria del trabajo planteado y la experiencia que he vivido durante la realización del mismo, siendo esto último la mayor recompensa personal.

ÍNDICE.

-RESUMEN.....	4
-INTRODUCCIÓN.....	6
CAPÍTULO I.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.....	7
1.1.- Ubicación de la zona de trabajo.....	7
1.2.- Características climáticas de la región.	7
1.3.- Hidrografía.....	9
1.4.- Poblaciones y red de comunicaciones.....	10
1.5.- Desarrollo industrial y agrícola.....	10
CAPÍTULO II.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL.....	11
2.1. Características geológicas regionales.....	11
2.1.1. Basamento.....	11
2.1.2. Cobertura neoplatafórmica.....	12
2.2. Características geológicas de la zona de estudio.....	12
2.2.1. Estratigrafía.....	12
2.2.2. Tectónica.....	14
2.2.3. Geomorfología.....	15
2.2.4. Características hidrogeológicas regionales.....	16
CAPÍTULO III.- METODOLOGÍA y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.....	18
3.1. Trabajos Preliminares.....	18
3.2. Levantamiento geólogo-hidrogeológico.....	18
3.3. Trabajos Geofísicos.....	19
3.4. Trabajos de Perforación Rotaria.....	21
3.5. Pruebas Hidrogeológicas.....	22
3.6. Cálculo de los recursos de las aguas subterráneas.....	25
3.7. Trabajos de gabinete.....	30
CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	32
-CONCLUSIONES.....	62
-RECOMENDACIONES.....	64
-BIBLIOGRAFÍA.....	65
-ANEXOS GRÁFICOS Y TEXTUALES.....	

RESUMEN.

Debido a la actual situación de sequía que atraviesa la región central y oriental de nuestro país y al revisar la problemática existente con relación al abasto de agua potable en la actualidad de la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A., se encuentra que las fuentes que le propiciaban este preciado líquido ya están en una situación muy crítica e hicieron el pedido de que se hagan nuevos estudios en áreas circundantes, con fines de buscar otros yacimientos de aguas subterráneas para la construcción de pozos de explotación alternativos que solucionen dicho problema.

Esta situación llama a emprender un camino a valorar las condiciones hidrogeológicas de los alrededores de este lugar de forma cualitativa y luego cuantitativa para dar respuesta segura, acerca de las perspectivas de agua potable y con el caudal requerido, haciendo estudios rápidos pero confiables con un grado de estudio riguroso, para que pueda resolverse el problema planteado de la forma más urgente y económica posible.

En el presente trabajo, mediante la combinación de métodos propios de la hidrogeología superficial y subterránea; apoyados por las técnicas geofísicas, unidos a la utilización de programas de computación; se lograron establecer las posibles áreas perspectivas en dicha región. Por último con la perforación de 11 calas de estudio se pudieron hacer conclusiones de la presencia de este líquido y su cuantía de una forma más exacta y demostrada.

Podemos asegurar que en la región con los niveles freáticos actuales, los valores de transmisividad y caudales medidos, más la composición química de las de aguas subterráneas presentes, está demostrado que es posible cubrir satisfactoriamente la cantidad demandada de agua potable.

ABSTRACT.

Due to the current situation of drought that crosses the central and oriental region of our country and when revising the existent problem with relationship to the supply of drinkable water at the present time of the Factory of Beer Buccaneer CORP., it is found that the sources that propitiated him this valuable liquid are already in a very critical situation and they made the order that they become new studies in surrounding areas, with ends of looking for other locations of underground waters for the construction of alternative wells of exploitation that you/they solve this problem.

This situation calls to undertake an in route to valuing the hidrogeologics conditions of the surroundings of this place in a qualitative and then quantitative way to give sure answer, about the perspectives of drinkable water and with the required flow, making quick but reliable studies with a degree of rigorous study, so that it can be solved the outlined problem in the possible more urgent and more economic way.

Presently work, by means of the combination of methods characteristic of the superficial and underground hidrogeology; supported by the geophysical techniques, together to the use of calculation programs; they were possible to establish the possible areas perspectives in this region. Lastly with the perforation of 11 study creeks conclusions of the presence of this liquid and their quantity in a more exact and demonstrated way could be made.

We can assure that in the region with the current phreatic levels, the transmissivity values and measured flows, more the chemical composition of those of waters underground present, it is demonstrated that it is possible to cover the demanded quantity of drinkable water satisfactorily.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los problemas más serios y preocupantes que en la actualidad enfrentan muchos países a nivel mundial, es el déficit de agua para el abastecimiento de las demandas continuamente crecientes de la población, agricultura e industrias. Sin la garantía de estas, resulta imposible garantizar el desarrollo socio - económico sostenible de una nación y más aun, pone en peligro la supervivencia de nuestra humanidad.

Nuestro país y la provincia de Holguín particularmente, no escapan a esta situación. La Fábrica de Cerveza Bucanero S.A., requiere de un caudal de 25 L/seg. El agua que reciben de los pozos que le suministran agua actualmente, no están cubriendo de manera satisfactoria esta cifra, por lo que han decidido estudiar la posibilidad de construir pozos en nuevos horizontes, que le aseguren la obtención de este líquido, para no afectar la producción actual y el futuro crecimiento de esta lo que necesita mayores demandas. Aun en tiempos donde los niveles del manto freático son disminuidos por la sequía y el abatimiento por la explotación periódica este rango no debe variar. Esto presupone que es necesario, lo más pronto posible, disponer de nuevas fuentes seguras y confiables desde el punto de vista de su calidad y cantidad que suplan el déficit previsto. Sin embargo el grado de conocimiento de las condiciones hidrogeológicas que en la actualidad se posee del territorio, resulta todavía insuficiente para proponer la ejecución pozos de abasto de agua y su explotación inmediata.

De lo expuesto anteriormente se infiere que, “*existe una gran necesidad de búsqueda de agua para abasto a la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A.*”, lo cual resulta el principal **problema** a resolver en esta investigación. El **objeto** de estudio es “*el substrato rocoso que se encuentra en toda el área a estudiar, cuya ubicación está referida en el capítulo 1*”. El **objetivo** del trabajo es “*La búsqueda y evaluación de reservas de aguas subterráneas que satisfagan las demandas del cliente hasta 25 l/s con la calidad química y bacteriológica requeridas por el inversionista para el Abasto a la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A.*”. La **hipótesis** formulada al respecto es “*si se hace un estudio acerca de donde se localizan litologías permeables (calizas carsificadas, agrietadas...) o estructuras favorables (fallas, grietas), para el almacenamiento y circulación de las aguas subterráneas, se puede orientar la exploración hidrogeológica con fines de determinar aguas subterráneas con un caudal y calidad aceptable*”.

CAPÍTULO I.- CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y ECONÓMICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1.- Ubicación de la zona de trabajo.

La zona de estudio se encuentra ubicada al oeste de la ciudad de Holguín en la porción noreste del tramo Los Arroyos, limita al norte con las estribaciones meridionales premontañas del grupo orográfico Maniabón, al sur con la parte norte de la llanura del Cauto, al oeste con la línea norte-sur que pasa por la localidad Los Raudales y al este con el barrio Brisas de Yareyal. El área de los trabajos es de 42 km² (Plano N° 1).

Se localiza entre las coordenadas Norte: 241 000 – 247 000; Este: 540 000 – 547 000, encontrándose en las hojas cartográficas 1:25 000 siguientes:

1. 4978-IV-c (Cohatal).
2. 4978-IV-d (Holguín).
3. 4978-III-a (Cayo Cedro).
4. 4978-III-b (Pedernales).

➤ El área más perspectiva para la explotación se encuentra entre las coordenadas Norte: 244 500 a 246 500 y Este: 542 500 a 546 500.

1.2.- Características climáticas de la región.

El clima de la región es tropical, típico de sabana, con verano caluroso y húmedo. Un invierno templado y seco, ocurriendo los valores máximos de las lluvias en los meses de Mayo y Junio (600-800mm).

En periodos de sequía las medias de precipitaciones son menores a 200mm.

Existen dos períodos húmedos (primavera y otoño) y los secos (verano e invierno). En el período húmedo, cae del 70 – 80 % de la suma anual de las precipitaciones, en forma de torrenciales aguaceros tropicales.

Para el procesamiento de los datos pluviométricos se tomó la estación 817, ubicada cerca de la zona de estudio, con funcionamiento desde 1966 y cuyas coordenadas Lambert son:

N: 247 800

E: 545 300

La precipitación promedio hiperanual es de 1 098 mm en los últimos 11 años de observación. (Fuentes María M, Cabrera Aleyda; 2003)

- **Humedad.** La humedad en la región es alta durante todo el año, superior al 70 %, alcanzando valores del 90 % en otoño. En verano la humedad relativa oscila entre 50 y 70 % durante el día y hasta 80 y 90 % durante la noche. En invierno es de 65 a 70 % por el día y de 85 a 90 % durante la noche.

La humedad relativa media anual es de aproximadamente el 80 %.

Los meses más húmedos son junio y octubre y los meses más secos corresponden a febrero y marzo. (Batista J.C; 2000).

- **Temperatura.** La temperatura media anual es de 25.2° C, con máximos absolutos de 27.3° C y mínimos absolutos de 17.0° C. Los meses más cálidos son julio y agosto con medias de 27.3° C y los más fríos diciembre y enero con medias de 23° C. (Batista J.C; 2000).

- **Evaporación.** La evaporación media anual fue de 2 311 mm, obteniéndose este valor con 17 años de observación. (Batista J.C; 2000).

- **Vientos.** Los vientos predominantes en la zona son de dirección noreste – sureste, alcanzando velocidades promedio anuales entre 8 y 13 Km/h. (Batista J.C; 2000).

- **Vegetación.** Relacionada con el clima y la acción antropogénica, la vegetación que se desarrolla no es muy abundante, predominando las plantaciones de caña de azúcar,

cultivos menores, zonas de sabanas y hierbazales dedicadas al pastoreo y algunos bosques aislados en las márgenes de los ríos y arroyos. (Batista J.C; 2000).

➤ El elemento más importante a analizar son las precipitaciones, debido precisamente a la influencia que tienen las mismas sobre las reservas de agua, pues la infiltración constituye la principal fuente de alimentación de las aguas subterráneas.

1.3.- Hidrografía.

Orografía y red hidrográfica.

El relieve de la zona de estudio es predominantemente colinoso hacia el norte y llano a ligeramente ondulado hacia el sur. Las colinas están representadas por rocas más duras formadas por calizas y ultramafitas, mientras que las llanuras están representadas por sedimentos arcillosos carbonatados fundamentalmente, pudiendo estos presentar también intercalaciones de calizas arcillosas.

Las elevaciones de la zona siguen alineadas según el rumbo de las capas, observándose desplazamientos de estas estructuras debido a sistemas de fallas. En sentido general, hay una correspondencia entre el relieve y las características geólogo-estructurales.

Las cotas topográficas oscilan entre los 79.3 al sur y los 153.7 m al norte.

La red hidrográfica está poco desarrollada, debido a las condiciones geológicas y geográficas existentes en la región. Ésta es de tipo dendrítica, destacándose como corriente principal el río Colorado con sus afluentes de corrientes no permanentes.

La otra corriente importante es el arroyo La Ceiba, también de corriente no permanente, aunque en ambos casos existe circulación a través de los aluviones.

Todos los ríos corren de norte a sur, excepto algunos de sus afluentes, que adaptándose a las estructuras geológicas, corren de este a oeste y de oeste a este en algunos tramos antes de llegar al río principal.

Las principales corrientes son de *tipo antecedentes* o anteriores al relieve actual, observándose esto cuando las arterias principales cruzan las elevaciones carbonatadas alineadas de este a oeste en el sector norte de la zona de estudio. (Plano N° 1).

1.4.- Poblaciones y red de comunicaciones.

La ciudad de Holguín se encuentra aproximadamente a 11 Km de la zona de estudio con acceso a la misma a través de la carretera central. El poblado de San Andrés también se encuentra a unos 11 Km de la zona de los trabajos, pero la comunicación con el mismo es a través de caminos y terraplenes.

El poblado Antonio Maceo está a una distancia aproximada de 8 Km del borde sur de la zona y su comunicación es a través de una carretera que se encuentra en regular estado.

En sentido general la zona tiene buenas vías de comunicación. La principal es la carretera central al norte de la zona que está en buen estado, así como una red de terraplenes y caminos en condiciones regulares, pero que permiten la circulación normal en época de seca, no así en época de lluvia, donde debe usarse la doble tracción.

También existe la comunicación por el ferrocarril central y una amplia red de ferrocarril para transportar la caña de azúcar.

El poblado de Antonio Maceo, que es el más cercano a la zona de los trabajos, tiene los servicios de correos y telefonía nacional y otros servicios de comunicación pertenecientes a organismos.

1.5.- Desarrollo industrial y agrícola.

El desarrollo industrial está representado en las proximidades de la zona de los trabajos fundamentalmente por la agricultura y la ganadería, donde predomina el cultivo de la caña de azúcar y la cría de ganado vacuno y granjas avícolas. El Central Antonio Maceo es la industria más cercana a dicha zona.

Existen fincas de cultivos varios con fines de autoconsumo, granjas avícolas y porcinos de pequeñas producciones para consumo de entidades locales.

CAPÍTULO II.- MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL.

2.1. Características geológicas regionales.

Geológicamente la zona de estudio está dentro de la región Maniabón – Tunas-Camagüey, específicamente en el terreno Maniabón. Este terreno está limitado por las zonas de fallas Sabana al norte, Tunas al oeste, Cauto Norte al sureste y Cacocum al sur. Con la zona de falla Cauto Norte y Sabana, están relacionados los movimientos neotectónicos que se producen actualmente, predominantemente los de levantamiento.

En esta región localizamos rocas del basamento plegado y de la cobertura neoplatafórmica.

2.1.1. Basamento.

➤ **Secuencias del arco volcánico del cretácico.**

Afloran en la parte norte-noreste de la región, estando representadas por microgabros pertenecientes al complejo complejo ofiolítico, que pertenecen según Iturralde-Vinent a las ofiolitas septentrionales o cuenca de retroarco del Arco Volcánico Cretácico. (K₁).

➤ **Secuencias de cuencas a cuestras.**

En ellas se desarrolla la formación geológica sílicoclástica **La Jíquima** del Cretácico Superior, pisos Campaniano-Maastrichtiano.

➤ **Secuencias de cuencas de antepaís.**

Representadas en la zona por la Formaciones Hatiko que es una secuencia olitostrómica del paleoceno medio superior y Vigía formada por sedimentos vulcano clásticos y vulcanógeno sedimentarios del Paleoceno superior al Eoceno medio relacionados al arco de islas del Paleógeno, aunque fuera de este.

2.1.3. Cobertura neoplatafórmica.

Está representada por rocas y sedimentos terrígenos y carbonatados – terrígenos que van desde el Oligoceno hasta el Cuaternario, típicos del desarrollo platafórmico. En ésta se encuentran las siguientes formaciones geológicas: Formación Camazán de composición carbonatada, de edad Oligoceno superior-Mioceno medio, el miembro conglomerático Pedernales de la Fm. Camazán, de edad Oligoceno superior-Mioceno inferior parte baja, así como depósitos aluviales y eluvio-deluviales del cuaternario.

2.2. Características geológicas de la zona de estudio.

2.2.1. Estratigrafía.

En la región que enmarca la zona de estudio yacen suelos y rocas de las formaciones Camazán con su miembro Pedernales, Haticos y Vigía, siendo la más importante la Fm. Camazán pues es la de mayor distribución.

La estructura geológica de la zona participan los sedimentos del sistema cuaternario, que yacen sobre la superficie erosionada de los sedimentos marinos del Neógeno. La potencia de los últimos es de cerca de 1000m.

Las formaciones cuaternarias aluviales y proluviales poseen diferentes potencias. Desde el punto de vista litológico ellas están representadas por las formaciones terrígenas en forma de intercalaciones de arcillas, gravas, arenas y guijarros con diferente grado de rodamiento.

Las intercalaciones de gravas, arenas y guijarros no poseen una extensión constante. En ocasiones casi no se pueden distinguir sus límites con exactitud como sucede en la mayoría de los contactos litológicos de otro tipo encontrados en el estudio.

Estas intercalaciones se sustituyen mutuamente unas a otras, por facies creando un corte litológico muy abigarrado.

➤ **Fm. Camazán. Cm (e₉ – n₃).** (Oligoceno superior – Mioceno inferior).

Está constituida por Calizas coralino- algáceas (biolititas), calizas biodetríticas a veces arcillosas, calcarenitas, calciruditas, aleurolitas calcáreas, con intercalaciones de margas y arcillas, ocasionalmente yesíferas. Coloración variable, amarillo, crema, carmelita y gris.

Ambiente de sedimentación: Se depositó en parte en la zona sublitoral, con facies arrecifales y retroarrecifales y en parte en un ambiente con circulación restringida, lo que generó la formación de dos facies bien diferenciadas, una carbonata arrecifal y otra arcillosa. La facie arcillosa la encontramos en la parte más septentrional del área.

➤ **Miembro Pedernales. Cm-pd (e₉-n₃).** (Oligoceno Superior- Mioceno Inferior).

Está constituida por conglomerados polimícticos, débilmente cementados constituidos principalmente por clastos de diabasas, gabros y ultramafitas, moderadamente redondeados y seleccionados, con un tamaño frecuente de 4-7 cm. Son masivos o con estratificación lenticular, ocasionalmente cruzada.

La matriz contiene en algunos cortes grandes Lepidocyclinas. La coloración es oscura, abigarrada.

➤ **Formación La Jíquima. Lj (k₅–k₆).** (Cretácico Campaniano-Maestrichtiano)

Está compuesta de areniscas y limolitas estratificadas bien seleccionadas, de granos finos a medios y matriz arcillosa débilmente carbonatada con intercalaciones de aglomerados con un espesor aproximado de 300 m. Aflora al noreste de la región de estudio.

➤ **Fm. Haticos. Ht (e₂–e₃).** (Paleoceno Medio Superior).

Es una Secuencia olistostrómica constituida por brechas y conglomerados polimícticos, la matriz está formada por areniscas y aleurolitas, con intercalaciones de areniscas y aleurolitas.

El tamaño de los olistolitos es variable, van desde algunos metros hasta centenares de metros y los mismos son de ultramafitas serpentinizadas, gabros, gabro- diabasas, cuarcitas, calizas, areniscas, aleurolitas, basaltos, andesito- basaltos, tufitas y granodioritas.

La parte superior de esta unidad está constituida por conglomerados y brechas tobáceas con intercalaciones de tobas riodacíticas o dacíticas, las cuales cuando transicionan a los conglomerados contienen fragmentos de éstos.

➤ **Fm. Vigía. Vg (e₃–e₆).** (Paleoceno Superior- Eoceno Medio).

Está constituida por Areniscas polimícticas de grano grueso y de medio a fino, aleurolitas con intercalaciones de tobas riodacíticas, tufitas, margas y arcillas bentoníticas.

Las areniscas están bien estratificadas, encontrándose en algunas capas foraminíferos grandes (*Discocyclina* sp., *Lepidocyclina* sp., *Nummulites* sp.).

Las tobas riodacíticas son generalmente vitrocrystaloclásticas, a veces pumíticas, en ocasiones carbonatadas, porosas, de color blanco, blanco- grisáceo. Las tufitas, están frecuentemente silicificadas, carbonatadas o bentonizadas, bien estratificadas y en ocasiones plegadas y fracturadas.

Entre las tobas riodacíticas, tufitas y areniscas se encuentran en ocasiones capas finas de diatomitas.

Relaciones estratigráficas.

La Fm. Camazán sobreyace concordantemente a su miembro Pedernales, el cual constituye su conglomerado basal, a su vez sobreyacen discordantemente a la Fm Haticos y Vigía. La Fm. Vigía sobreyace concordantemente a la Fm. Haticos.

2.2.2.- Tectónica.

En la zona de estudio están presentes dos pisos estructurales bien definidos que son el piso estructural inferior o basamento plegado (representado por rocas de la Asociación Ofiolítica, las formaciones La Jíquima, Haticos y Vigía) y el piso estructural superior o cobertura neoplatafórmica, representado por la formación Camazán y el miembro Pedernales.

Estructuras plicativas (pliegues).

En el basamento es muy difícil distinguir este tipo de estructuras, debido al alto grado de facturación tectónica que las ha borrado prácticamente.

En la cobertura neoplatafórmica el plegamiento es suave con yacencia hacia el sur con bajos ángulos de inclinación de los estratos, que oscilan entre 10° a 12° y nunca mayores de los 20°.

Estructuras disyuntivas (grietas y fallas).

Las rocas del basamento plegado están intensamente agrietadas y falladas, aumentando el grado de facturación al aumentar la edad de las secuencias, al superponérseles a los eventos tectónicos antiguos otros posteriores.

La cobertura está menos perturbada, aunque se observan sistemas de fallas que afectan tanto al basamento como a la cobertura. Los sistemas de grietas están poco desarrollados, observándose solamente en las calizas.

Los sistemas de fallas principales en la zona de estudio son: NE-SO, N-S y NO-SE.

2.2.3.- Geomorfología.

La zona estudiada está situada en los límites de la ladera inferior de la depresión del Cauto y está representada por una llanura premontañosa constituida por formaciones aluviales y proluviales.

La geomorfología hacia la parte norte está representada por bloques, monoclinales, aplanados, diseccionados, en ocasiones de tipo denudativos-erosivos, mientras que en la zona más hacia el sur tienden a formar llanuras y terrazas abrasivas y abrasivas-denudativas.

La parte norte es colinosa con alturas que llegan a los 170 m, el resto es suavemente ondulado con pendiente predominante hacia el suroeste, con cotas hasta los 70 metros,

dichas pendientes oscilan desde menos de $0.5-5^0$. El relieve hipsométricamente varía en el rango de 60-200m.

2.2.4.Hidrogeología.

Características hidrogeológicas regionales.

La zona hidrogeológica estudiada pertenece a la cuenca Cauto, ubicada al sur del macizo hidrogeológico Holguín. La cubierta de esta cuenca está formada por rocas del Cuaternario, Neógeno y Paleógeno, el fundamento o basamento de esta cuenca artesiana está formado por rocas del Cretácico, que afloran a la superficie en territorio ocupado por el macizo hidrogeológico Holguín.

La cubierta está representada por las siguientes formaciones geológicas: Fm. Hatico con bloques de serpentinitas, calizas e intercalaciones de tobas; Fm. Vigía con areniscas, tobas y margas; Fm. Charco Redondo formada por calizas; Fm. Camazán formada por calizas y margas, con su miembro Pedernales, constituido por conglomerados; Fm. Júcaro formada por calizas arcillosas y la Fm. Río Jagüeyes formada por arcillas carbonatadas, lutitas, margas y algunas intercalaciones de calizas arcillosas y finalmente la Fm. Cauto formada por depósitos fluvio-marinos arcillosos y arenosos del pleistoceno.

Las aguas subterráneas en esta cuenca son de grietas, cavernas y poros, predominando las aguas freáticas, aunque en áreas considerables, existen **aguas artesianas** (con presión), en áreas de desarrollo de la facie arcillosa de Camazán y Cauto, donde las rocas acuíferas se acuñan bajo estratos arcillosos o de margas y donde en la parte superior del corte existen estratos con potencias considerables de arcillas y otras rocas de matriz arcillosa.

La acuosidad de los acuíferos es muy variable, incluso en una misma formación, siendo para las formaciones aluviales **la transmisividad** entre 70 – 140 m²/día y **el coeficiente**

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

de filtración (Kf) entre 4 y 15 m/día, con **coeficiente de almacenamiento (μ)** de 0,17. Hacia las facies arcillosas la Transmisividad está entre 2 y 40 m²/ día, con los Kf entre 0,1 y 3 m/día y el coeficiente de almacenamiento (μ) de 0,08. Hacia la facie carbonatada la transmisividad se encuentra en 200 m²/ día, el Kf de 25 m/día y μ entre 0,08 y 0,18 dependiendo del grado de cavernosidad o agrietamiento a que estén sometidas las rocas.

La mineralización de las aguas subterráneas.

En los sedimentos aluviales y la facie arcillosa se encuentra entre 1 – 3 g/l siendo poco salinizadas, clasificándose las aguas como bicarbonatadas sódicas.

En la facie carbonatada la mineralización de las aguas es de 0,8 g/l, siendo la clasificación de bicarbonatadas cálcicas.

CAPÍTULO III.- METODOLOGÍA y VOLÚMENES DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

3.1. Trabajos Preliminares.

Para la realización de este trabajo se hizo primeramente el análisis de todos los materiales existentes en los archivos de la E.I.P.H. Holguín, que incluye informes técnicos y calas realizadas en la zona, el trabajo de Teledetección y procesamiento Digital de Imágenes realizado por el Grupo GER-CITEC (Pérez Rancol L. Et al), los datos de las calas realizadas para el polígono CAME IV- Holguín por la EGS (Pentelényi, Laszlo - Garcés, Enrique. 1988.) y las calas realizadas por la ENIA No 6.

3.2. Levantamiento geólogo-hidrogeológico.

Se realizó un levantamiento geólogo-hidrogeológico de la zona con un área que inicialmente fue de 36 Km² y que posteriormente por acuerdo con la parte inversionista se amplió a 42 Km² y que contempló 28 marchas rutas, las cuales se hicieron en su mayoría, perpendiculares a las estructuras, otras se hicieron oblicuas o longitudinales, donde se realizaron observaciones geológicas, hidrogeológicas y geomorfológicas. Además se hicieron recorridos de comprobación y relleno por toda el área.

En estas marchas se tomaron 414 puntos de descripción, recogiendo los niveles naturales de 200 pozos, tanto criollos (de campesinos), como pozos de percusión y calas perforadas para la presente investigación. Se tomaron además 29 muestras para análisis químico de agua.

Simultáneamente a este levantamiento se fue realizando el levantamiento geofísico del área, cuyos resultados parciales se comparaban con los del levantamiento geológico, lo que permitió concatenar los resultados de uno y otro.

Además, se tomaron datos en otros 19 puntos, constituidos por pozos de observación del régimen y de explotación, así como, calas de trabajos anteriores. Los trabajos de levantamiento se realizaron con una precisión de 1:25 000 para la zona y 1:10 000 para el área perspectiva.

Con el fin de dar una valoración de la composición química y bacteriológica de las aguas subterráneas, en la zona Managua- El Aserrío, se procesaron 45 muestras químicas de calas y pozos perforados en el área, 16 de los cuales pertenecen a los archivos de las Empresas de Aprovechamiento Hidráulico y de la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos.

El resto de las muestras se tomaron durante el levantamiento, con ellos se confeccionó la tabla de propiedades físico- químicas y bacteriológicas. También se realizaron observaciones del régimen de las aguas subterráneas al final del período húmedo en la mayoría de los pozos y calas mencionado, con el fin de ver las variaciones experimentadas al ocurrir las lluvias, por tipos litológicos.

3.3. Trabajos Geofísicos.

Los métodos geofísicos que se utilizaron fueron SEV y Magnetometría, alcanzando los puntos SEV profundidades de hasta 200 m.

Las mediciones de geoelectricidad se realizaron con el equipo SARIS de fabricación Canadiense y con el autocompensador de corriente directa AE-72 de fabricación Soviética.

La variante utilizada fue la de sondeo eléctrico vertical (S.E.V), según el dispositivo simétrico schlumberger. La red de medición empleada fue irregular, realizándose las mediciones por los caminos existentes y el espacio entre los cañaverales a una distancia aproximada de 250m entre puntos y 500m entre perfiles donde fue posible, medidos por las marcas del dispositivo, tratando de caracterizar toda el área de estudio.

La abertura máxima (AB) utilizada fue de 2 000 m.

Las mediciones se realizaron según lo establecido en las normas ramales del MINBAS para el método. Antes y durante los trabajos se realizaron las comprobaciones estipuladas para corroborar que los parámetros técnicos de esta tecnología se encontraban dentro de los límites establecidos por el fabricante para su uso.

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

Se realizaron 111 SEV ordinarios, dos paramétricos y ocho de controles con otro equipo de medición, incluidos 15 SEV realizados en un área de detalle para precisar estructura geológica.

El método SEV. Se aplicó con el objetivo de determinar las diferentes capas litológicas existentes en el área sobre la base de las resistividades obtenidas para delimitar las posibles zonas de mayor posibilidad acuífera y el techo de la capa impermeable.

Los SEV. Fueron interpretados a través del software Resixp y procesados con el software Surfer 8.

Los trabajos de magnetometría se realizaron con el equipo PM-2 de fabricación Checa, la red de medición empleada fue irregular, las mediciones se realizaron por los caminos, cañaverales y otras vías por donde fue posible el acceso, con un paso de medición aproximado de 50m medido a paso, los cuales se ubicaron mediante un equipo GPS Magallanes.

Las mediciones se realizaron según lo establecido en las normas ramales del MINBAS para el método. Antes y durante los trabajos se realizaron las comprobaciones estipuladas para corroborar que los parámetros técnicos de esta tecnología se encontraban dentro de los límites establecidos por el fabricante para su uso. Se realizaron 85 km lineales de magnetometría y dos de controles.

La magnetometría se utilizó fundamentalmente buscando contactos litológicos, mediante los contrastes de susceptibilidad magnética presentes en cada formación rocosa, sirviendo de indicador excepcional para el mapeo litológico y técnico del sector, las mediciones fueron procesadas con el software Surfer 8 y el Geosoft.

La ubicación de los puntos de sondeo se realizó mediante el GPS, con un error de $\pm 20m$.

Se presenta un mapa de ubicación del sector de los trabajos (Plano N° 4) donde se muestran los SEV. Realizados y los perfiles representativos del sector. Los SEV que aparecen con # 1 fueron realizados en trabajos anteriores por la ENIA N° 6.

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

A partir de los valores de resistividad aparente de las curvas de SEV se construyeron mapas de isolíneas en planta para distintas profundidades de investigación $AB/2=50$, 100, 250 y 500 respectivamente.

Estos mapas se hicieron con el objetivo de observar el comportamiento de la resistividad con la profundidad de investigación.

Fueron construidos cortes de isohomas para cada uno de los perfiles mostrados con el objetivo de realizar una interpretación cualitativa sobre el comportamiento de la resistividad en el corte.

Se presentan los modelos sintéticos de interpretación de los perfiles mostrados con el objetivo de representar el desciframiento del corte geológico.

Se presentan los mapas de isolíneas del campo magnético terrestre y aéreo, el mapa de isolíneas de los datos magnéticos terrestres con reducción al polo, el mapa de la señal analítica y el mapa de interpretación geólogo-geofísico.

Se presenta un mapa de profundidades del techo de las calizas, isométrico del techo de las calizas e isométrico combinado del relieve y del techo de las calizas.

3.4. Trabajos de Perforación Rotaria.

Se ejecutaron 11 calas con 604 m lineales de perforación por el método de perforación rotaria con recuperación del testigo, ubicándose y corrigiéndose su situación respecto a la programación inicial, de acuerdo con las nuevas interpretaciones obtenidas de los trabajos geofísicos y de los resultados que se iban obteniendo en las primeras perforaciones.

La recuperación promedio fue de un 60%.

La ubicación y profundidad de estas perforaciones se da en el Mapa de Datos Reales (Plano N° 1) y en las columnas litológicas anexas a este informe de la investigación

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

ejecutada. Los diámetros utilizados en las perforaciones fueron de 146 mm, 127 mm, 108 mm y 87 mm, dependiendo los mismos de la profundidad y el tipo de roca.

Las perforaciones se realizaron con máquinas soviéticas de los tipos URB-2.5 A y UGB-50M.

Estos trabajos se hicieron según el instructivo I (11)-2.02-02-01 para la actividad de perforación rotaria.

Tabla No. 4.1. Perforaciones realizadas.					
Nº de Cala	Coordenadas			Prof. (m)	N.E. (m)
	X	Y	Z		
CMA-1	540997.8	245179.6	97.50	70.00	8.50
CMA-2	541314.1	245887.6	92.00	55.00	1.00
CMA-3	544062.2	245064.3	103.20	114.00	13.20
CMA-4	543544.3	244140.4	117.50	50.00	16.00
CMA-4A	542557.8	245552.8	104.10	80.00	9.40
CMA-5	544929.0	245190.0	107.20	27.00	17.30
CMA-6	545680.5	245253.1	107.00	60.00	3.15
CMA-7	545305.1	245098.3	106.90	87.00	7.15
CMA-8	544031.0	245987.0	116.90	30.00	10.60
CMA-9	543342.0	245032.2	98.00	15.00	9.45
CMA-10	540700.0	246720.0	112.40	16.00	6.00

❖ El resto de los datos de los pozos y calas investigadas.

Listado de las columnas litológicas utilizadas para la investigación hidrogeológica

No.	Cala	Profundidad (m)	X	Y	Z (m)
1	CMA-1	70,00	540997,8	245179,6	97,5
2	CMA-2	55,00	541314,1	245887,6	92,0
3	CMA-3	114,00	544091,1	245064,4	103,2
4	CMA-4	50,00	543544,3	244140,4	117,5
5	CMA-4A	80,00	542557,8	245552,8	104,1
6	CMA-5	27,00	544929,0	245190,0	107,2
7	CMA-6	60,00	545680,5	245253,1	107,0
8	CMA-7	87,00	545305,0	245098,0	106,9
9	CMA-8	30,00	544031,0	245987,0	116,9
10	CMA-9	16,00	543342,0	245032,2	98,0
11	CMA-10	15,00	540700,0	246720,0	112,4
12	CC-307A	20,20	539700,0	247000,0	110,0
13	CC-335	16,35	543900,0	247050,0	110,0
14	CC-297	30,00	546750,0	246500,0	117,2
15	CC-290	40,00	544000,0	246400,0	108,7
16	CC-291	31,00	541275,0	246600,0	103,8
17	CC-307	20,50	540125,0	246450,0	113,6
18	CC-302	25,00	547050,0	244000,0	108,0
19	CC-301	25,00	548000,0	243275,0	-
20	CC-312	20,00	544150,0	247950,0	115,0
21	CC-289	30,80	544675,0	246825,0	114,2
22	CE-51	8,00	541045,0	242485,0	82,5
23	C-11-H	97,00	543540,8	245493,5	121,7
24	C-53-H	97,00	541662,8	245119,7	92,1
25	C-55-H	82,50	543400,0	245100,0	100,0
26	C-56-H	40,00	544700,0	243200,0	116,7
27	C-57-H	25,00	545909,3	246145,5	112,6
28	C-58-H	25,00	546250,0	241700,0	99,0
29	C-108-H	120,00	542100,0	240300,0	79,0
30	C-11-L	50,00	540500,0	240100,0	73,4
31	C-16-L	70,00	546200,0	243400,0	97,9
32	C-17-L	50,00	542600,0	242700,0	103,9
33	C-18-L	50,00	540600,0	242200,0	77,6
34	C-20-L	26,00	546050,0	244700,0	103,4
35	C-95	73,00	540850,0	246050,0	98,2
36	P-145	25,00	540050,0	243400,0	87,3

37	P-185	30,00	542100,0	240400,0	79,9
38	P-189	103,00	544813,8	245161,4	108,8
39	P-313A	59,50	545300,0	244800,0	107,8
40	P-388	46,54	543450,0	245070,0	104,5
41	P-471	34,00	541500,0	245450,0	100,4
42	P-651	-	544000,0	245700,0	113,2
43	P-657	-	543500,0	245900,0	107,6
44	P-647	-	544200,0	245700,0	114,6
45	P-646	-	543194,9	245092,8	97,4
46	P-544	-	543350,0	245075,0	98,9
47	P-95	-	540764,1	246193,8	100,3
48	PC-18	-	541310,0	245645,0	102,8
49	PC-20	-	545360,0	245260,0	108,1
50	PC-21	-	545700,0	245800,0	113,0
51	PC-23	-	540970,0	244200,0	88,1
52	PC-24	-	544179,1	244572,6	111,1
53	PC-26	-	546140,0	244050,0	101,3

3.5. Pruebas Hidrogeológicas.

En las calas perforadas se realizaron 8 vertimientos en la zona no saturada (de aeración), con intervalos de 5 m. Para la zona saturada se realizaron 15 cubeteos con intervalos de 20 m, y 29 pruebas de inyección cada 10 m de avance de la perforación.

Las inyecciones se realizaron a 0.5, 1.0 y 1.5 atmósferas de presión. Además, se realizó un aforo en la cala CMA-6.

Con todas estas pruebas se precisaron los parámetros hidrogeológicos de la zona.

También se tomaron los niveles a las calas, así como se les realizó muestreo de las aguas con el fin de efectuarles análisis químico.

Para la realización de estas pruebas se emplearon los procedimientos P(11)-2.01-02 y P(11)-2.01-03.

Laboratorio químico de aguas.

Se analizaron las muestras de agua de los pozos y calas para verificar la calidad química y bacteriológica de las aguas subterráneas. Se tomaron 29 muestras, realizándose igual cantidad de determinaciones químicas.

Otros trabajos de laboratorio.

Se tomaron 12 muestras paleontológicas, se hicieron 9 análisis petrográficos, así como se realizaron 37 ensayos axiales de roca para determinar su perforabilidad. También se hicieron 34 análisis de CaCO_3 y a partir de los resultados de los mismos, los cuales se muestran en las columnas litológicas, se clasificaron las rocas carbonatadas de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla No. 4.2. Clasificación de las rocas carbonatadas y arcillosas (Segura Soto)

No.	TIPO DE ROCA	CONTENIDO	
		CaCO_3	ARCILLA
1	Caliza pura	100-90 %	0-10 %
2	Caliza margosa*	90-60 %	10-40 %
3	Marga	60-30 %	40-70 %
4	Arcilla margosa**	30-10 %	70-90 %
5	Arcilla pura	10-0 %	90-100 %

* Algunos autores la describen como caliza arcillosa.

** Algunos autores la describen como arcilla carbonatada.

3.6. Cálculo de los recursos de las aguas subterráneas.

Se realizó un estudio basado en informaciones registradas en pozos de explotación situados en el área y de pluviómetros cercanos, para determinar la cuantía y los recursos

de las aguas subterráneas por el método de balance en la zona Managua-Aserrío para conocer si se puede incrementar el gasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A.

Con este cálculo se procuró establecer los recursos de explotación en esta zona de modo que se asegure su aprovechamiento más eficiente y uso racional. Así como la protección de las fuentes a partir del comportamiento temporo – espacial de las variables lluvia, nivel, explotación y escurrimiento subterráneo y su parametrización que permitan conocer las condiciones de alimentación y descarga.

Obteniéndose la recarga del acuífero para las diferentes probabilidades de lluvia, de las que inferiremos los recursos de las aguas subterráneas conforme a esta variable, y el gráfico de control de balance a partir del cual se operarán de forma racional y eficiente los recursos disponibles.

El método de cálculo empleado Método de Balance: Se basa fundamentalmente en las evaluaciones de entradas y salidas del acuífero, con la variante de empleo del “Gráfico de Control de Balance de las aguas subterráneas” (G.C.B.A.S).

La esencia del método consiste en establecer una dependencia entre el caudal del escurrimiento subterráneo, la cantidad de agua infiltrada, y el nivel en el horizonte acuífero. Por tanto, también existe una componente hidrodinámica importante en este análisis.

Se utilizó el programa **GCBAS** un método gráficoanalítico desarrollado mediante un programa automatizado para el control y revalidación de los recursos de las aguas subterráneas.

Fundamentación del cálculo de reservas.

Después de establecidas las fronteras hidrogeológicas, se calculan las reservas de agua subterránea para el nuevo sector hidrogeológico Managua – El Aserrío en un área perspectiva de 5,18 km² donde se contemplan la zona de alimentación y la zona de acumulación, no estimándose la zona de descarga, ya que existe muy poca salida de las aguas subterráneas hacia el sur.

El método hidrodinámico tiene como objetivo principal definir el abatimiento permisible en la zona de acumulación de las aguas subterráneas, en este caso, calizas organógenas agrietadas y carsificadas, con el cual se satisface la extracción de un volumen determinado del líquido.

Por su parte, en **el método hidráulico** generalmente se utilizan datos empíricos y en este caso se determina la dependencia del abatimiento en relación con los gastos de los pozos.

El método de balance se basa fundamentalmente en las evaluaciones de entradas y salidas del acuífero, con la variante de empleo del “Gráfico de Control de Balance de las aguas subterráneas” (G.C.B.A.S).

La esencia del método consiste en establecer una dependencia entre el caudal del escurrimiento subterráneo, la cantidad de agua infiltrada, y el nivel en el horizonte acuífero.

Por tanto, también existe una componente hidrodinámica importante en este análisis. Para este cálculo se utiliza el programa GCBAS un método grafo analítico desarrollado mediante un programa automatizado para el control y revalidación de los recursos de las aguas subterráneas.

Los resultados de los cálculos hidrogeológicos realizados durante los trabajos, se obtuvieron mediante la aplicación de los siguientes métodos hidrodinámicos.

Método Hidrodinámico.

Para este método se emplean varios esquemas de cálculo. Uno de ellos es cuando existe un límite impermeable próximo. En este caso, el límite es la falla F-II.

$$S = H \sqrt{(H^2 - \frac{Q}{\pi K} 2.3 \log \frac{Rn^2}{2roL}} \quad (\text{Autor: Romanov})$$

$$20 = 40 - \sqrt{(40)^2 - \frac{Q}{3.14(7)} 2.3 \log \frac{239.2}{2(0,25)100}}$$

Donde:

S= Descenso admisible de explotación (20 m) S = 0,5 H

(Se considera ½ de la potencia acuífera).

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

H = Potencia Acuífera (40 m)

Q = Caudal de explotación. (25.92 m³/día)

K = Coeficiente de filtración (7 m/día)

Rn = 0.2 Lo Radio reducido de influencia (239.2 m)

ro = radio del pozo (0,25 m)

L = Distancia del pozo 388 al impermeable (100 m)

Lo = Longitud de la batería de los pozos de la zona (1230 m)

Q = 3750 m³/día (1,36 hm³/año)

Q = 43.4 l/s

Método Hidráulico.

La fórmula para este método es la siguiente:

Q exp = ms - ns² Autor: Dupuit

Donde:

Q exp = Gasto de Explotación m³/día

S =descenso del pozo central (Pozo supuesto en el centro del área =20m)

m y n = Coeficientes de cálculo

$$m = \frac{2\pi k H}{Ln \frac{Ro}{ro}} = \frac{2(3.14) 7 (40)}{Ln \frac{1230}{0,25}} = \frac{1758,4}{8,5} = 206,8$$

$$n = \frac{\pi k}{Ln \frac{Ro}{ro}} = \frac{3.14 (7)}{Ln \frac{1230}{0,25}} = \frac{21.98}{8,5} = 2,5$$

K = Coeficiente de filtración (7 m/día)

H = Potencia acuífera (40 m)

Ro = Radio de influencia (1230 m)

ro = radio del pozo (0,25 m)

Qexp = 206,8 (20) – 2,5 (20)²

Investigación hidrogeológica para abasto de agua a la Fábrica de Cerveza Bucaneros S.A.

$$= 4137,4 - 1000$$

$$= 3137,4 \text{ m}^3/\text{día} (1,14 \text{ hm}^3 / \text{año})$$

$$Q = 36 \text{ L/s}$$

Método de balance

En este método se tienen en cuenta una serie de parámetros interrelacionados, como son: La lluvia real, mensual y anual, la infiltración de las precipitaciones, los niveles de las aguas subterráneas y su escurrimiento, los volúmenes de extracción de la zona, comportamiento de la recarga y descarga, etc.

A partir de los cálculos por este método, desarrollado en la tabla N° 3, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 8.1 .Recursos de explotación para las diferentes probabilidades de lluvia

%	Lluvia (mm)	Recursos Naturales (Qn) (m ³ /día)	Volumen del acuífero (Vo) (Mm ³)	Reservas Naturales (Vn) (Mm ³)	Recursos de Explotación (Qe) m ³ / día	Recursos de Explotación (Qe) L/ seg	Recursos de Explotación (Qe) Hm ³ /Año
25	1207	1705.312	207200000	22128960	2917.858	33.8	1.065018
Promedio	1068	1549.674			2762.220	32.0	1.008210
75	919	1382.839			2595.385	30.0	0.947316
95	745	1188.012			2400.558	27.8	0.876204

Cálculo de los recursos de explotación

$$Q_e = Q_n + \alpha \frac{V_n}{t}$$

Donde:

Q_e = recurso de explotación anual, en Hm³

Q_n = reservas naturales totales, ($m^3/día$)

α , coeficiente de aprovechamiento de la reservas, 0.5

$V_n = \alpha V_o$

V_o , volumen de la capa o bloque a evaluar, (Mm^3)

μ , coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva, adimensional

t , tiempo de explotación de la toma, propuesto, 25 años.

NOTAS:

- *Este método se encuentra ampliamente desarrollado en la tabla No.3.*
- *Los 28 l/s constituyen reservas naturales de explotación, debe coordinarse con la Delegación Provincial de Recursos Hidráulicos la autorización de fuente.*
- *Dentro del sistema del INRH en la provincia, la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico es la que se ocupa del monitoreo de las aguas subterráneas.*
- *Los estudios de fuentes contaminantes los realiza la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico. Sugerimos coordinar dichos trabajos con esta entidad.*

3.7. Trabajos de gabinete.

Los trabajos de gabinete fueron supervisados por los especialistas y técnicos participantes de la investigación, usando para ello los programas de computación EXCEL.EXE. para el procesamiento de la información, el SURFER 8. para la confección de los modelos digitales y la cartografía digital, con lo cual se generaron los planos pertinentes.

Otros programas empleados se mencionan en el epígrafe de los trabajos geofísicos.

Por último se confeccionó el informe, que consta de 4 capítulos, conclusiones y recomendaciones, planos, tablas y la bibliografía empleada.

Los aspectos abordados en estos capítulos del informe final de la instigación son:

Características geográficas y económicas de la región de estudio.

Ubicación de la zona de trabajo.

Características climáticas de la región. Hidrografía.

Poblaciones y red de comunicaciones.

Desarrollo industrial y agrícola.

Marco geológico regional y local.

Características geológicas regionales.

Basamento. Cobertura neoplatafórmica.

Características geológicas de la zona de estudio.

Estratigrafía. Tectónica. Geomorfología.

Características hidrogeológicas regionales.

Metodología y volúmenes de los trabajos realizados.

Trabajos Preliminares.

Levantamiento geólogo-hidrogeológico.

Trabajos Geofísicos.

Trabajos de Perforación Rotaria.

Pruebas Hidrogeológicas.

Cálculo de los recursos de las aguas subterráneas.

Interpretación de los resultados obtenidos.

Conclusiones y Recomendaciones.

Anexos.

CAPÍTULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

Después del análisis de la información recopilada durante los trabajos de campo y procesada durante los trabajos de gabinete, se determinaron las características hidrogeológicas locales que se ofrecen a continuación, las cuales corroboran, que por sus propiedades acuíferas e hidroquímicas, el área perspectiva se encuentra en las coordenadas Norte-244 500 a 246 500 y Este- 542 500 a 546 000. (Plano N^o 7).

*** Resultados de la interpretación de la geología del lugar estudiado producto a la interpretación combinada de los métodos empleados.**

En esta área afloran las siguientes litologías:

- Areniscas estratificadas, bien seleccionadas, de grano fino a medio y matriz arcillosa débilmente carbonatada de la Fm. La Jíquima.
- Secuencia olistostrómica constituida por olistolitos, bloques y clastos de ultramafitas serpentinizadas, gabros y diabasas pertenecientes a la Fm. Haticos.
- Conglomerados polimícticos mal cementados, con matriz arenosa o limosa pertenecientes al miembro Pedernales de la Fm. Camazán.
- Calizas duras en ocasiones recristalizadas, cavernosas, más o menos puras, aunque pueden presentarse capas de calizas margosas, calizas organodetríticas, calcarenitas, calizas brechosas y margas con fragmentos de calizas, pertenecientes a la Fm. Camazán.
- Lutitas, arcillas carbonatadas, margas y lentes de calizas pertenecientes a la Fm. Río Jagüeyes. En la zona de la Falla F-II, se produce una interdigitación de calizas adyacentes al plano de falla con lutitas, que hacia el interior de la cuenca aparecen en forma de lentes.
- Calizas arcillosas, organodetríticas y concrecionales, pertenecientes a la Fm. Júcaro.
- Sedimentos eluvio-deluviales y coluviales, que alcanzan espesores de 7 a 10 m en la zona al pie de donde se producen cambios bruscos de la pendiente del terreno.

En el Plano N^o 7, se representa además un Bloque Isométrico donde se muestra la geología del área en relación con la altura del terreno y la profundidad (3D). Además,

completan el cuadro geológico local las columnas litológicas de las calas y pozos realizadas en estudios anteriores y las calas realizadas en la presente investigación.

*** Los resultados de la interpretación de los resultados dados por la geofísica aplicada en el área están reflejados a continuación:**

En el mapa de isolíneas del campo magnético (Plano N° 3).

Se puede observar que dicho campo en el área presenta un carácter estable, característico de rocas sedimentarias.

Se observan dos áreas bien definidas, una en la parte N-NE con valores positivos que alcanzan los 100 nT y la otra en la parte S-SW con valores que alcanzan los -90 nT, provocado por una estructura en forma de graben, donde la parte levantada es mapeada con valores superiores a los 30 nT asociados a las calizas y margas que afloran en esta zona, y la parte mas profunda mapeada con valores menores de -10 nT asociados a arcillas o rocas de gran contenido arcilloso.

Ambas áreas, por la forma en que se expresa el campo magnético (isolíneas paralelas entre sí), están separadas por un contacto tectónico. (Falla F-I).

En el mapa de isolíneas con reducción al polo.

Se observan las mismas características, donde los valores menores de -10 nT contornean la parte más profunda, además se reflejan las direcciones tectónicas principales. En el mapa de isolíneas de la señal analítica, se pueden observar las direcciones de las fuentes que provocan las anomalías, resaltando algunas direcciones tectónicas que se reflejan en el mapa de interpretación.

Analizando el comportamiento de la resistividad aparente.

En los mapas de isolíneas para diferentes aberturas ($ab/2=10,50,100,250$ y $500m$), (Plano N° 3), se pueden observar también las dos áreas bien definidas, una en la parte norte - noreste con valores altos de resistividad, superiores a los 10 ohm-m, asociados a las rocas calizas y margas y otra en la parte sur con valores de resistividad inferiores a los 10 ohm-m asociados a las rocas arcillosas (arcillas, lutitas, limolitas) este comportamiento de la

resistividad se mantiene en los primeros 100 a 130m de profundidad aproximadamente, ya que se observan las mismas características para las diferentes aberturas.

En el mapa de isolíneas para $ab/2=10m$ se observan áreas con valores altos de resistividad que están asociados a las calizas nodulares que afloran en la parte sur. En el mapa de isolíneas para $ab/2=500m$, se observa otra zona en la parte SW con valores superiores a los 20 ohm-m, que pueden estar asociados a la presencia de las calizas en profundidad, por debajo de las rocas arcillosas.

En estos mapas de isolíneas se definen varias áreas de fuerte gradiente de resistividad o alineaciones de las isolíneas, que pueden estar asociadas a zonas de fallas o de contactos geológicos.

En los cortes de isohomas mostrados por los perfiles geofísicos I, II, III y IV (Plano N° 5).

Se puede observar que se encuentran las dos áreas definidas anteriormente, la parte sur con valores de resistividad menores de 10 ohm-m, asociados a grandes espesores de arcillas que constituyen un impermeable en forma lateral y el área de la parte norte - noreste con valores altos de resistividad, asociados a las calizas y margas con intercalaciones de calizas, descendiendo gradualmente hasta alcanzar valores de resistividad inferiores a los 20 ohm-m.

En estos cortes se observan fuertes contrastes de resistividad que se mantienen en toda la profundidad estudiada, que pueden estar asociados a zonas de fallas o contactos geológicos en forma vertical.

En el corte de isohomas por el perfil - II, en la parte sur, se observan valores bajos de resistividad en la parte superior del corte, asociados a las arcillas presentes en el área y van aumentando gradualmente hasta alcanzar valores superiores a los 20 ohm-m, que pueden estar asociados a las calizas o margas con intercalaciones de calizas.

Esta zona puede ser perspectiva para la presencia de agua con pocas posibilidades de contaminación, ya que en la parte superior se encuentran espesores de arcillas

superiores a los 20 metros; como se puede ver en el modelo sintético de interpretación por el perfil II, en la parte superior se encuentra una capa con valores de resistividades inferiores a los 20 ohm-m, que tiene potencias en varios puntos superiores a los 20m (S-5 y S-6), en esta misma capa de arcillas se observa una sub-capa con valores de resistividades entre 1 y 3 ohm-m, que puede estar asociada a la presencia de agua salobre que se observa en gran parte de la zona de estudio; la capa que subyace a esta tiene valores de resistividad que alcanzan los 500 ohm-m (S-9), los cuales pueden estar asociados a las calizas presentes en el área.

La capa que subyace a la anterior, con valores de resistividades entre los 20 y 50 ohm-m, puede estar asociada a calizas cavernosas con presencia de agua o calizas con mayor grado de alteración, mientras que la que le sigue en profundidad, presenta valores de resistividad inferiores a los 10 ohm-m, asociados a las rocas arcillosas que pueden constituir el techo de la capa impermeable. En este perfil en los SEV. S-146,143 y S-92 no se pudo mapear la capa de calizas porque se encuentra a mayor profundidad.

En el modelo sintético de interpretación por el perfil - IV, se observa en la parte superior del corte una capa de poca potencia, que aflora en la mayor parte del perfil, entre los SEV (S-49 y S-80), asociada a las calizas que afloran en esta área. En algunos puntos esporádicos presenta valores altos de resistividad (S-79), asociados a las calizas menos alteradas.

Luego aparecen los espesores de rocas arcillosas, que alcanzan potencias superiores a los 200 m entre el S-48 y S-47 y aumentan gradualmente de norte a sur con valores de resistividades inferiores a los 10 ohm-m. A continuación (S-110 y S-82) yace una capa con valores superiores a los 10 ohm-m, asociados a las alternancias de arcillas y calizas margosas.

Por debajo de esta capa, entre los SEV (S-110 y S-82), se observan valores de resistividad inferiores a los 10 ohm-m que pueden estar asociados a las rocas arcillosas, constituyendo la capa impermeable.

Hacia la parte sur no se pudo dar seguimiento al techo de la capa impermeable. A partir del S-81 hasta el S-49 sólo se determina el tope superior de la capa de calizas con

valores muy bajos en algunos SEV (S-49), porque la rama de la curva comienza a subir. La potencia de esta capa de caliza donde pudo ser mapeada varía entre 15 y 25 m. De la falla F-II hacia el sur se encuentra el área que constituye un impermeable en forma lateral por los potentes espesores de arcilla que presenta.

En la parte norte (S-109), se observan valores de resistividades superiores a los 10 ohm-m asociados a las calizas, corroborado con la cala CMA-3, que fue perforada en el mismo punto del SEV S-109 hasta los 115 m de profundidad sin atravesar las calizas.

El contacto entre las dos zonas es plano vertical y la potencia de caliza de la zona norte de la falla es superior y con características diferentes.

En el SEV S-39 se observa una capa de calizas de poco espesor; por debajo aparece una capa de rocas arcillosas, luego aparece la misma alternancia y subyaciendo a estas capas aparecen valores de resistividades superiores a los 15 ohm-m, los que están asociados a los conglomerados polimícticos, corroborado con el sondeo paramétrico (S-37) realizado en la cala 11-H donde aproximadamente a los 77 metros de profundidad comienzan a aparecer los conglomerados.

El SEV S-39, por la característica que presenta el corte, fue realizado en una zona de contacto o falla que puede estar asociada al contacto entre las calizas y los conglomerados.

En el modelo sintético de interpretación por el perfil – III, se puede observar entre los SEV S-10 y S-3.1, una capa arcillosa con valores de resistividad menores de 10 ohm-m, subyaciendo a esta capa se observan valores de resistividad mayores de 40 ohm-m asociados a las calizas que van disminuyendo su espesor del SEV S-10 al S-3.1.

Por debajo de esta capa aparecen nuevamente rocas arcillosas con valores de resistividad muy bajo (menores de 5 ohm-m), entre los SEV S-36 y S-109 se observan grandes espesores de calizas, corroborados con el pozo 388 y la cala CMA-3.

En el SEV S-36 aparecen capas con valores de resistividad altos con alternancia de valores bajos, hasta que aparecen los valores de resistividad característicos de las calizas saturadas de agua.

La resistividad promedio de los dos SEV (S-36 y S-109) de esta capa es de 28 ohm-m, estas características se mantienen en toda la zona de falla, En los SEV S-42 y S-86 aparecen las dos capas arcillosas con la capa de caliza intercalada; en el SEV S-99 coincide con la cala CMA-5, la misma cortó un espesor deluvial-eluvial hasta los 8 m y luego calizas hasta 27 m, con valores de resistividad bajos en la parte superior, alcanzando luego valores de 26 ohm-m, los que se mantienen hasta la profundidad estudiada.

En el modelo sintético de interpretación por el perfil - IV, se observa que entre los SEV. S-60 y S-57 predominan las rocas arcillosas y entre los SEV S-56 y S-52 aparece en la parte superior la capa arcillosa y por debajo de esta capa, aparece la capa de caliza, aumentando la profundidad del tope superior desde la superficie (S-51), hasta alcanzar profundidades superiores a los 100 m (S-56); por debajo de esta capa aparece la capa impermeable donde pudo ser mapeada.

En el SEV S-51 no se pudo mapear la capa impermeable, por encontrarse a mayor profundidad.

En el mapa de profundidades del techo de las calizas (Plano N° 6).

Se puede observar que las profundidades van aumentando de norte a sur desde la superficie (donde afloran), hasta alcanzar profundidades superiores a los 100m.

En el plano se hace referencia a las calizas que se encuentran por debajo de las rocas arcillosas y no a las que afloran en superficie en algunos puntos de la zona sur.

A partir del contacto tectónico que se describe entre las dos zonas en los mapas anteriores y exactamente es allí donde comienza a aumentar la profundidad del tope superior de las calizas por debajo de las arcillas, en la parte SW se puede observar que las profundidades son menores que hacia la parte SE con un gradiente mas suave que el de norte a sur.

En el mapa hipsométrico (Plano N° 5).

Del techo de las calizas se puede observar la variación en profundidad del relieve del techo de estas rocas. También se muestra un isométrico combinado del relieve y del techo de las calizas, donde la parte superior es el relieve del terreno y la inferior el techo de las calizas.

En general, el sector está muy tectonizado, la dirección predominante de las fallas es NW-SE y algunas que se destacan con dirección N-S y E-W. Las capas de calizas se van hundiendo de norte a sur en forma escalonada hasta alcanzar profundidades superiores a los 200 m y en algunos casos no pudieron ser mapeadas por encontrarse muy profundas. Por debajo de estas capas, con valores menores de 10 ohm-m, se encuentra el tope superior de la capa impermeable.

El área perspectiva está ubicada en la zona de fuerte gradiente que se observa en los mapas de isolíneas para diferentes aberturas. Este contacto es tectónico y las rocas que se encuentran en la parte N-NE, presentan características diferentes a las que se encuentran en la parte sur según las descripciones de las calas realizadas. El perfil de interpretación – I (Plano N° 5) pasa por esta zona.

En el mapa de interpretación geólogo-geofísico (Plano N° 4).

Se delimita el área de mayor posibilidad acuífera, la misma puede continuar hacia el norte y hacia el oeste.

Sólo se delimitó la parte donde se realizaron los SEV. Se delimita el área perspectiva que coincide con la zona tectónica donde se localizan actualmente los mayores caudales de agua.

Se destacan sectores de alineaciones del campo magnético y geoelectrico asociados a zonas de fallas o de contacto geológico y la zona de mínimo magnético.

*** Características hidrogeológicas locales**

Las aguas presentes en el área perspectiva corresponden al complejo acuífero de las rocas del Neógeno.

En esta área el complejo acuífero del Neógeno está representado fundamentalmente por calizas carsificadas y biocalcarenitas, margas y areniscas porosas de la formación Camazán.

Las aguas son hidrocarbonatadas cálcicas con mineralización menor de 1 g/l. Las aguas son estrato fisurales cársicas.

Estas aguas son las más perspectivas para utilizarlas como abasto; los caudales en los pozos pueden llegar hasta 25 y 30 l/s, la profundidad de las aguas subterráneas se encuentra entre 3 y 17 m.

El movimiento de las aguas subterráneas se comporta en dirección NE-SW y NW-SE, en iguales condiciones, es decir, moviéndose hacia las depresiones y cursos de los ríos y arroyos.

Fronteras hidrogeológicas

De la reinterpretación del mapa geológico, con sus fronteras litológicas y tectónicas, los mapas de los campos físicos, así como los mapas hidrogeológicos de Hidroisohipsas y dirección del flujo de las aguas subterráneas, profundidad de yacencia y de quimismo, además de los nuevos datos aportados por los trabajos de geofísica y perforación en la segunda etapa, se puede concluir que las fronteras hidrogeológicas del área perspectiva son:

1. Norte: Contacto discordante entre las formaciones Haticos - La Jíquima con la Fm. Camazán (miembro Pedernales.)
2. Sur: Falla F-II.
3. Este: Falla F-III.
4. Oeste: Río Colorado (Falla F-IV.)

5. En profundidad, la frontera hidrogeológica está constituida convencionalmente por calizas organógenas en partes recristalizadas, con coeficientes de filtración por debajo de los 0.05 m/día.

Fuente de alimentación y potencia acuífera.

La fuente de alimentación principal del acuífero la constituyen las precipitaciones atmosféricas, las cuales descargan en la zona norte del área de estudio desde las elevaciones situadas hacia el norte, por el poblado de Damián, hasta el contacto del miembro Pedernales con la Fm Camazán.

En esta franja se produce la infiltración, efectuándose la circulación del agua a través de las fallas principalmente y parcialmente por los conglomerados que constituyen el basamento de las calizas agrietadas, ocurriendo la acumulación de las aguas subterráneas en el contacto entre la formación Camazán y la Formación Río Jagüeyes.

En contacto tectónico en la zona de estudio, definido por la falla F-II, donde las aguas son retenidas, producto de que la Fm. Río Jagüeyes está constituida fundamentalmente por facies arcillosas, existiendo poca descarga por esta zona. (Plano N° 7).

En el gráfico combinado de las precipitaciones y los niveles, según el trabajo realizado por Fuentes María M y Cabrera Aleyda de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Holguín (2003), se puede apreciar que existe un defasaje o retardo entre la lluvia al caer y la variación de los niveles, esto puede deberse a la existencia de una capa eluvio deluvial protectora, con una potencia de 7 a 10 m sobre las calizas que hace que el acuífero no responda inmediatamente a la caída de la lluvia.

Esta capa se puede apreciar en las calas CMA-3, CMA-4, CMA-4A, CMA-5 y CMA-9, Además, en diversos puntos del levantamiento efectuado hacia la parte norte del área perspectiva.

Los niveles estáticos a través de los años se encuentran entre 7.83 m y 10.23 m en el pozo de observación sistemática (388), estando en los pozos de explotación (313-A y 189) entre 13.00 m y 17.23 m.

Estos niveles varían más bruscamente en corto tiempo al caer la lluvia en los sedimentos arcillosos y en la Fm. Júcaro en la zona de escasa potencia, donde al tener éstos poca permeabilidad se infiltran muy poco las aguas de lluvia y provocan entonces la subida de los niveles inmediatamente.

La potencia acuífera convencional en la zona como promedio alcanza los 40 metros. Esta potencia fue definida por las descripciones litológicas de las calas perforadas en el área de estudio, por las pruebas de inyecciones realizadas a diferentes profundidades en dichas calas y por los resultados de los trabajos geofísicos.

No obstante, en las calas CMA-6 y C-55H, llega hasta los 60 m, coincidiendo estas potencias con su cercanía a las fallas tectónicas, esto indica que en las zonas cercanas a las fallas, la potencia acuífera puede ser mayor de 40 m.

La potencia promedio se escogió teniendo en cuenta la litología y las propiedades de filtración obtenidas en las calas realizadas, en las cuales, generalmente por debajo de los 40 m de potencia aparecen las calizas poco fracturadas y sin carsificación y los coeficientes de filtración son pequeños (0-0.050 m/día).

Dirección del flujo.

Al observar el plano de hidroisohipsas (Plano N° 8) se ve que las aguas subterráneas se mueven con una tendencia hacia las zonas afectadas por las fallas. En la zona norte, de donde proviene la alimentación, el movimiento predominante de las aguas subterráneas es de noreste a suroeste en el miembro Pedernales y en la Formación Camazán es predominantemente de norte a sur.

Los gradientes hidráulicos calculados en la porción centro-norte del área perspectiva son: de 0.016, hacia el río Colorado, de 0,024 y en la zona sur, de 0.008, al igual que hacia el arroyo La Ceiba. Hacia la zona de la falla F-II es de 0.04. Hacia el norte, donde ocurre la alimentación en la zona de los conglomerados, el gradiente es de 0.0124.

De acuerdo a las líneas de flujo, se puede apreciar en las zonas de fallas una posible descarga de pequeña escala hacia otros bloques más profundos de calizas en la porción sur.

Profundidad de yacencia de las aguas subterráneas en la zona de estudio.

Este parámetro es muy importante, porque condiciona la mayor o menor posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas: mientras más profundas estén, existirá menor contaminación.

En el sector la mayor profundidad de las aguas subterráneas (Plano N° 8) se encuentra hacia el área de explotación de los pozos en las calizas con 17.23 m, puntualmente en el cruce de San Andrés, con 14 m. Después le siguen en orden las aguas en los conglomerados del miembro Pedernales, que están entre 8 y 12 m.

Lo anterior está relacionado, al comprobarse que no existe interferencia con la zona hidrogeológica Cabezuela situada al norte de la zona Los Arroyos, a que con el movimiento de las aguas subterráneas hacia el sur, se produce una disminución de las velocidades al circular éstas antes de llegar a los conglomerados por la formación Vigía la cual está compuesta por tobas con bajo coeficiente de filtración y bajas transmisividades.

Los menores valores de las profundidades se encuentran cerca del río Colorado y el arroyo La Ceiba, los cuales se encuentran entre 3 y 3.60 m en las rocas carbonatadas y clásticas.

Principales parámetros hidrogeológicos.

En los conglomerados del miembro Pedernales las transmisividades se encuentran en el orden de 120 a 160 m²/día, estando los coeficientes de filtración entre 4 y 10 m/día. Los coeficientes de conductividad tienen un valor promedio de 378 m²/día y los radios de influencia de 160 m. El coeficiente de almacenamiento es de 0.09 y los caudales variarán entre 4 y 10 l/s.

En las calizas agrietadas de la formación Camazán las transmisividades oscilan entre 280 y 300 m²/día. Los coeficientes de filtración son de 7 m/día, los coeficientes de conductividad entre 3500 y 3700 m², los coeficientes de almacenamiento de 0.08, los radios de influencia entre 700 y 1200 m, los caudales en los pozos entre 27 y 35 l/s.

En las zonas altas los parámetros hidrogeológicos son bajos, con un coeficiente de filtración promedio de 0.32 m/día, coeficiente de transmisividad de 6 m²/día, coeficiente de conductividad de 75 m²/día, coeficiente de almacenamiento de 0.08 y radio de influencia de 82m. Los caudales en estas zonas estarán en el orden de 1.5 a 3 l/s.

En las rocas arcillosas, lutitas, calizas biodetríticas y margas fosilíferas de la Formación Río Jagüeyes, los parámetros son también bajos, con transmisividades de 18 m²/día, coeficiente de filtración de 1m/día, coeficiente de conductividad de 93.7 m²/día, coeficiente de almacenamiento de 0.19, radios de influencia de 70 m. Los caudales estarán entre 0 y 2 l/s.

Interferencia del sector con otras zonas hidrogeológicas.

Se producirá poca interferencia entre la zona de explotación de los pozos actuales con el sector Managua – El Aserrío, objeto de la investigación actual. A esta conclusión se arribó a partir del análisis de la estructura geológica, ya que la falla F-IV, que coincide geográficamente con el río Colorado, constituye una frontera hidrogeológica, la cual

separa el sector hidrogeológico Managua – El Aserrío de la zona hidrogeológica de Arroyo Blanco.

Esta hipótesis se corroboró con la perforación de la cala CMA-1, que cortó una potencia de 25 m de caliza y luego en profundidad aparecieron las secuencias de las rocas de la formación Río Jagüeyes, notándose que el bloque del sector Managua – El Aserrío, delimitado por la falla F-II al sur y la falla F-IV (Río Colorado), se encuentra más levantado que los bloques que lo rodean, poniendo en contacto secuencias de arcillas y rocas con gran contenido arcilloso, de bajos Kf con secuencias carbonatadas de la formación Camazán, que impiden o dificultan la transmisividad entre los dos sectores hidrogeológicos.

En cuanto a la interferencia entre la zona Cabezuela y el nuevo sector, tampoco se producirá gran interferencia, debido a que la falla F-V dividió y desplazó el bloque de Pedernales, creando una frontera hidrogeológica, la cual separa la cuenca Cabezuela del nuevo sector. Esta hipótesis se corrobora con la perforación de la cala CMA-2, la cual cortó 55 m de lutitas, sefitas, margas con intercalaciones de conglomerados polimícticos en forma de lentes, con bajos coeficientes de filtración (0.12 m/día).

Quimismo de las aguas subterráneas.

En el área de estudio las aguas subterráneas se encuentran acumuladas en las rocas sedimentarias (calizas organógenas carsificadas), donde la composición química es dulce (0-0.7 g/l). Estas aguas se encuentran cercanas a sedimentos y rocas poco salinizadas (1-3 g/l), pero con bajos coeficientes de filtración, lo cual no permite que se movilicen de forma significativa durante la explotación de los pozos. (Tabla de quimismo y Plano N° 9).

Mineralización.

Por medio de la mineralización se caracterizan el contenido de aniones y cationes presentes en las aguas subterráneas. Sirve como parámetro clasificador de las mismas y en conjunto con otros elementos, para valorar de manera integral las aguas subterráneas.

Las aguas encontradas en los conglomerados tienen una mineralización de 0.6 g/l, mientras que en las calizas llegan hasta 1.0 g/l, clasificando en ambos casos como dulces.

De acuerdo a las normas dadas por el inversionista, estas deben ser aguas dulces, con mineralización de 0.5 g/l.

Análisis de PH.

El PH del área perspectiva tiene carácter básico, encontrándose entre 6.95 y 7.7, situándose los mayores valores hacia el norte (cala CMA-8). El mínimo valor se halla hacia el sur, en el pozo 388, con 6.9.

Estos valores se encuentran por debajo de las normas cubanas de potabilidad.

Análisis de los elementos químicos.

Cloruros

En el área de explotación de los pozos se encuentran los menores valores (menores de 100 mg/l), aumentando hacia el noroeste del área perspectiva, donde llegan hasta 150 mg/l y más, las normas cubanas de potabilidad establecen como valor admisible máximo 150 mg/l.

Carbonatos y bicarbonatos

Los valores de los bicarbonatos se encuentran entre 311 y 515 mg/l, encontrándose los mayores valores hacia la cala CMA-6 y el menor valor hacia la cala CMA-8. En los pozos de explotación el máximo alcanzado es de 415 mg/l, no se dan normas para este compuesto

Sulfatos

Los mayores valores de sulfatos se encuentran en la cala CMA-6, con 55 mg/l. Los menores valores se localizan en los pozos de explotación, donde el máximo valor es de 35 mg/l. Las normas cubanas admiten hasta 400 mg/l, por lo que las aguas subterráneas se encuentran favorablemente muy por debajo de las condiciones exigidas en este compuesto.

Nitratos

El contenido de nitratos aumenta hacia el noreste, donde alcanza valores de 80 mg/l. Los menores valores se encuentran en los pozos de explotación entre 35 y 53 mg/l. Las normas cubanas admiten un máximo de 35 mg/l.

Nitritos

Los mayores valores de estos elementos se encuentran hacia la cala CMA-8, donde son mayores de 0,5 mg/l, y hacia el Cruce de San Andrés, donde son mayores de 1.5 mg/l. Los menores valores se hallan en el pozo de explotación 313-A donde los valores son menores de 0.05 mg/l. Las normas cubanas exigen valores de 0 mg/l.

Calcio

Los mayores valores de calcio se encuentran en la cala CMA-3, con 102 mg/l y los menores valores en la cala CMA-9, con 40 mg/l. En los pozos de explotación el valor oscila entre 64 y 96 mg/l. Las normas cubanas para este elemento establecen como máximo admisible 150 mg/l.

Magnesio

Los mayores valores de magnesio se encuentran en la cala CMA-8, con 62 mg/l y el menor valor, se localiza en los pozos de explotación, donde oscila entre 19 y 24 mg/l, por lo que se encuentra muy por debajo de las normas cubanas que admiten como máximo 150 mg/l.

Sodio

Los mayores valores se encuentran en la cala CMA-6, con 186 mg/l. Los menores valores se encuentran en los pozos de explotación, donde oscilan entre 62 y 127 mg/l. Este elemento no sobrepasa los valores admisibles de las normas cubanas de potabilidad (200 mg/l).

Potasio

En las muestras de las calas realizadas oscilan entre 2 y 7 mg/l y en los pozos de explotación se encuentra en 2 mg/l, es decir, que es mínimo su contenido.

Análisis de la dureza.

Los mayores valores de la dureza se encuentran hacia la cala CMA-3, con 136 mg/l y los menores, hacia el sur del área, con menos de 100 mg/l en la zona de explotación de los pozos, por lo que las aguas, de acuerdo a la clasificación de Aliokin, se catalogan como aguas muy blandas.

Clasificación de las aguas por su dureza, según Aliokin.

<u>Tipo de aguas</u>	<u>Dureza (mg-eg/l)</u>
Aguas muy blandas	< = 1,5
Aguas blandas	1,5-3

Aguas relativamente duras	3-6
Aguas duras	6-9
Aguas muy duras	>9

Clasificación de las aguas.

Clasificación por la fórmula de Kurlov.

Las aguas predominantes dentro del área perspectiva para la explotación, es decir, la facie carbonatada de la formación Camazán, son las aguas hidrocarbonatadas-cloruradas, sódicas-cálcicas.

Clasificación por la fórmula de Aliokin.

De acuerdo a la clasificación según Aliokin, las aguas son hidrocarbonatadas-cálcicas del grupo 1, las que predominan, tanto en las calas como en los pozos de explotación.

Contaminación.

Después de realizados los trabajos de perforación rotaria, se comprobó la existencia en el área de una capa impermeable de margas y eluvio calcáreo de unos 7 a 10 m, sobre las calizas agrietadas, donde se encuentra acumulada el agua subterránea.

También se realizó una encuesta entre los habitantes de la zona donde manifestaron que la construcción de las letrinas sanitarias solo se hacían a unos 3 m de profundidad en la roca blanda, es decir, que no llegaban a las calizas organógenas agrietadas.

Mediante el estudio de los resultados obtenidos de las muestras tomadas, tanto a pozos criollos de los campesinos, a las calas y los pozos de explotación, se llegó a la conclusión de que el acuífero no está tan contaminado como inicialmente se pensó y que la contaminación existente se presenta como un fenómeno local en el pozo No. 388, el cual se encuentra destapado y en la cala CMA-6 por estar cercana al arroyo La Ceiba.

Además se pudo comprobar que con la explotación de los pozos se reducen grandemente las concentraciones de bacilos coli, nitratos y nitritos. Estos últimos llegando al valor de cero.

*** Resultados del cálculo hidrogeológico.**

➤ **VARIABLE LLUVIA.**

La lluvia real, mensual y anual se obtuvo a partir de los pluviómetros 817, localizados en las coordenadas Norte: 247.8 Este: 545.3. Determinándose la distribución interanual de las lluvias conforme a la probabilidad de ocurrencia. Tabla # 1.

Tabla # 1 Distribución de las precipitaciones por meses													
P%	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
25	36	29	30	56	197	182	97	138	183	156	76	27	1207
Medi a	32	25	26	50	175	161	86	122	162	138	67	24	1068
75	28	22	22	43	150	138	74	105	139	119	58	21	919
95	22	18	18	35	122	112	60	85	113	96	47	17	745

Del análisis de los datos de lluvia, obtuvimos que la media anual en el periodo de cálculo (1991-2002), es de 1098 mm; alrededor de la media según la distribución interanual de las precipitaciones.

En el período comprendido, la lluvia estuvo alrededor de la media histórica en los años 1991, 1994, 1998, 1999, 2000, 2001, alrededor del 25% en el año 1996, y del 75 % en los años 1993, 1995 y 1997, y alrededor del 95% en el año 1992.

Tabla # 2 Lluvia medida en mm en el pluviómetro 817.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Total
1991	0	0	31	61	300	132	81	153	87	70	120	103	1138
1992	0	51	0	31	177	199	32	76	128	130	39	0	862
1993	92	0	62	47	358	61	31	91	77	112	105	6	1042
1994	50	73	0	55	249	90	95	54	182	124	98	0	1070
1995	59	9	29	17	111	92	199	143	152	55	91	39	996
1996	37	56	26	142	180	241	125	88	236	60	129	0	1319
1997	23	0	0	27	66	143	162	254	98	116	65	43	997
1998	0	60	54	0	254	221	63	193	247	19	35	6	1151
1999	122	19	6	42	143	263	71	150	148	81	125	16	1186
2000	25	52	43	65	20	101	99	127	259	206	7	182	1185
2001	37	7	46	134	216	70	118	181	127	139	34	25	1133
Prom	21	7	33	0	105	160	185	199	158	59	183	18	1098

➤ **VARIABLE NIVEL.**

Los niveles de las aguas subterráneas se obtuvieron del punto de observación 388 ubicado en la zona de estudio con serie histórica de 12 años (válida la información), observamos que el nivel mínimo se registró en el mes de noviembre de 1998 con un valor de 7.83 m, el valor máximo en el mes de abril de 1993 con 10.23 m para una variación de carga de 2.40 m y el nivel medio 8.75 m.

El comportamiento de los niveles en el año 2000; sus valores fueron los más profundos con un promedio anual de 9.26 m, observándose en la tabla # 3.

Tabla # 3 Datos de nivel en profundidad al agua del pozo 388-4978-IV.

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
1991	8.18	8.20	8.33	8.90	8.67	8.45	8.11	8.10	8.20	8.01	8.85	8.20	8.35
1992	8.36	8.27	8.53	8.56	8.55	8.63	8.64	8.56	8.53	8.68	8.85	8.94	8.59
1993	8.98	9.10	9.12	10.23	8.85	8.59	8.40	8.30	8.36	8.40	8.25	8.36	8.75
1994	8.42	9.27	8.78	8.86	8.90	8.75	8.58	8.57	8.49	8.60	8.55	8.58	8.70
1995	8.53	8.65	8.74	8.97	9.10	9.28	9.12	8.99	8.86	8.65	8.44	8.40	8.81
1996	8.28	8.38	8.40	8.75	8.62	8.46	8.40	8.34	8.33	8.37	8.42	8.26	8.42
1997	8.55	8.58	8.59	8.70	8.85	8.78	9.00	8.98	9.40	8.89	8.54	8.55	8.78
1998	8.63	8.71	8.69	8.83	8.97	8.77	8.64	8.57	8.12	7.91	7.83	7.91	8.47
1999	8.12	8.24	8.45	8.63	8.88	8.78	8.90	8.93	8.95	9.00	8.92	8.79	8.72
2000	8.70	8.80	9.00	9.06	9.26	9.35	9.39	9.55	9.70	9.48	9.38	9.40	9.26
2001	9.30	9.42	9.52	9.56	9.53	9.54	9.55	9.51	9.48	9.22	9.16	9.22	9.42
Prom	8.55	8.69	8.74	9.00	8.93	8.85	8.79	8.76	8.77	8.66	8.65	8.60	8.75

➤ **VARIABLE EXPLOTACIÓN.**

Los volúmenes de extracción de la zona se obtuvieron de la información brindada por los pozos 474; granja XXX Aniversario, 223-189; Granja Oscar Ortiz, Organopónico, Comunidad 4 Caminos-La Ceiba. Pozo 313^a; Porcino Tomí, pozo 484; Granja Avícola. XIII Aniversario, XIV de Junio válida en el periodo 1997-2001.

La explotación media registrada es de 0.215 Hm³/año para todo el período, las mayores extracciones se produjeron en los años 2000-2001; 0.302 Hm³/año como promedio.

Tabla # 4 Explotación mensual en Hm3																
Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual			
1997	0.015	0.012	0.013	0.011	0.013	0.020	0.011	0.007	0.008	0.012	0.013	0.010	0.145			
1998	0.014	0.008	0.007	0.011	0.013	0.005	0.002	0.000	0.010	0.011	0.011	0.013	0.105			
1999	0.026	0.026	0.021	0.022	0.021	0.021	0.027	0.022	0.023	0.024	0.017	0.015	0.265			
2000	0.015	0.011	0.017	0.023	0.017	0.025	0.021	0.024	0.028	0.025	0.027	0.028	0.260			
2001	0.029	0.022	0.031	0.024	0.023	0.022	0.023	0.023	0.023	0.022	0.028	0.030	0.302			
Total	0.098	0.079	0.089	0.091	0.087	0.093	0.084	0.076	0.091	0.094	0.097	0.097	0.302			

Parámetro:

- **Magnitudes del balance interno del acuífero.**

Esta variable plantea la determinación directamente del gasto o escurrimiento medio hiperanual (recursos naturales) y/o la evaluación de distintas variables y parámetros, para obtener un gasto o recurso de explotación, que es lo que necesitamos en definitiva.

Con el programa GCBAS nos dimos a la tarea, previa introducción de los datos nivel, lluvia y explotación, obtener el gráfico combinado de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas, histograma de las lluvias, y extracción en función del tiempo en el intervalo 1991 – 2002 **grafico # 1**, la tabla de los elementos de balance de las aguas subterráneas, la lluvia efectiva(LLe), coeficiente de alimentación del acuífero (α), lámina de alimentación del acuífero(W) y entrega de agua (μ) tabla #5.

Tabla # 5 Principales magnitudes de balance del horizonte acuífero; en m									
Año	Δh (m)	ΔZh(m)	ΔZs(m)	ΔH(m)	ΔZ(m)	LL"(mm)	α(adim.)	W(m)	μ(adim.)
1991	0.89	1.22	0.63	2.11	1.85	823	0.24	0.20	0.0948
1992	0.11	0.09	1.7	0.2	1.79	741	0.02	0.02	0.1
1993	1.98	0.69	0.65	2.67	1.34	835	0.3	0.25	0.0936
1994	0.41	0.62	0.79	1.03	1.41	794	0.12	0.10	0.0971
1995	1.00	0.40	0.47	1.4	0.87	752	0.17	0.13	0.0929
1996	0.49	1.06	0.74	1.55	1.8	1201	0.12	0.15	0.0968
1997	0.46	0.31	0.43	0.77	0.74	839	0.09	0.07	0.0909
1998	1.14	0.35	1.1	1.49	1.45	996	0.14	0.14	0.094
1999	0.23	0.82	0.85	1.05	1.67	856	0.11	0.10	0.0952
2000	0.25	0.62	0.50	0.87	1.12	812	0.1	0.08	0.092
2001	0.40	0.64	0.61	1.04	1.25	985	0.1	0.10	0.0962
2002	0.22	0.21	0.22	0.43	0.43	866	0.05	0.04	0.093
PROM.	0.63	0.59	0.72	1.22	1.31	875.00	0.13	0.12	0.0945

W = lámina de alimentación

$$\Delta H = \frac{\sum (\Delta h + \Delta Zh)}{\Delta t} ; \Delta Z = \frac{\sum (\Delta Zh + \Delta Zs)}{\Delta t}$$

Elementos Representativos de la Acuosidad del Medio Acuífero

Contando con el valor de μ y los elementos de balance (tabla # 5) calculados por el programa G C B A S pasaremos a estimar las recargas y la descargas anuales de las aguas subterráneas para el periodo 1990-2002.

Especificando que:

$$\text{Recarga} = \mu \cdot \Delta H \cdot F$$

$$Q_m = \mu \Delta \bar{H} F$$

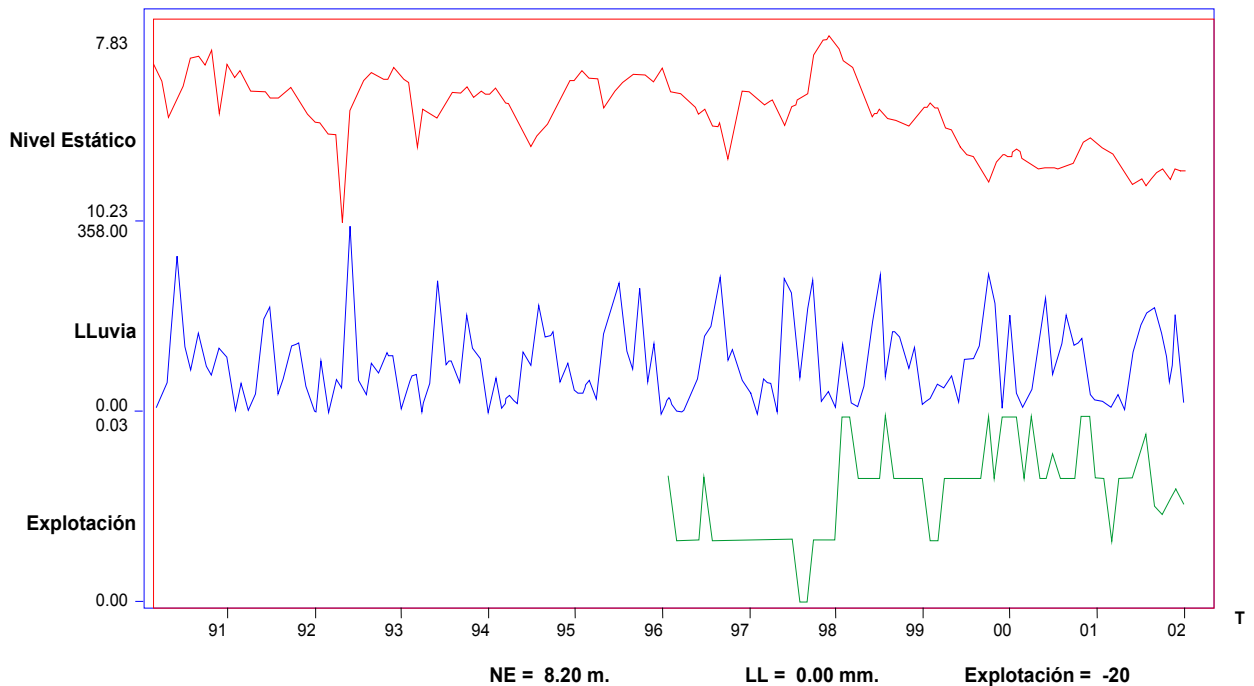
$$\text{Descarga} = \mu \cdot \Delta Z \cdot F$$

$$Q_m = \mu \Delta Z F$$

Tabla # 6. Comportamiento de la recarga descarga en el período 1991- 2002.

Año	(μ =0.09)	ΔH (m)	Recarga (Hm ³)	ΔZ (m)	Descarga (Hm ³)	Recarga (L/seg)	Descarga (L/seg)
1991		2.11	0.984	1.85	0.8625	31.19	27.35
1992		0.2	0.093	1.79	0.8345	2.96	26.46
1993		2.67	1.245	1.34	0.6247	39.47	19.81
1994		1.03	0.48	1.41	0.6573	15.23	20.84
1995		1.40	0.653	0.87	0.4056	20.70	12.86
1996		1.55	0.723	1.80	0.8392	22.91	26.61
1997		0.77	0.359	0.74	0.345	11.38	10.94
1998		1.49	0.695	1.45	0.676	22.03	21.44
1999		1.05	0.49	1.67	0.7786	15.52	24.69
2000		0.87	0.406	1.12	0.5221	12.86	16.56
2001		1.04	0.485	1.25	0.5828	15.37	18.48
2002		0.43	0.2	0.43	0.2005	6.36	6.36
PROM.		1.22	0.57	1.31	0.61	18.00	19.37

Figura 1. Gráfico combinado de las precipitaciones, los niveles y la explotación. (Gráfico para relacionar el comportamiento tempo – espacial de las variables LLe y ΔH . Gráfico # 1. LLe vs. ΔH).



Sé ploteó la lluvia efectiva (LLe); tabla # 5; es la que produce alimentación del acuífero como variable independiente (X). Y los valores de ΔH (altura total aparente correspondiente a la alimentación del acuífero), (m), sus valores aparecen en dicha tabla como variable dependiente (Y), a partir de los puntos (LL', ΔH) se obtiene la ecuación de correlación siguiente:

$$y = 0.00107 * LLe + 0.27703$$

Parámetros de cálculos.

▪ **Trasmisividad (T):**

Fue calculada teniendo en consideración la potencia acuífera y el coeficiente de filtración con valor de 160 m²/día.

▪ **Gradiente Hidráulico (I):**

Por mapa de hidroisohipsas de la Zona (abril-2003), donde se determinó un valor de 0.0124.

▪ **Ancho medio del área de la sección transversal perpendicular al flujo (B):**

Se obtuvo del mismo mapa de hidroisohipsas e igual a 1000 m.

▪ **Potencia acuífera promedio (Hm):**

Según estudios la potencia está alrededor de 40.00 m.

➤ **Cálculo de los recursos naturales:**

I. Según Binderman:

$$1. Q_n = \mu \frac{\sum (\Delta h + \Delta z)}{\Delta t} \cdot F$$

μ coef. Almacenamiento. 0.09
Δh recarga neta anual. Tabla # 6
Δz descarga anual. Tabla # 6
F área de la cuenca. 5.18 Km ²
Q recursos anuales de las aguas subterráneas. Tabla # 6
μ coef. Almacenamiento. 0.09

Tabla # 7. Cálculo de los Recursos Naturales por el método de Binderman.

AÑO	Δh (m)	ΔZh (m)	Δh+ΔZh (m)	Q (Hm³)
1991	0.89	1.22	2.11	1.2023
1992	0.11	0.09	0.20	0.1140
1993	1.98	0.69	2.67	1.5214
1994	0.41	0.62	1.03	0.5869
1995	1.00	0.40	1.40	0.7977
1996	0.49	1.06	1.55	0.8832
1997	0.46	0.31	0.77	0.4387
1998	1.14	0.35	1.49	0.8490
1999	0.23	0.82	1.05	0.5983
2000	0.25	0.62	0.87	0.4957
2001	0.40	0.64	1.04	0.5926
2002	0.22	0.21	0.43	0.2450
PROM.	0.63	0.59	1.22	0.6937

Según la infiltración de las precipitaciones:

<p>Donde: $Q_n = \alpha \cdot LLe \cdot F$</p> <p>$\alpha$, coeficiente de infiltración, en módulo</p>
<p>LLe, lluvia efectiva media anual, en mm</p>
<p>F , área de la cuenca o zona de cálculo, en Km²</p>

Tabla # 8. Cálculo de los Recursos Naturales por el método de Infiltración de las precipitaciones.

AÑO	LLe (mm)	α (adim.)	Q (Hm³)
1991	0.823	0.29	1.3843
1992	0.741	0.03	0.1289
1993	0.835	0.36	1.7435
1994	0.794	0.15	0.6908
1995	0.752	0.21	0.9159
1996	1.201	0.15	1.0449
1997	0.839	0.1	0.4866
1998	0.996	0.17	0.9821
1999	0.856	0.14	0.6951
2000	0.812	0.12	0.5652
2001	0.985	0.12	0.6856
2002	0.866	0.06	0.3014
PROM.	0.875	0.16	0.7176

Según el Módulo de Escurrimiento Subterráneo.

$$Q = 86,4 * Mo * F * 365$$

Donde:

Mo = Módulo de escurrimiento subterráneo, en l/seg /Km²

$$Mo = W * 0,0317$$

W = recarga o alimentación al acuífero, en mm

$$W = \mu \Delta H$$

Tabla # 9. Cálculo de los recursos naturales según el Módulo del escurrimiento subterráneo.

AÑO	ΔH (mm)	W (mm)	Mo (l/seg/Km2)	Q (m³/año)
1991	2110	232.1	7.36	1201907
1992	200	22	0.70	113925
1993	2670	293.7	9.31	1520896
1994	1030	113.3	3.59	586713
1995	1400	154	4.88	797474
1996	1550	170.5	5.40	882917
1997	770	84.7	2.68	438611
1998	1490	163.9	5.20	848740
1999	1050	115.5	3.66	598105
2000	870	95.7	3.03	495573
2001	1040	114.4	3.63	592409
2002	430.00	47.3	1.50	244938
PROM	1217.50	133.93	4.25	693517

Recursos naturales para las diferentes probabilidades de lluvia.

%	LL (mm)	Lle (mm)	ΔH (m)	Recursos Naturales (Qn) (Hm ³)/Año	Recursos Naturales L/seg	W (mm)	∂ (adim)
25	1207	989	1.34	0.760759	24	0.14	0.14
Prom.	1068	875	1.21	0.691327	22	0.13	0.15
75	919	753	1.08	0.616900	20	0.12	0.15
95	745	610	0.93	0.529986	17	0.10	0.16

Cálculo de los recursos de explotación

$Q_e = Q_n + \alpha \frac{V_n}{t}$
Donde: $V_n = \mu V_0$
Qn, reservas naturales totales, (m ³ /día)
V ₀ , volumen de la capa o bloque a evaluar, (Mm ³)
α , coeficiente de almacenamiento o porosidad efectiva, adimensional
μ , coeficiente de aprovechamiento de la reservas, 0.5
t, tiempo de explotación de la toma, propuesto, 25 años
Q _e , recurso de explotación anual, en Hm ³

Recursos de explotación para las diferentes probabilidades de lluvia.

%	LL (mm)	Recursos Naturales (Qn) (m³/día)	Volumen del acuífero (Vo) (Mm3)	Reservas Naturales (Vn) (Mm3)	Recursos de Explotación (Qe) m3/ día	Recursos de Explotación (Qe) L/ seg	Recursos de Explotación (Qe) Hm³/Año
25	1207	1705.312038	207200000	22128960	2917.857792	33.8	1.065018
Prom	1068	1549.674346			2762.220099	32.0	1.008210
75	919	1382.839697			2595.385451	30.0	0.947316
95	745	1188.012658			2400.558411	27.8	0.876204

CONCLUSIONES.

- Por los datos de paleontología y el análisis tectónico-sedimentario realizado, en la zona de estudio afloran hacia el sur las Formaciones Jagüeyes ($n_2 - n_5$) y Júcaro ($n_6 - n_7$), las cuales no habían sido reportadas. En trabajos anteriores se habían considerado ambas dentro de la Fm. Camazán. Las principales estructuras disyuntivas presentes en la zona son las fallas plano verticales **F-I, F-II, F-III y F-IV**, constituyendo las 3 últimas importantes fronteras geólogo-hidrogeológicas. La F-I a pesar de ser de un orden superior en profundidad y magnitud, no constituye una frontera hidrogeológica. Las calizas de la Fm. Camazán desaparecen bruscamente hacia el sur de la zona en el límite de la falla **F-II**, no habiendo comunicación acuífera en esa dirección. En la parte superior de las rocas de la formación Camazán existe una capa eluvial de 7 a 10 metros de potencia, no favorable para la infiltración de las precipitaciones atmosféricas, pero sí favorable para evitar la contaminación.

- El área perspectiva para las aguas subterráneas en cantidad y calidad con fines de abasto a la fábrica de cerveza, se localiza en las calizas organógenas agrietadas de la formación Camazán y en los conglomerados del miembro Pedernales de la propia formación, específicamente en el cuadrante representado por las coordenadas siguientes:

Norte		Este	
244 500	246 500	542 500	546 500

- La fuente de alimentación principal de las aguas subterráneas son las precipitaciones atmosféricas. La circulación fundamental de las aguas subterráneas es a través de las fallas, las que favorecen la acumulación dentro de las calizas organógenas agrietadas. En menor medida circulan por poros y grietas. En la parte norte de la zona, de donde proviene la alimentación, el movimiento predominante de las aguas subterráneas es de noreste a suroeste y en dirección a la zona de falla (**F-II**).

- El acuífero en el área es freático. Los niveles estáticos se encuentran entre 7.83 y 10.23m. Los parámetros hidrogeológicos medios en el área perspectiva son: $T = 280 \text{ m}^2/\text{día}$, $K = 7 \text{ m/día}$, $A_y = 3500 \text{ m}^2/\text{día}$, $\mu = 0.08$.
- Las aguas se clasifican como dulces, oscilando entre 0.7 y 1.0 g/l. Según la clasificación de Kurlov, las aguas subterráneas son hidrocarbonatadas-cloruradas – sódicas cálcicas en la formación Camazán. La dureza total en los pozos de explotación es menor de 100 mg/l, según la clasificación de Aliokin, son aguas muy blandas. Según la clasificación de Aliokin, las aguas subterráneas son hidrocarbonatas cálcicas del grupo I. Las concentraciones de nitritos y de bacilos coli al efectuarse el bombeo de los pozos disminuyen considerablemente. En el caso de los nitritos, hasta menor de 0.05 mg/l, y en el de los bacilos, menor de 3 ppm.
- Los recursos de explotación son de 28 l/s ($0.87 \text{ Hm}^3/\text{año}$). Como resultado del cálculo fueron evaluados los recursos naturales (Q_n) y de explotación (Q_e) de las aguas subterráneas en la Zona conforme a la probabilidad de ocurrencia de lluvias especificándose que para una probabilidad de un 95%(muy seco), los Recursos Naturales ascienden a $0.529986 \text{ Hm}^3/\text{Año}$ (17 L/seg.) y los Recursos de Explotación para dicha probabilidad a $0.972565 \text{ Hm}^3/\text{Año}$ (30.8 L/seg.).
- Se obtuvo el grafico Control de Balance de las aguas subterráneas (G.C.B.A.S.) a partir del cual se controlarán los parámetros del ciclo Hidrológico y las extracciones en la zona Managua-El aserrío y se estimarán al final del período húmedo los recursos a explotar para el año venidero. En la Zona se controlan cinco pozos de abasto a objetivos económicos y sociales, cuyos volúmenes de extracción restringido ascienden a $0.346896 \text{ Hm}^3/\text{Año}$ (11 L/seg.), que se encuentran contenidos dentro de los Recursos evaluados.

RECOMENDACIONES.

- Realizar observaciones sistemáticas mensuales de los niveles y calidad de las aguas en las calas que se dejaron preparadas para este fin.⁽²⁾

- Pueden ampliarse los recursos de las aguas subterráneas en caso de ser necesario hacia el este de la zona investigada. También es posible lograr este objetivo, investigando la zona de Güirabo-Certeneja, propuesta inicialmente en la oferta hecha al cliente.

- Para pasar a recursos en categoría superior (A), deberán solicitarse investigaciones complementarias.

- Debe hacerse un estudio de las fuentes de contaminación, que puedan afectar al acuífero.⁽³⁾

- La fuente de abasto debe situarse en las calizas, dentro de la zona de influencia de la falla **F-II** y entre el pozo 313-A y la cala CMA-5.

- Según el G.C.B.A.S el acuífero presentó una situación desfavorable el año 2000 y 2001, situándose el nivel real por debajo de las entregas normales por lo que se hace necesario una comprobación de gastos en los pozos de abasto existentes.

- Los volúmenes de extracción autorizados para cada año hidrológico deben estar en dependencia de los recursos de explotación evaluados al finalizar el periodo húmedo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACC (1989): Nuevo Atlas Nacional de Cuba. C. Habana.
2. ANTÓNOV V.V.- Búsqueda y exploración de las aguas subterráneas. San Petersburgo, Edit. L.G.I., 1984
3. KRÄINOV. S. R, SHVIETS U. M.- Geoquímica de las aguas para uso potable-social, Moscú, Edit. Niedra, 1987.
4. KIRIÜXIN V. A, TOLSTÏXIN N. I.- Hidrogeología regional, Moscú, Edit. Niedra, 1987.
5. Colectivo de Autores- Elaboración de Métodos para la óptima utilización y reposición artificial de las aguas subterráneas, Minsk, Edit. CAME, 1985.
6. ACC, MINBAS (1983): Contribución a la Geología de Cuba Oriental. C. Habana.
7. Batista J. C. (2000): Informe de trabajos realizados en el área de los pozos de la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A, por la situación de emergencia en el abasto de agua.
8. Bazán Mayda (1989): Estudio de los pozos para abasto a la fábrica de cerveza "Mayabe". E.I.P.H. Holguín.
9. CAME-Holguín. Resumen para publicar.
10. Colectivo de autores. IGP (1991): Léxico estratigráfico. En soporte magnético. C. Habana.
11. Curso internacional (1997): Contaminación de las aguas subterráneas. I.S.M.M. Moa.
12. De miguel Constantino (1997): Caracterización Hidrogeológica de la Provincia Holguín. E.I.P.H. Holguín.
13. De miguel Constantino (1999): Hidrogeología aplicada. Editorial Félix Varela, C. Habana.
14. De Wiast, Roger J.M. y Davis, Stanley N. (19): Hidrogeología.
15. Fuentes María M. Y Cabrera B., Aleyda (2003): Cálculo de los recursos de las aguas subterráneas por el método de balance de la zona Managua-El Aserrío para

- el abasto a la fábrica de Cerveza Bucanero S.A. Dpto. Investigaciones Aplicadas. E.I.P.H.H.
16. Kondjasili F. H (1999): Reevaluación de reservas de explotación de las aguas subterránea del tramo Los Arroyos. T.D.
 17. Leyva Rivas V. (2002): P(11)-1.01-10. Procedimiento que define el alcance y contenido de los programas de las investigaciones aplicadas.
 18. Llorens Borges C. (1984): Estudios hidrogeológicos para el abasto de agua a la Fábrica de Cerveza de Holguín. E.I.P.H. Holguín.
 19. Llorens Borges C. (1984): Informe hidrogeológico complementario al estudio del Tramo "Los Arroyos". E.I.P.H.H.
 20. Llorens Borges C. (1988): Estudio hidrogeológico en la cuenca Maceo-San Germán. E.I.P.H. Holguín.
 21. Llorens Borges C. (1990): Investigación hidrogeológica de la cuenca Arroyo Blanco. E.I.P.H. Holguín.
 22. Llorens Borges C. (1999): Evaluación de los recursos de aguas subterráneas en el área de los pozos de la Fábrica de Cerveza con la utilización del método del gráfico de control del balance. E.I.P.H.H.
 23. Llorens Borges C. et al (2002): Investigaciones hidrogeológicas de la nueva zona Managua-El Aserrío para el abasto a la Fábrica de Cerveza Bucanero S.A. E.I.P.H.H.
 24. MACNOR. NC 51-24:84. Investigaciones Ingeniero Geológicas. Mapas Ingeniero Geológicos. Procedimiento para su elaboración. C. Habana.
 25. Pentelényi, Laszlo y Garcés Leyva, Enrique. (1988). Informe Final Sobre los Resultados del Levantamiento Geológico Complejo y Búsquedas Acompañantes a Escala 1:50 000 en el Polígono IV-CAME-Holguín, 1983-1988.
 26. Peña González D, Llorens Borges C. y Dussac Orlando (2002): Programa de investigaciones hidrogeológicas de la nueva zona Managua-El Aserrío para el abasto a la Fabrica de Cerveza Bucanero S.A.
 27. Peña González D. (2001). P(11)-2.01-01. Procedimiento para la confección de un informe hidrogeológico.

28. Peña González D. (2002). P(11)-2.01-02. Procedimiento para la ejecución de un estudio hidrogeológico.
- 29.** Peña González D. (2002). P(11)-2.01-03. Procedimiento para la elaboración y revisión de los estudios hidrogeológicos.
30. Pérez R. Leticia y otros. GER-CITEC (2000): Estudio geólogo-tectónico por teledetección y procesamiento de imágenes. Cuenca Los Arroyos. Archivo Técnico E.I.P.H. Holguín.
- 31.** Plaza, Ibrahím-Barros, Osvaldo y Guerra Oliva, Mario. (1994) Criterios metodológicos para delimitación de los nuevos límites de las cuencas, tramos y zonas hidrogeológicas de la provincia Holguín, escala 1:250 000.
32. Rodríguez García Roger (1977): Informe Hidrogeológico. Evaluación de reservas de explotación. Tramo Cabezuela.
- 33.** Tapia Basterrechea M. E. (1999): Breve caracterización geológica del Polígono IV,