



**REPUBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA  
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”  
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA  
DEL SECTOR EL LIMÓN NUEVO DEL SISTEMA VETÍTICO  
ORO JACINTO.**

**Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Geólogo**

**Autor: Dayanet Hernández Pampín**

**Tutores: MSc. Yexenia Viltres Milán  
Ing. Francisco Rodríguez Elías**

**Moa, julio del 2017  
“Año 58 de la Revolución”**



<b>INDICE</b>	<b>Pag.</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo I: Características Físico-Geográficas, Económicas y Geológicas de la Región y el Área de Estudio. ....</b>	<b>13</b>
1.1. Introducción.....	13
1.2. Localización. ....	13
1.3. Infraestructura. ....	14
1.4. Geomorfología. ....	15
1.5. Clima. ....	16
1.6. Hidrografía. ....	17
1.7. Características geológicas de la región. ....	17
1.8. Características geológicas del yacimiento. ....	20
1.9. Tectónica.....	25
<b>Capítulo 2: METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.....</b>	<b>27</b>
2.1. Introducción.....	27
2.2. Perforación de pozos hidrogeológicos.....	27
2.3. Observaciones hidrogeológicas durante la perforación. ....	28
2.4. Bombeos para la descolmatación de pozos. ....	30
2.5. Mediciones del nivel.....	30
2.6. Bombeos de prueba.....	31
2.7. Observaciones del régimen. ....	35
2.8. Observaciones hidrogeológicas en el pozo minero y galería.....	36
2.9. Muestreo hidroquímico.....	38
2.10. Búsqueda de datos de las precipitaciones.....	39
2.11. Utilización de sistemas automatizados. ....	39
<b>Capítulo 3. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS TRABAJOS HIDROGEOLÓGICOS.....</b>	<b>40</b>
3.1. Introducción.....	40
3.2. Observaciones hidrogeológicas durante la perforación de pozos hidrogeológicos. ....	40
3.3. Bombeos para la descolmatación de pozos. ....	43
3.4. Bombeos de prueba.....	43

3.4.1. Cálculo de los parámetros de filtración. ....	45
3.6. Resultados de las observaciones hidrogeológicas en el pozo minero y galería. ....	54
3.7. Composición química de las aguas subterráneas. ....	54
3.8. Precipitaciones. ....	57
3.9. Afluencias de agua al desarrollo minero estimadas. ....	58
3.9.1. Cálculo de las afluencias de aguas subterráneas. ....	58
3.9.2. Cálculo de las afluencias de agua por las precipitaciones. ....	62
3.9.3. Cálculo de las afluencias totales. ....	63
3.10. Condiciones hidrogeológicas del yacimiento. ....	64
3.11. Posibilidades de abasto de agua. ....	65
<b>CONCLUSIONES. ....</b>	<b>67</b>
<b>RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO GRÁFICO. ....</b>	<b>71</b>

## **INTRODUCCION.**

En Cuba existe un programa de desarrollo para la prospección de oro que pretende evaluar diferentes yacimientos de este preciado mineral para su explotación y producción a corto mediano y largo plazo, el cual es ejecutado por el Ministerio de Energía y Minas con el Grupo Empresarial GeoMinsal y sus Empresas Geomineras del país.

Como parte del intercambio entre los países del ALBA, se creó una colaboración entre Cuba y Venezuela para el financiamiento de diferentes proyectos, entre ellos de oro, que en la actualidad tiene altos precios en el mercado internacional, lo que constituye una oportunidad para elevar los índices económicos del país. Entre estos proyectos, se encuentra la exploración del Sistema Vetítico Oro Jacinto, ubicado en la provincia de Camagüey.

El proyecto Oro Jacinto abarca tres sectores principales con sistemas de vetas auríferas conocidos como "El Limón Nuevo", "Beatriz" y "Sur Elena", los cuales se están estudiando por separado y se ejecutan diferentes métodos de investigación geológica para definir los recursos minerales existentes y las condiciones técnico-mineras para su explotación, así como la tecnología más óptima para su procesamiento.

El presente Trabajo de Diploma forma parte de las investigaciones que se realizan, el mismo tiene como objetivo, esclarecer las condiciones hidrogeológicas del sector "El Limón Nuevo", para lo cual, se han ejecutado un complejo de métodos de investigaciones hidrogeológicas que han permitido conocer el grado de complejidad en el yacimiento desde este punto de vista, llegando a conclusiones esclarecedoras de la situación actual, con las consiguientes recomendaciones para una eficiente explotación de este sector.

El trabajo fue realizado en la Empresa Geominera Camagüey con la asesoría de especialistas en estas actividades.

Por ello la presente investigación titulada: “**Evaluación Hidrogeológica del Sector El Limón Nuevo del Sistema Vetítico Oro Jacinto**”, se plantea la siguiente **problemática**:

El insuficiente conocimiento de los parámetros hidrogeológicos dentro del sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Oro Jacinto para evaluar su comportamiento en la futura explotación del mismo.

Como **objeto de estudio** se analiza el sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Oro Jacinto.

**Objetivo General:** Evaluar los parámetros hidrogeológicos del yacimiento para conocer la afluencia total de las aguas subterráneas, así como la composición química, que permitan valorar la factibilidad económica de su explotación.

**Objetivos específicos:**

- Determinar la cantidad de agua que penetra al yacimiento.
- Determinar la composición química de las aguas subterráneas.
- Calcular los parámetros hidrogeológicos en el yacimiento.

**Hipótesis:** Si se determina la cantidad de agua que penetra al yacimiento, la composición química de las aguas subterráneas y se calculan los parámetros hidrogeológicos entonces se podrá evaluar las características hidrogeológicas del yacimiento para determinar si es factible su explotación.

## **Marco teórico conceptual.**

### **Conceptos fundamentales:**

**La Hidrogeología** es la ciencia de las aguas subterráneas que estudia el origen y la formación de estas, las formas de yacencia, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y las rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas, así como las condiciones que determinan las medidas para su aprovechamiento, regulación y evacuación.

La Hidrogeología mantiene estrecho contacto con muchas disciplinas geológicas (litología, tectónica, geomorfología, mineralogía, etc.) y constituye al mismo tiempo una rama de la hidrología en el sentido amplio de la palabra, ya que el objeto de su investigación es la componente subterránea de la hidrosfera, única de la Tierra. La geología e hidrología empalmadas son dos fuentes originarias de la hidrogeología. Además, la ciencia de las aguas subterráneas se relaciona con toda una serie de disciplinas científicas como la física, química, meteorología, hidráulica, edafología, geofísica, etc.

La Hidrogeología se halla estrechamente relacionada con diversas ramas de la economía como el abastecimiento de agua, bonificación del terreno, construcción de obras hidráulicas y obras industriales, minería, etc.

**El agua subterránea** representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Esta se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra. El volumen del agua subterránea es mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de km<sup>2</sup> (como el acuífero guaraní). El agua del subsuelo es un recurso importante y de este se abastece una tercera parte de la población mundial, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la contaminación y a la sobreexplotación.

Es una creencia común que el agua subterránea llena cavidades y circula por galerías. Sin embargo, no siempre es así, pues puede encontrarse ocupando los

intersticios (poros y grietas) del suelo, del sustrato rocoso o del sedimento sin consolidar, los cuales la contienen como una esponja. La única excepción significativa, la ofrecen las rocas solubles como las calizas y los yesos, susceptibles de sufrir el proceso llamado karstificación, en el que el agua excava simas, cavernas y otras vías de circulación, modelo que más se ajusta a la creencia popular.

Las aguas subterráneas al circular por la corteza terrestre participan en los procesos geológicos, disolviendo compuestos minerales, evacuándolos a los océanos ya las regiones endógenas de la tierra, pasando al estado de constitución de muchos cuerpos minerales. Muchas propiedades físico-mecánicas, hídricas y térmicas de las rocas se hallan condicionadas por el contenido en ellas de aguas de origen y composición química diferentes. El agua participa en los procesos de magmatismo, litogénesis y metamorfismo, ejerce gran influencia en los campos gravitacional, magnético y eléctrico de la tierra. Es un solvente natural complejo y dinámico, un fuerte catalizador, participa en reacciones químicas y bioquímicas, así como en la transferencia de calor, sustancia orgánica, gases y elementos químicos.

### **Principales problemas que resuelve la Hidrogeología:**

- Prospección de fuentes y organización del abastecimiento de aguas subterráneas dulces a las concentraciones urbanas, agricultura e industrias.
- Solución de problemas hidrogeológicos relacionados con el riego de las tierras en regiones áridas y con la desecación de suelos demasiado humectados.
- Prospección para la construcción de obras hidráulicas.
- Exploración y evaluación de los yacimientos de aguas minerales utilizadas para fines curativos y envasados para beber.
- Búsqueda, exploración y evaluación de yacimientos de aguas industriales como materia prima para la obtención de yodo, bromo, boro, litio, estroncio, etc.

- Exploración y evaluación de la rentabilidad de aprovechamiento de las aguas termales para fines de calefacción y construcción de centrales eléctricas geotérmicas.
- Aseguramiento de las labores mineras pronosticando el flujo de agua a las excavaciones y determinación de la agresividad de estas aguas a las construcciones y equipos.
- Búsqueda de yacimientos minerales por métodos hidrogeoquímicos.
- Búsqueda radiohidrogeológica de materia prima atómica y solución de los problemas de aprovechamiento de las aguas radiactivas.

## CICLO HIDROLOGICO



Fig. No. 1. Ciclo hidrológico del agua.

El ciclo hidrológico o ciclo del agua es el proceso de circulación del agua entre los distintos compartimientos de la hidrósfera. Se trata de un ciclo biogeoquímico en el



que hay una intervención mínima de reacciones químicas, y el agua solamente se traslada de unos lugares a otros o cambia de estado físico.

### **Fases del ciclo del agua.**

El ciclo del agua tiene una interacción constante con el ecosistema debido a que los seres vivos dependen de este elemento para sobrevivir y a su vez ayudan al funcionamiento del mismo. Por su parte, el ciclo hidrológico presenta cierta dependencia de una atmósfera poco contaminada y de un cierto grado de pureza del agua para su desarrollo convencional, ya que de otra manera el ciclo se entorpecería por el cambio en los tiempos de evaporación, condensación, etc. (Rodríguez F. 2012).

### **Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son:**

**Evaporación:** El agua se evapora en la superficie oceánica, sobre la superficie terrestre también por los organismos, en el fenómeno de la transpiración en plantas y sudoración en animales. Los seres vivos, especialmente las plantas, contribuyen con un 10% al agua que se incorpora a la atmósfera. En el mismo capítulo podemos situar la sublimación, cuantitativamente muy poco importante, que ocurre en la superficie helada de los glaciares o la banquisa.

**Condensación:** El agua en forma de vapor sube y se condensa formando las nubes, constituidas por agua en pequeñas gotas.

**Precipitación:** Se produce cuando las gotas de agua que forman las nubes se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotitas de agua para formar gotas mayores que terminan por precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso. La precipitación puede ser sólida (nieve o granizo) o líquida (lluvia).

**Infiltración:** Ocurre cuando el agua que alcanza el suelo, penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea. La proporción de agua que se infiltra y la que circula en superficie (escorrentía) depende de la permeabilidad del sustrato, de la pendiente y de la cobertura vegetal. Parte del agua infiltrada vuelve a la atmósfera por evaporación o, más aún, por la transpiración de las plantas, que la extraen con

raíces más o menos extensas y profundas. Otra parte se incorpora a los acuíferos, niveles que contienen agua estancada o circulante. Parte del agua subterránea alcanza la superficie allí donde los acuíferos, por las circunstancias topográficas, intersecan (es decir, cortan) la superficie del terreno.

**Escorrentía:** Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y de transporte de sedimentos.

**Circulación subterránea:** Se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, de la que se puede considerar una versión.

**Acuíferos:** Un acuífero se define como una unidad geológica saturada cuya permeabilidad es suficiente para entregar cantidades económicamente interesantes de agua a una captación. Los acuíferos más comunes son las arenas y gravas no consolidadas, pero rocas sedimentarias permeables tales como areniscas y calizas, y rocas cristalinas y volcánicas intensamente meteorizadas o fracturadas también pueden ser clasificadas como acuíferos.

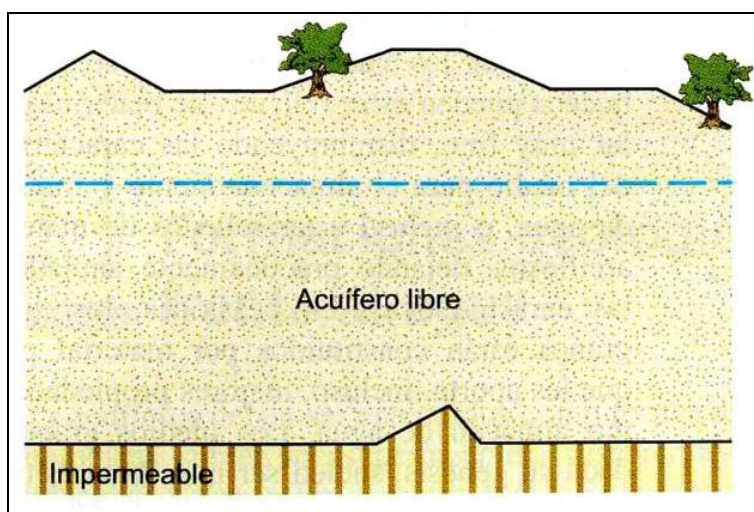
Se denomina acuitardo a una unidad geológica con permeabilidad suficiente para transmitir cantidades significativas de agua a través de superficies grandes y/o períodos largos, pero cuya permeabilidad es insuficiente para justificar su alumbramiento. Las arcillas, limos y lutitas pertenecen a esta categoría.

Una unidad geológica es un acuicludo cuando no transmite agua en absoluto, por ejemplo rocas ígneas o metamórficas densas y no fracturadas. En la naturaleza, sin embargo, materiales realmente impermeables ocurren muy pocas veces; en alguna medida todos permiten la filtración de agua y por lo tanto deben ser clasificados como acuitardos.

A pesar de ello, en la práctica una unidad geológica puede considerarse acuicluda cuando su permeabilidad es varias órdenes de grandeza menor que la del acuífero adyacente. (Castany G. 1971).

**Acuífero libre.** Este tipo, también llamado freático o capa freática, tiene como base un acuicludo, pero en su techo no está restringido por una capa impermeable, sino que su límite superior es la superficie freática, donde la presión del agua es igual a la atmosférica. Por encima se encuentra la zona vadosa de modo que un acuífero libre está abierto a la atmósfera y como el agua no llena completamente la unidad geológica, la superficie freática puede subir y bajar libremente, en función de su recarga y descarga.

Sin embargo las variaciones en la presión atmosférica no pueden afectar la posición de dicha superficie, aunque si pueden hacer variar transitoriamente el nivel de agua subterránea en un pozo abierto en este tipo de acuífero.



**Fig. No. 2.** Esquema de acuífero libre.

**Precipitaciones.** Son la fuente principal, casi exclusiva, del agua subterránea dulce. Al caer a la superficie terrestre el agua puede infiltrarse directamente o primero reunirse en ríos y lagos a través del escurrimiento superficial y de ahí ingresar al subsuelo. Se estima que aproximadamente el 25 % de las precipitaciones se convierte en agua subterránea.

**Coefficiente de filtración (K).** Se refiere a la capacidad de un material poroso, por ejemplo un acuífero, de transmitir agua y se define como el volumen de agua

que se mueve a través de un medio poroso en la unidad de tiempo bajo la unidad de gradiente hidráulico y a través de la unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de flujo. Tiene las dimensiones de longitud/tiempo, por ejemplo metros/día. (Klimentov. P.P y V. M. Kónonov. 1973)

**Transmisibilidad (T).** Es una propiedad vinculada a la anterior e indica la capacidad de un acuífero de transmitir agua a través de todo su espesor y es igual al coeficiente de filtración multiplicada por el espesor saturado del acuífero. En consecuencia es el caudal de flujo bajo un gradiente unitario a través de una sección transversal de ancho unitario de todo el espesor acuífero. Tiene las dimensiones longitud<sup>2</sup>/tiempo, por ejemplo m<sup>2</sup>/día. (Klimentov. P.P y V. M. Kónonov. 1973)

**Bombeo de Prueba.** Sirve para dos objetivos principales. En primer lugar, se puede hacer para determinar los parámetros hidrogeológicos de un acuífero, que proporciona así la información básica necesaria para la solución de problemas relacionados al flujo del agua subterránea. En segundo lugar, puede dar información sobre el descenso del nivel de agua subterránea en el pozo de bombeo y el caudal específico del mismo, datos que pueden ser utilizados para determinar la eficiencia aproximada y el caudal óptimo de explotación, para seleccionar el tamaño de la bomba y para estudiar el costo del bombeo. (Kruseman G.P. y De Ridder N.A. 1975).

**Hidroquímica.** El conjunto de datos químicos, provenientes de los análisis de laboratorio y de las determinaciones de campo en distintas unidades (ppm y/o meq/l), junto con diversas relaciones iónicas. A partir de estos datos se deben clasificar las aguas según su tipo hidroquímico y sus aptitudes para diferentes usos. (Custodio E. y Llamas M.R. 1976).

### **Investigaciones anteriores.**

El Sistema Vetítico Jacinto, se ubica en el territorio Camagüeyano y abarca un área de 14 220 km<sup>2</sup>, el cual fue cubierto en su totalidad por los estudios geológicos a escala 1:250 000, realizados conjuntamente por las Academias de Ciencias de

Cuba y Bulgaria durante los años 1976-1982, bajo la dirección de R. Cabrera. M. I. Vinent y D. Tchounev.

Parte del área mencionada, 7 304 km<sup>2</sup>, en el período comprendido entre los años 1982-1992, fueron estudiados por las investigaciones geológicas a escala 1:50 000 por la Expedición conjunta Cuba–RDA bajo la dirección de M. I. Vinent, U. Thiker y E. Piñero, lo que permitió precisar una serie de cuestiones relativas a su constitución geológica que no habían quedado aclaradas durante las primeras investigaciones. Los mismos en su programa recogieron además del estudio geológico, el estudio geoquímico mediante el método de sedimentos de fondo y el muestreo de jagua. En los sectores elegidos para efectuar trabajos de detalle, se realizó muestreo de suelo en una red de 200x50, en cuyo caso se encuentra el área de alrededores de Jacinto. Las restantes investigaciones geológicas en el área han estado orientadas a la búsqueda de mineralización no metálica.

Como parte del programa de prospección llevado a cabo por la A.E.I CaribGold – Geominera S.A durante los años 1995-2000 se acometieron trabajos de exploración en la zona.

## ***Capítulo I: Características Físico-Geográficas, Económicas y Geológicas de la Región y el Área de Estudio.***

### ***1.1. Introducción.***

En este capítulo, se muestran las características generales de la región y el área de estudio como físico-geográficas, económicas de la región y el área de estudio como localización, infraestructura, geomorfología, clima, hidrografía, geología, tectónica, entre otras, con la información más actualizada existente.

### ***1.2. Localización.***

La veta El Limón Nuevo se localiza en la porción este de la zona mineralizada Oro Jacinto, y se encuentra ubicada a unos 2,5 km al SE de la Loma Jacinto, a unos 30 km. al NNE del pueblo de Guáimaro, por la carretera que va de Guáimaro a San Miguel de Bagá en la provincia de Camagüey (Fig. No.3). El área de trabajo se encuentra ubicada en la hoja topográfica Cascorro 4479-IV (escala 1:50000), abarca unos 0,115 km<sup>2</sup> (11,5 ha).



**Fig. No. 3.** Esquema de la ubicación geográfica, Escala indicada.

### **1.3. Infraestructura.**

El área del sector pertenece al Consejo Popular El Caimito del municipio Guáimaro. Dentro del área no existen centros poblacionales grandes, solo se localizan de manera dispersa 6 núcleos familiares. En los alrededores los más significativos y que se encuentran bastante distantes: Cascorro 13 km al SW, Guáimaro, poblado cabecera del municipio 24 km al Sur y pequeños poblados como Palo Seco situado a 16 km y San Miguel a 18 km al Norte.

Los asentamientos poblacionales más cercanos son la comunidad de San Pablo, El Caimito y la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) Joaquín de Agüero, la cual es la más cercana encontrándose a 3 km hacia el norte. En los alrededores del área, en general la densidad poblacional es muy baja, concentrándose la mayor cantidad al Este de la carretera que une a Guáimaro y San Miguel de Bagá donde se ubican los tres asentamientos señalados anteriormente.

Las vías de acceso fundamentales las constituyen la carretera que une por la parte Norte la ciudad de Camagüey con la playa de Santa Lucía, por el Sur la Carretera Central y la carretera que enlaza a Guáimaro con el pueblo de San Miguel que atraviesa de Sur a Norte a unos 2 km al Este del área de trabajo, a partir de la cual nacen terraplenes y caminos que permiten el acceso a cualquier parte del área. A lo largo de esta carretera corre la línea de alta tensión que enlaza a Nuevitas con Guáimaro. No existen antecedentes de actividad minera en el área.

La actividad económica fundamental en la región de los trabajos se basa en la ganadería para la producción lechera y la agricultura de cultivos varios.

#### **1.4. Geomorfología.**

El área de trabajos se caracteriza por un relieve tipo denudativo perteneciente al complejo morfogenético, caracterizada por un relieve de colinas profundas disecionadas, las pendientes fundamentales son de 16-30 grados y menos frecuentes de 3-6 grados, lo que describe a una llanura ondulada hasta premontañosa, que forman elevaciones con cimas planas y puntiagudas indistintamente que alcanzan los 63,60 m sobre el nivel del mar.

El paisaje se localiza en la subregión geomorfológica del Peniplano Florida – Camagüey –Tunas caracterizado por llanuras del tipo denudativas–erosivas, onduladas y suavemente onduladas de zócalo plegado con alturas entre 80-90 m y 100-120 m formadas sobre rocas volcánicas y volcanosedimentarias con pastos y matorrales sobre suelos sin carbonatos, donde en la actualidad existen procesos erosivos–denudativos moderados. Ha evolucionado desde la categoría de paisaje natural hasta la de modificado por la actividad pastoril y plantacional, no presentando en la actualidad elementos significativos de interés para su conservación.

El paisaje del área y su entorno estuvo caracterizado inicialmente por sabanas naturales. La actividad antrópica asociada al uso ganadero y plantacional condujo a modificaciones del mismo. A lo anterior se agrega el hecho de que en los últimos años se desarrollaron en la zona actividades mineras de prospección por lo que



fue necesario el desbroce de la cubierta vegetal para la ubicación de trochas, plataformas de perforación y trincheras. Pero dos años después de realizados estos trabajos se evidencia una marcada recuperación de la vegetación con un desarrollo del matorral de sabana satisfactorio por lo que las huellas de las actividades mineras realizadas anteriormente son imperceptibles.

Su ubicación está limitada al oeste por Loma Jacinto, al Norte y Este por el río Ciego de Molina y al Sur por Loma Deseada. Su micro-localización geomorfológica se encuentra ubicada en el macrobloque Cubita-Najasa (en ascenso), situado al Norte del parteaguas principal de primer orden. A partir de donde se establece una diferenciación estructural en la dirección del sistema fluvial de SW-NE, las alineaciones del relieve de forma general siguen esta dirección.

Se presentan abundantes alineaciones neotectónicas en forma no direccionales, demostrando que se está en presencia de una zona de movimientos actuales, los principales rumbos detectados a través del estudio de las alineaciones coinciden con los sistemas Camagüey 40°- 60° y Banao 10°- 355°, la red de drenaje tiene una configuración arbórea-pennada.

### **1.5. Clima.**

Por su ubicación geográfica presenta una amplia oscilación térmica y el desarrollo de una línea de convergencia de nubes altas y frecuencia de tormentas eléctricas locales. La amplitud térmica mensual tiene sus mayores valores en los meses de marzo y abril y la anual media es de 10,5°C, recibe una insolación media diaria entre 8 a 9,5 h. La temperatura media anual es de 30.5°C y la mínima media de 18,5°C, cerca de esta localidad, en Palo Seco se registró la temperatura media anual más baja de la provincia con 24,3°C, el registro máximo de temperatura media mensual corresponde al mes de agosto con 33,0°C y el mes más frío a enero con 17,5°C, en enero se registró la temperatura mínima absoluta de 8°C y la máxima absoluta en abril del 1999 con un valor de 38,2°C, la radiación solar global recibida registra una media anual de 16,6 kcal/cm<sup>2</sup>.

La humedad relativa anual es del 78%, con poca variación mensual, comportándose la lámina de evaporación entre los 2000 y 2010 mm promedio anuales. Las precipitaciones medias anuales entre 1200-1400 mm: el registro de lluvia mensual máximo correspondió al mes de mayo de 1993 con un valor de 415 mm. Este comportamiento la ubica dentro de una faja de repetibilidad de sequías en el periodo lluvioso entre un 40 y 60 %. La velocidad promedio del viento es entre 3,6 a 4,4 m/s con componente NNE-SSW.

### ***1.6. Hidrografía.***

El sector se encuentra en la cuenca del río Ciego de Molina. Este río tiene un cauce de 5 m de ancho aproximadamente, profundidad de hasta 3,5 m y valles estrechos, la distancia mínima de las corrientes de agua al sector es de 1 km aproximadamente, y las aguas nunca han llegado al sector independientemente de los temporales ocurridos. Este representa la principal fuente hidrográfica del área, caracterizada por ser permanente, con poco caudal por estar represado (su caudal es de 0,91 m<sup>3</sup>/seg y pasa un volumen medio de 29,6 MMm<sup>3</sup>/año, para una precipitación media anual de 1251 mm. El drenaje superficial de las precipitaciones alimenta dicho río por medio de arroyos intermitentes. En el área donde se encuentra el sector no existe fuente de agua potable.

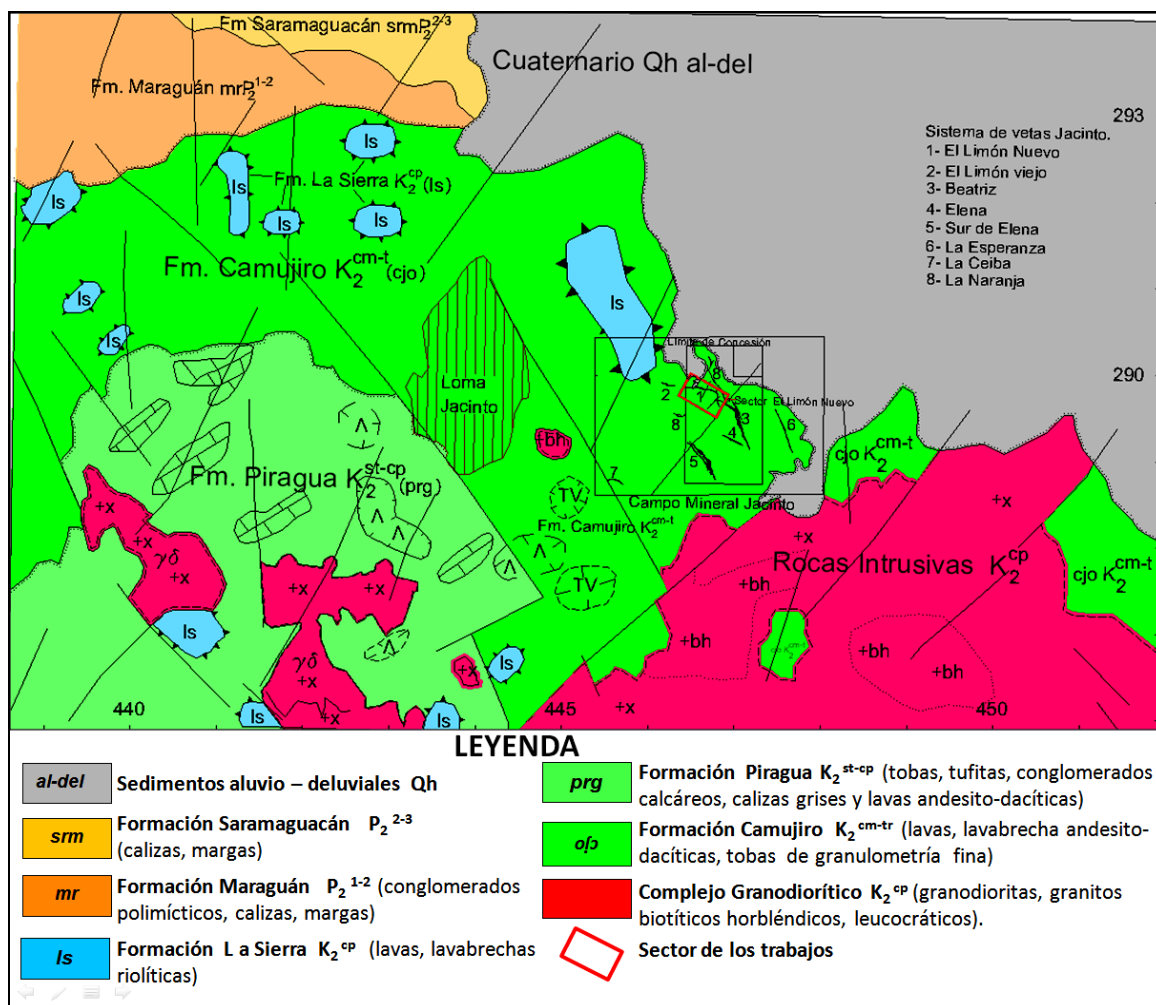
Las condiciones hidrogeológicas del sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto son simples. Por lo general las rocas volcánicas del cretácico en el territorio son poco permeables, y en especial, en la zona del yacimiento la acuosidad de estas es muy baja. Estamos en presencia de un acuífero freático, agrietado, cuyo agrietamiento está relleno por compuestos minerales como cuarzo, calcita, y ocasionalmente arcillas, que le confieren una baja permeabilidad. La dirección promedio del flujo subterráneo es de Sur a Norte, con un gradiente hidráulico suave como es de esperar en estos tipos de acuíferos en correspondencia con las formas del relieve, de las zonas altas hacia las bajas.

### ***1.7. Características geológicas de la región.***

La geología regional donde se encuentra ubicado el Sector Jacinto se conforma por las vetas Beatriz, El Limón Nuevo y Sur de Elena, y abarca un área de 14 220 km<sup>2</sup>. En la mitad septentrional del territorio camagüeyano, se encuentra la prolongación en Cuba de la plataforma de Las Bahamas, representada por varias fajas donde se desarrollan secuencias tectonoestratigráficas distintas. (Fig. No. 4). La mayor parte del territorio estudiado está ocupada por la asociación vulcano-plutónica del Cretácico y los depósitos del K<sub>2</sub><sup>cp</sup> al P<sub>2</sub><sup>2-3</sup>. (Cuenca de Piggy-back), la asociación vulcano-plutónica se caracteriza por rocas vulcanógeno-sedimentarias propias de la secuencia Ciego-Las Tunas, de edad Albiano a Campaniano Temprano.

El complejo hidrotermalmente alterado está representado por las rocas de las facies argílica, argílica avanzada y propilitas, que se disponen por el rumbo del plutón (falla cubana axial) y de los diques (NE-SW). Las alteraciones afectan tanto a las rocas intrusivas, como a las efusivo-vulcanógeno-sedimentarias.

Sobre el complejo vulcano-plutónico se encuentran conglomerados, areniscas, aleurolitas, margas, calizas, calcarenitas y calciruditas del Campaniano Tardío al Maestrichtiano y del Eoceno Inferior al Superior Temprano (Cuenca de Piggy-Back). /Formaciones: Duran, Presa Jimaguayú, Florida, Vertientes, Maraguán, Saramaguacán/. De especial interés es el olistostroma Taguasco del  $P_1$ - $P_2^1$  que yace en la superficie de contacto tectónico entre el melange ofiolítico y las rocas de la asociación vulcano- plutónica.



**Fig. No. 4.** Esquema geológico regional.

La asociación vulcano-plutónica y su cobertura sedimentaria están distintamente dislocadas. Al NE de la falla cubana axial la dislocación es más intensa, dominando las texturas brechosas en las vulcanitas y granitoides, que yacen sobre las ofiolitas incluso formando klippens aislados. Al SW de la falla mencionada las

rocas están menos fracturadas y aparecen en pliegues concéntricos suaves cuyos ejes de rumbo NW-SE están a menudo flexionados por las fallas transversales siniestras que determinan pliegues de rumbo NE- SW.

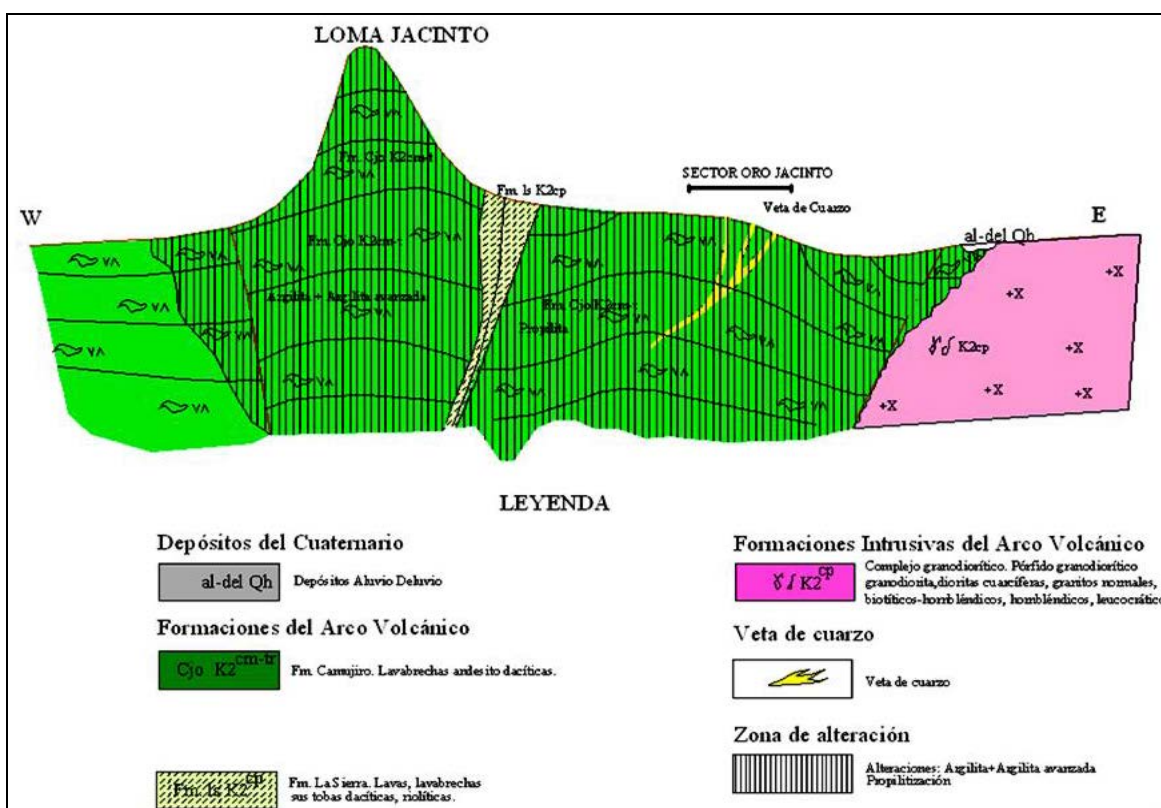
Sobre el substrato plegado antes descrito se encuentran los depósitos sedimentarios del Eoceno Superior Tardío al Reciente, poco dislocados y constituidos por conglomerados, areniscas aleurolitas, margas, calizas, calcarenitas y otras rocas de ambiente marino y subaéreo (Formaciones Nuevitas, Güines, Arabo, Vázquez, Villa Roja, Güane, Guevara, Coluvios Loma Carolina, Perdigones Don Eduardo, Villa Roja, eluvios, aluvios, deluvios, coluvios, lateritas in situ, redepositadas, coraza calcedónica). Esta Cobertura Neoautóctona está cortada por fallas que la dividen en bloques de distinta altitud.

### ***1.8. Características geológicas del yacimiento.***

El sistema vetítico Oro Jacinto está constituido por las vetas Beatriz, Sur de Elena y EL Limón Nuevo ; se encuentran desarrolladas dentro de la sección del arco de islas del Cretácico superior, caracterizada por un buen desarrollo de la Formación Camujiro de edad Cretácico Superior (Cenomaniano – Turoniano), que ocupa más del 70% del área, representada por lava brecha andesito – dacítica traqui, psamítica – aglomerática hasta de bloques, color verde – grisáceo, escasas lavas andesito – dacíticas traqui y muy escasas tobas de granulometría media – fina que aparecen como capas de pequeños espesores; en general se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a formar brechas de color verde, sin mineralización que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Estas rocas de la Formación Camujiro son las que sirven de caja a las vetas de cuarzo, con mineralización epitermal aurífera del tipo Adularia – Sericítica.

En la porción N-NW del Sector aparece la Formación La Sierra del Cretácico Superior (campaniano) constituida por Lavas Riolíticas, de color violáceo en partes alteradas (argilitizadas) que aparecen como cuerpos cortantes, mientras que la parte N – NE del área es cubierta discordantemente por los sedimentos terrígenos

Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas de la Formación Camujiro originando zonas de alteración argilítica y propilíticas, a las cuales pueden asociarse los sistemas de vetas epitermales de metales preciosos como en el caso de las Vetas Beatriz, Sur de Elena, El Limón, etc. Los principales índices y criterios de la mineralización han sido los afloramientos de la mineralización y zonas de alteración.

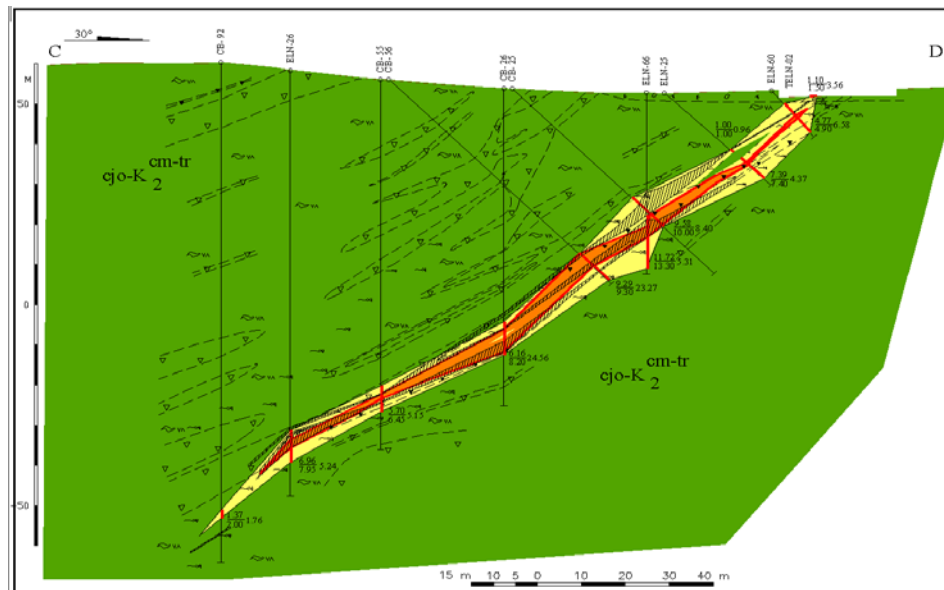


**Fig. No. 5.** Perfil geológico esquemático W-E del sistema vetítico Oro Jacinto.

La veta El Limón Nuevo con su cuerpo mineral asociado, como se señala en el epígrafe anterior correspondiente a su posición en el ámbito regional, aquí en el ámbito particular continúa desarrollándose dentro de la sección del Arco de Islas del Cretácico superior, caracterizada por la Formación Camujiro de edad Cretácico Superior (cenomaniano – turoniano), representada mayoritariamente por lava brecha andesito – dacítica, psamítica – aglomerática hasta de bloques, de color verde – grisáceo, escasas lavas andesito – dacíticas (traqui), y muy escasas tobas de granulometría media – fina que aparecen como capas de pequeños espesores, en general se encuentran más o menos propilitizadas y tectonizadas, llegando a formar brechas de color verde, sin mineralización que llegan a alcanzar un amplio desarrollo. Estas rocas de la Formación Camujiro son las que sirven de caja a las vetas de cuarzo con una predominante textura brechosa y en menor grado masiva, con mineralización epitermal aurífera del tipo adularia – sericítica.

La parte NW del área es cubierta discordantemente por los sedimentos terrígenos del Cuaternario datado del Holoceno, constituido por material aluvio – deluvial que alcanza espesores de hasta 3 m.

Las alteraciones hidrotermales han afectado las rocas de la Formación Camujiro originando zonas de alteración cuarzo-sericítica y propilítica, a las cuales está asociada la veta objeto de este estudio. Los principales índices y criterios de la mineralización han sido los afloramientos de la mineralización (cuarzo con textura brechosa y masivo, en partes bandeado) y zonas de alteración (Figs. 6 y 7).

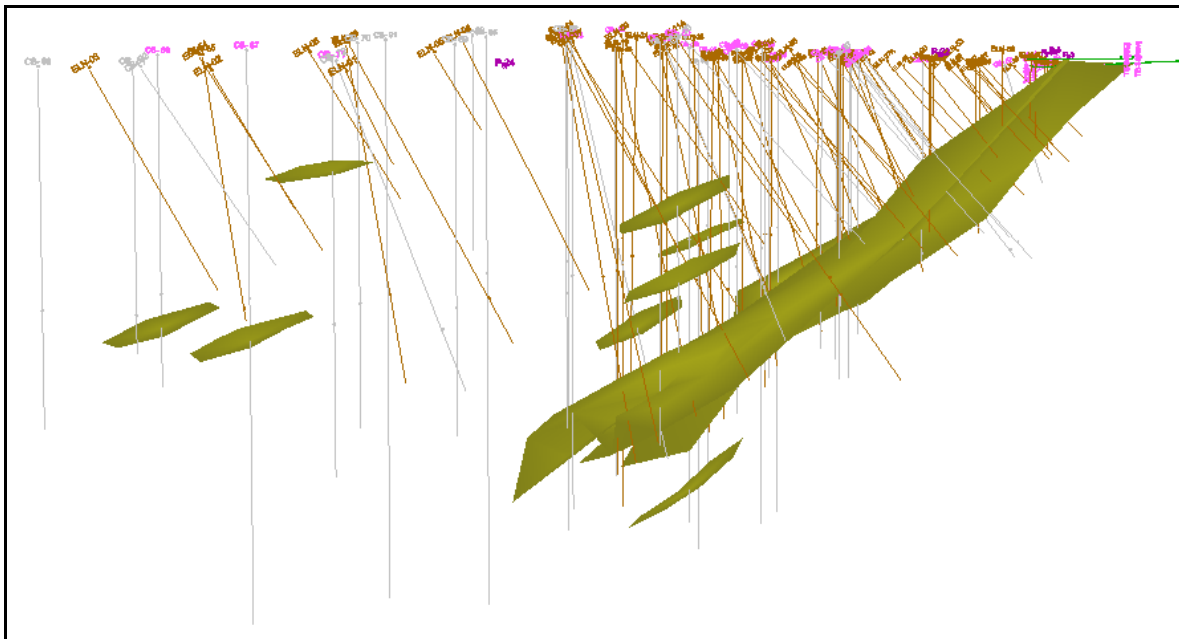


**Fig. No. 6.** Perfil esquemático de la veta aurífera en El Limón Nuevo.





**Fig. No. 7.** Afloramiento de la zona mineralizada en trinchera.



**Fig. No. 8.** Vista tridimensional de la veta El Limón Nuevo (SW - NE).

### 1.9. Tectónica.

La situación tectónica del área se encuentra controlada por los sistemas con dirección NW–SE y E–W, que son las que alojan las vetas de cuarzo con mineralización aurífera, además aparecen otros sistemas como el N–S y NE–SW, pero sin mineralización, las cuales desplazan a los sistemas antes mencionados, constituyendo un sistema de bloques que complican la situación tectónica de la veta y su cuerpo mineral asociado (Fig. No.9).

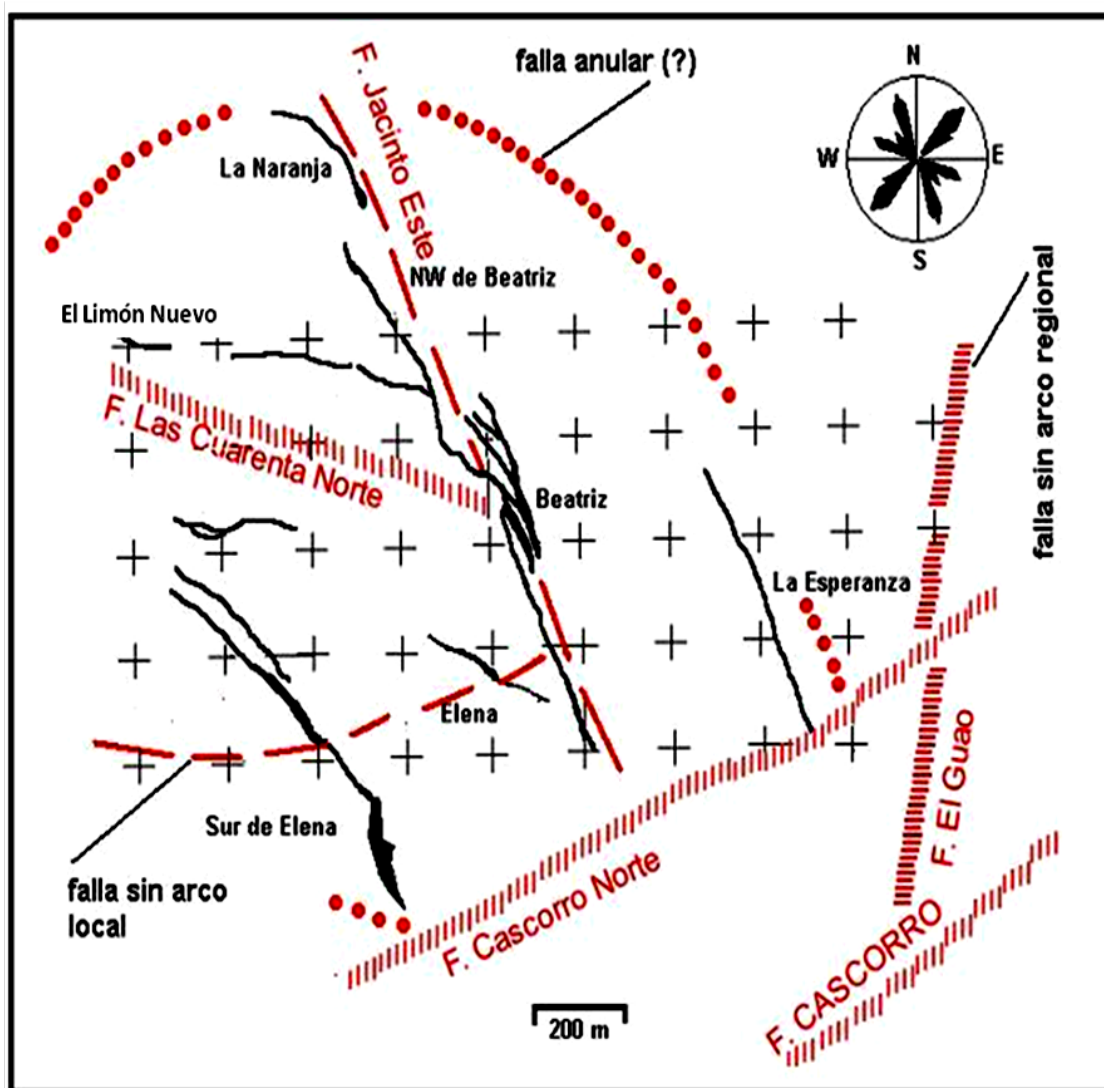
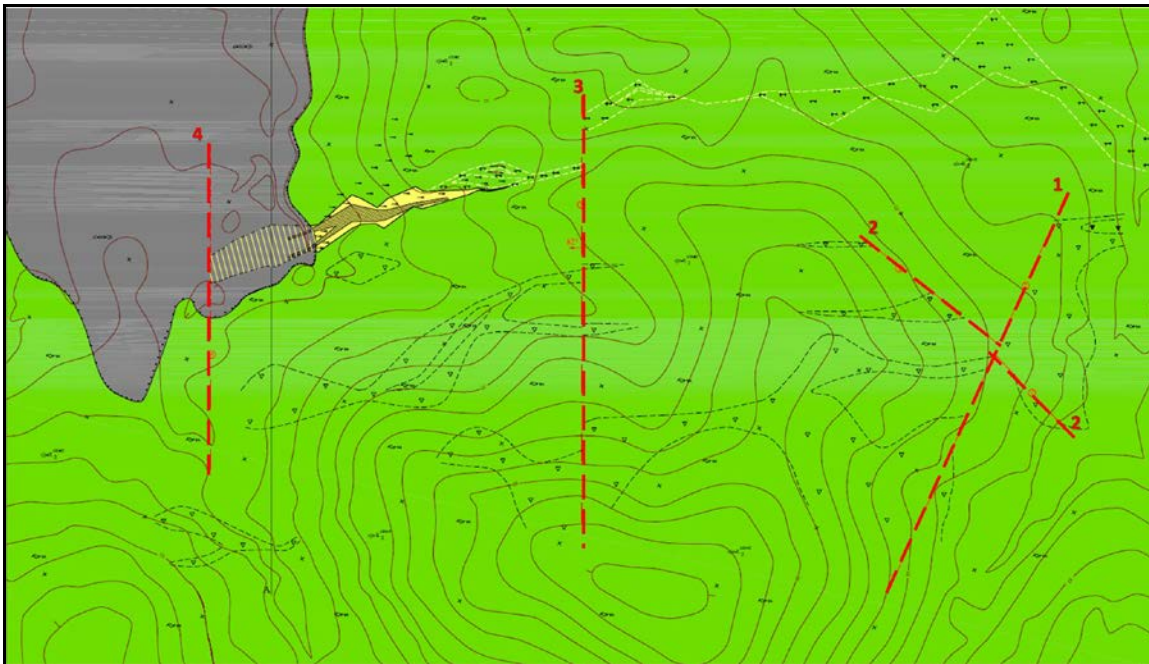


Fig. No. 9. Esquema de la situación tectónica del sistema vetítico.

Como se puede apreciar, la más afectada por la situación tectónica en el área es la asociación vulcano – plutónica, mientras que la secuencia terrígena del Cuaternario sólo sufre afectaciones neotectónicas.



**Fig. No. 10.** Estructuras disyuntivas supuestas.

Así podemos observar como en el área de estudio se definieron 4 estructuras disyuntivas con categoría supuestas que se reflejan muy bien en las secciones longitudinales y que se describen a continuación (Fig. No. 10).

Falla 1 se desarrolla en el extremo E del área atravesando perfiles L-03 hasta L-05, su rumbo es  $338^{\circ}$  y su buzamiento es vertical.

Falla 2 es otra falla vertical que atraviesa perfiles L-02 hasta L-04 al E del sector con el rumbo  $234^{\circ}$ .

Falla 3 afecta el cuerpo mineral principal, se ubica entre los perfiles L-10 y L-11 paralela al perfil, su rumbo es  $30^{\circ}$  y buzamiento  $82^{\circ}$  al NW.

Falla 4 es vertical y se ubica entre los perfiles L-16A y L-17 paralela al perfil (rumbo  $30^{\circ}$ ) afectando el extremo NW del cuerpo mineral.



## **Capítulo 2: METODOLOGIA DE LOS TRABAJOS.**

### **2.1. Introducción.**

En los estadios anteriores de investigación de este sector no se ejecutó ningún tipo de trabajo hidrogeológico, los únicos estudios realizados en el área son los correspondientes a esta etapa de exploración complementaria.

Con el objetivo de esclarecer las condiciones hidrogeológicas del yacimiento, se ejecutó un complejo de métodos de investigación que consistieron en:

- Perforación de pozos hidrogeológicos.
- Observaciones hidrogeológicas durante la perforación de pozos hidrogeológicos.
- Bombeos para la descolmatación de pozos.
- Mediciones del nivel.
- Bombeos de prueba.
- Observaciones del régimen.
- Observaciones hidrogeológicas en el pozo minero y galería.
- Muestreo hidroquímico.
- Búsqueda de datos de las precipitaciones.
- Utilización de sistemas automatizados.

### **2.2. Perforación de pozos hidrogeológicos.**

La perforación de estos pozos se realiza con el objetivo de ejecutar trabajos que permitan realizar una valoración sobre la acuosidad de las rocas en el área del yacimiento. Esta perforación se realizó sin la recuperación del testigo utilizando como herramientas de corte brocas triconos y rotopercutoras **en dependencia si las rocas presentaban acuosidad o no respectivamente.** El método de perforación se realizó con inyección de aire con compresor, el cual es muy eficaz a la hora de precisar la profundidad exacta en que se encuentra el nivel de las aguas subterráneas, además de realizar una estimación preliminar sobre la acuosidad de las rocas en la zona.

Se perforaron 4 pozos con una máquina URB – 2 A 2 autotransportada con sistema de inyección de aire con un compresor AIRMAN Modelo PSD 185.

Los pozos fueron distribuidos de forma tal que abarcaran toda el área para una uniforme evaluación, ver Anexo Gráfico No. 1.

Los pozos hidrogeológicos perforados fueron los siguientes:

ELNH – 1, profundidad 40.40 m.

ELNH – 2, profundidad 42.50 m.

ELNH – 3, profundidad 72.00 m.

ELNH – 4, profundidad 43.00 m.



**Fig. No. 11.** Equipamiento utilizado en la perforación de pozos hidrogeológicos.

### ***2.3. Observaciones hidrogeológicas durante la perforación.***

Para que la perforación de estudio produzca la información deseada, es necesario que durante su ejecución se efectúen una serie observaciones sistemáticas, a cargo de un profesional o técnico especializado en la materia. El sistema de perforación utilizado influye en estos controles sistemáticos que deben efectuarse a medida que avanza la perforación.

Se realizan durante la perforación de pozos. Las tareas de tales observaciones consisten en revelar los horizontes acuíferos, estudiar las condiciones de su yacimiento, la composición, la potencia, la abundancia de agua, las propiedades filtrantes, el carácter de relación recíproca entre los horizontes acuíferos, la composición química y obtener otra información hidrogeológica.

Los tipos y el carácter de las observaciones dependen considerablemente del método de perforación. Durante la perforación se realizan observaciones del nivel de las aguas subterráneas, las propiedades litológicas, la porosidad y la fisuración de las rocas, caídas de la barrena de perforación, temperatura de las aguas que son descubiertas, manifestaciones de gases, etc. El control y registro de la velocidad de avance, permite en gran parte de los casos fijar los cambios litológicos. Los resultados de estas observaciones se refleja en los partes de turnos de trabajo, las libretas de perforación, las certificaciones de los pozos y otros documentos básicos.

Las observaciones del nivel del agua revelado y estabilizado (estático), posibilita la determinación de la profundidad de yacencia y el carácter hidráulico (presión) de los estratos y horizontes acuíferos que atraviesan. El nivel del agua en los pozos se mide mediante cintas métricas hidrogeológicas, indicadores del nivel y otros instrumentos. Si el agua se vierte espontáneamente en el pozo, su nivel se calcula bien a base de la altura que alcanza en una camisa en el pozo, o a partir de la presión medida con manómetro de boca. En el proceso de perforación de un pozo, el nivel del agua debe medirse no menos de 1 – 3 veces por turno según la velocidad de profundización y el número de subidas del varillaje.

Las mediciones del nivel de agua revelado y estabilizado durante la perforación sin agua, son más exactas que con agua.

La perforación con aire permite determinar la profundidad a la que se corta el nivel de las aguas, así como una valoración preliminar sobre la acuosidad de las rocas. Pudiéndose detectar las zonas de mayor humedad y las zonas secas en el corte.

Este trabajo se realizó a todo el metraje de perforación, indicándose cualquier variación que se observara en el proceso. El volumen de observaciones hidrogeológicas durante la perforación fue de 197.90 m.

#### ***2.4. Bombeos para la descolmatación de pozos.***

Los cuatro pozos hidrogeológicos una vez terminados de perforar fueron lavados con circulación de agua limpia y bombeados con aire para eliminar el sedimento de la perforación. En todos los casos, el aire se inyectó a toda la potencia, y los mismos se abatieron completamente, indicando así la baja acuosidad de la zona y la facilitación para definir los pozos que se escogerían para la realización de bombeos de prueba. Con esto, se reactiva la acuosidad de los acuíferos a su estado natural y la posición de los niveles será la real; de lo contrario, si no se limpia, los niveles medidos pueden inducir a errores.

El mismo procedimiento se efectuó en los pozos de la exploración geológica ELN – 70 y ELN – 76, que por su posición, verticalidad y estado de conservación, se escogieron también para la red de observaciones del régimen. La cantidad de trabajos de descolmatación de pozos fue de 6.

#### ***2.5. Mediciones del nivel.***

Las mediciones del nivel se realizan durante las campañas de perforación, donde luego de perforados los pozos y descolmatados, se efectúan a las 24, 48 y 72 horas para establecer el nivel correcto en el pozo, usualmente se realizan para hacer valoraciones orientativas durante los trabajos de perforación sobre la posición del nivel de las aguas y para establecer la profundidad de instalación de los equipos de bombeo en caso que hayan que realizar pruebas de filtración.

Se realizaron mediciones de nivel en los pozos hidrogeológicos y los pozos ELN – 70 y ELN - 76 a las 24, 48 y 72 horas una vez concluida la perforación y el lavado. Dada la baja permeabilidad en la zona, los niveles logran su estabilidad días después de estas mediciones, por lo que dichos niveles se controlan con esta red de pozos establecida para las observaciones del régimen, que a la vez pueden

servir para la confección de mapas para diferentes períodos, dígame lluvia y seca. El total de mediciones del nivel fue de 18.



**Fig. No. 12.** Medición de la profundidad del nivel en pozos.

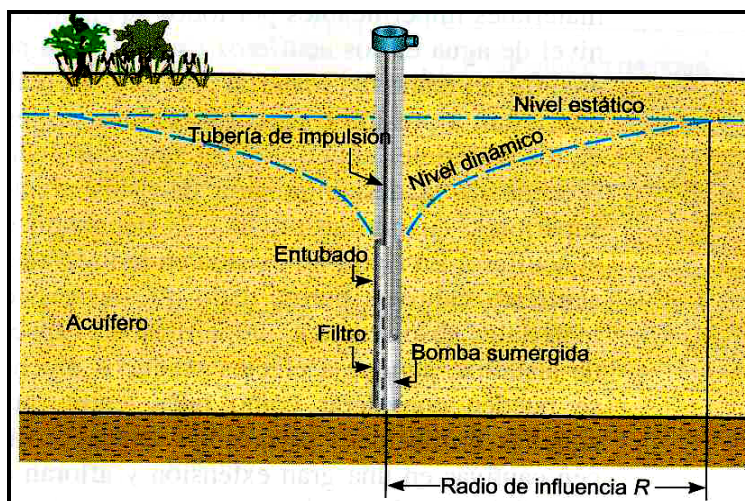
## **2.6. Bombeos de prueba.**

Los ensayos de bombeo son sin lugar a dudas el método más confiable para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos de un acuífero. Consisten en bombear un pozo, en principio a caudal constante, y analizar el descenso de los niveles dinámicos tanto en el pozo de bombeo como en pozos o piezómetros circundantes si existieran estos últimos.

En dependencia de la finalidad de los trabajos, los bombeos que se practican durante la prospección y exploración de distintos tipos de yacimientos minerales sólidos y de aguas subterráneas, pueden ser de tres tipos: de prueba, experimentales y experimentales de explotación. Difieren principalmente en cuanto a la duración de los trabajos y a la cantidad de pozos a utilizarse en el ensayo.

Durante el bombeo de un pozo se produce un cono de depresión con un radio de influencia alrededor de este. En el siguiente esquema podemos observar una forma sencilla de los componentes de un sistema de bombeo con el cono de depresión.





**Fig. No. 13.** Componentes de un sistema de bombeo con el cono de depresión.

Los bombeos de prueba duran poco tiempo, (de 1 a 1.5 días), como regla durante un descenso del nivel. Se realizan para:

- Determinar los parámetros hidrogeológicos básicos de los horizontes acuíferos.
- Estudiar las condiciones de los horizontes acuíferos en el plano y el corte.
- Determinar la magnitud del descenso del nivel.

Durante la ejecución de los bombeos deben realizarse diferentes mediciones:

- Mediciones de control.
- Mediciones del nivel de agua.
- Mediciones del caudal de bombeo.

Mediciones de control: Lo ideal es no empezar un bombeo mientras no se conozcan las variaciones naturales del nivel del agua en el acuífero. Por ello, durante uno o varios días precedentes al comienzo del ensayo, se deben leer dos veces al día los niveles de agua en los pozos.

Mediciones del nivel de agua: La parte más importante de un ensayo de bombeo es medir la profundidad del agua en todos los pozos satélites si existieran y también en el pozo de bombeo.

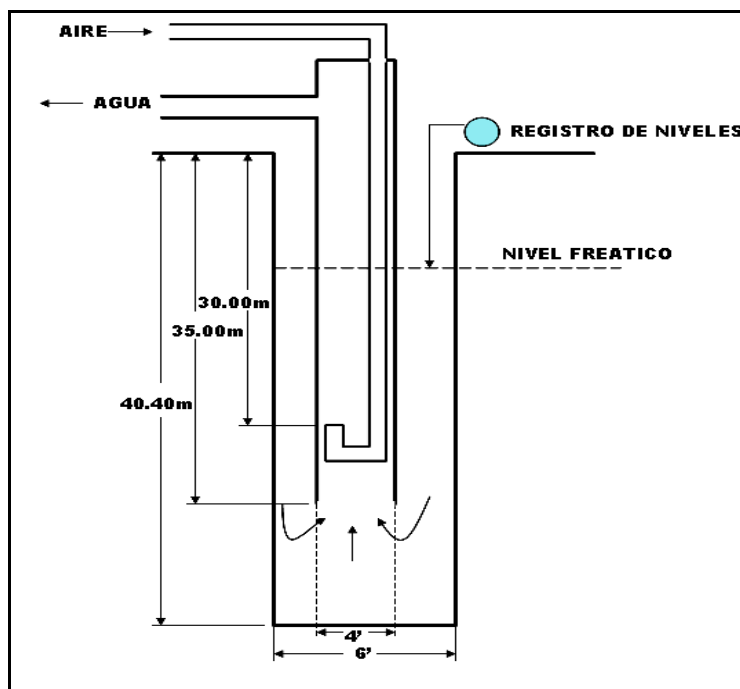
Estas mediciones deben hacerse muchas veces a lo largo del ensayo y con la mayor precisión posible, como mínimo 1 cm. Como los niveles de agua descienden rápidamente durante la primera o dos primeras horas del ensayo, se deben tomar lecturas a intervalos cortos, aumentando estos intervalos conforme se prolonga el bombeo. Efectuar las mediciones del nivel en el proceso de bombeo (descenso) cada 5 – 10 minutos durante las dos primeras horas; cada 0.5 – 1 hora durante las 12 horas siguientes, y luego dentro de cada 2 – 3 horas hasta terminar el bombeo. En el proceso de restablecimiento de los niveles, las mediciones se realizan cada 1 – 2 minutos durante los primeros 15 – 20 min., luego cada 3 – 10 min. Durante 1 – 2 h, y después cada una hora hasta obtener los materiales representativos.

No es necesario seguir demasiado rígidamente los intervalos de tiempo que se han sugerido ya que lo importante es que queden más o menos regularmente distribuidos en una escala logarítmica.

Mediciones del caudal: Se llevan a cabo con algún dispositivo que permita fácilmente medir el caudal y apreciar sus variaciones. En general son preferibles los dispositivos continuos de medición, como ser caudalímetros comerciales, vertederos rectangulares (para caudales grandes), vertederos triangulares (caudales pequeños), tubo de Venturi y tubo con diafragma circular, todos correctamente calibrados. Un sistema de aforo discontinuo muy utilizado es el llenado de un recipiente de capacidad conocida. A fin de tener precisión en las mediciones, la capacidad debe ser tal que el llenado tarde más de 20 segundos.

Las lecturas se efectúan con frecuencia, por ejemplo cada media hora, además cada vez que se sospeche de una variación, y se realizan las correcciones que sean necesarias. Durante la primera hora o segunda conviene un control más frecuente. En los estudios de El Limón Nuevo, se organizaron dos bombeos de prueba por la baja acuosidad observada durante la descolmatación de los pozos. Estos se realizaron **con gasto constante (caudal) y abatimiento variable**.

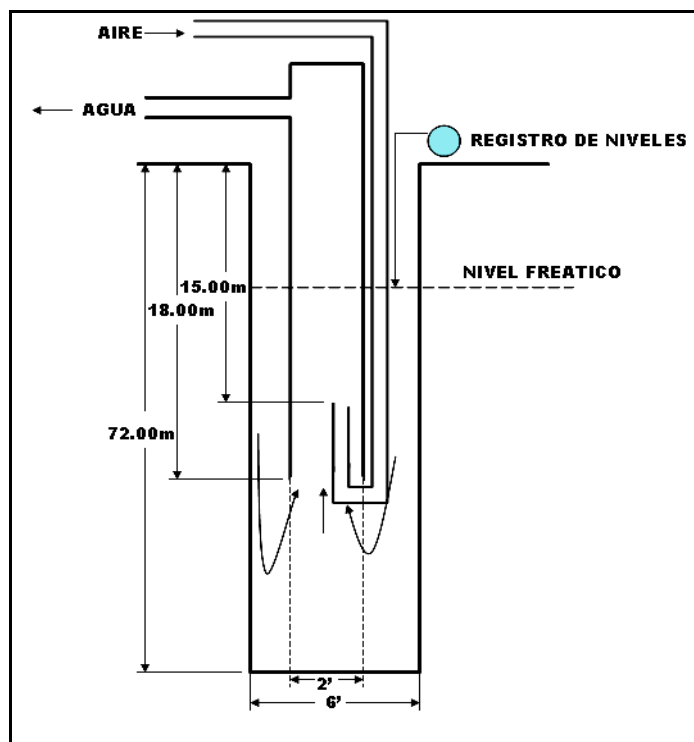
El pozo ELNH – 1, luego de lavado y descolmatado, se preparó para organizar un bombeo de prueba según el esquema siguiente:



**Fig. No. 14.** Esquema de instalación de sistema airlift para bombeo de prueba en el pozo ELNH – 1.

Al iniciar el bombeo, la presión de aire extrajo toda la columna de agua, y el nivel se abatió hasta la profundidad del tubo de inyección de aire, y por la salida del agua, solo se obtuvo aire con alguna pequeña emulsión esporádica de aire – agua, lo que creó dificultades para medir el gasto por la alta presión del compresor y tan bajo caudal del pozo. Este bombeo se detuvo por la baja acuosidad en el pozo, muy difícil de medir.

Ante esta situación se procedió a perforar otros tres pozos hidrogeológicos (ELNH – 2, **ELNH – 3** y ELNH – 4), distribuidos por el área para determinar si existía algún sector que aportara mayores caudales. Durante los lavados y la descolmatación de estos pozos con aire, el resultado fue similar a lo obtenido en el pozo ELNH – 1, o sea, una muy baja acuosidad y difícil de cuantificar. Se revisó la ubicación de estos pozos, y por encontrarse en el centro del área y con mayor profundidad que los otros, además de que atravesó la zona mineral, se escogió el pozo **ELNH – 3** para organizar un bombeo de prueba con un bajo gasto y utilizando el esquema siguiente:



**Fig. No. 15.** Esquema de instalación de sistema airlift para bombeo de prueba en el pozo ELNH – 3.

Con esta instalación se logró levantar la columna de agua con un hidroelevador de 2 pulgadas con una baja presión de aire, y por consiguiente un bajo caudal que se pudo medir con un abatimiento suficiente para poder realizar los cálculos de los parámetros de filtración de las rocas.

### **2.7. Observaciones del régimen.**

Se realizan cuando los pozos han sido preparados con camisas ranuradas (filtros), con una tapa de seguridad en la boca, para realizar estudios del régimen de las aguas subterráneas en el tiempo donde las mediciones se efectúan cada ciertos períodos de tiempo (días, meses, etc.) en uno o varios pozos preparados a tal efecto; midiéndose todos en la misma fecha. Estas mediciones sirven para la confección de mapas de hidroisohipsas (isopiezas) para diferentes períodos, digamos períodos de lluvia y períodos secos. También se pueden comparar estas mediciones con las observaciones de las precipitaciones y determinar el tiempo de reacción del acuífero ante estas, y posterior a ellas. Pueden tomarse muestras de

agua para valorar las variaciones de la composición química de estas en el tiempo.

Se prepararon 6 pozos distribuidos por el área para observaciones del régimen que consistieron en mediciones del nivel de las aguas subterráneas una vez al mes en un ciclo de un año para determinar la amplitud de las oscilaciones del nivel en el tiempo. Estas mediciones junto con los parámetros de filtración calculados y el área de la futura cantera permitieron calcular los volúmenes de agua subterráneas que fluirán a esta.

Los pozos fueron encamisados con tuberías plásticas de 2 pulgadas que fueron fijadas con cemento y con una tapa. Los pozos preparados para este fin son:

ELNH – 1, ELNH – 2, ELNH – 3, ELNH – 4, ELN – 70, ELN – 76.

El total de mediciones realizadas para las observaciones del régimen fue de **67**.

## ***2.8. Observaciones hidrogeológicas en el pozo minero y galería.***

Las observaciones hidrogeológicas en las excavaciones mineras pueden ejecutarse durante los trabajos de prospección y exploración, así como durante la explotación de yacimientos minerales. Si en la zona de los trabajos hay minas activas o viejas, sus excavaciones han de ser inspeccionadas y documentadas hidrogeológicamente.

En las excavaciones mineras subterráneas se registran y describen todas las manifestaciones de agua, se efectúan observaciones de afluencias, temperatura y composición química, se estudian las particularidades litológicas de las rocas descubiertas, sus propiedades físico-acuíferas y la estabilidad del techo, las paredes y el suelo de las excavaciones.

Las ventajas de estas observaciones en excavaciones mineras de sección grande consisten en que las rocas y las manifestaciones de agua están expuestas en ellas a la inspección directa y el estudio visual. Durante las observaciones en las

excavaciones tanto verticales como horizontales conviene tomar fotografías y describir los objetos y fenómenos que se observan.

Al documentar las excavaciones se presta principal atención al estudio de las particularidades litológicas de las rocas descubiertas, su estructura, resistencia, grado de meteorización, fisuración, densidad, contenido de arcilla, consistencia, humedad, manifestaciones de agua y procesos físico-geológicos.

Una gran importancia reviste el estudio esmerado de la fisuración de las rocas, determinando el ángulo y dirección del buzamiento, cantidad de fisuras por metro cuadrado, la composición del material de relleno, origen de las fisuras y sistemas predominantes.

Se efectúan observaciones escrupulosas de todos los tipos de manifestaciones de agua, se determinan los niveles de los horizontes acuíferos revelados y estabilizados. En las excavaciones con desagüe, al formarse cursos de agua, se determina la cantidad de agua que penetra y sale, y se estudia su régimen.

En el pozo minero y la galería para la toma de una muestra tecnológica en El Limón nuevo, se realizaron observaciones y mediciones con el objetivo de verificar los resultados de los trabajos hidrogeológicos realizados en los pozos para reforzar el conocimiento de las posibles afluencias de agua a los futuros laboreos mineros.

Se calcularon los volúmenes que entraban a estos laboreos teniendo en cuenta la hora en que terminaba la jornada de trabajo de los mineros en la tarde, la hora de comienzo al día siguiente y medido el volumen de agua almacenado en este período con el cubo de extracción de las rocas que tiene capacidad de 40 litros, se pudo estimar el gasto que se almacenaba en ese tiempo. Estas observaciones se realizaron desde el comienzo del pozo hasta la culminación de la galería.



**Fig. No. 16.** Imagen tomada durante la extracción del agua acumulada en el intervalo de tiempo desde la tarde hasta la mañana.

### ***2.9. Muestreo hidroquímico.***

El muestreo hidroquímico se realiza con el objetivo de evaluar la composición química y estado sanitario de las aguas en los diferentes laboratorios, así como determinar la agresividad de las aguas al hormigón y los metales.

El muestreo puede realizarse en corrientes superficiales, manantiales y pozos de perforación. Es recomendable que para obtener una muestra representativa de un pozo, debe extraerse al menos 3 veces el volumen de agua que se encuentra en dicho pozo. Al tomar las muestras, el recipiente para el muestreo (preferentemente frascos plásticos limpios) debe ser enjuagado varias veces con el agua a muestrear (endulzado), luego llenado y cerrado herméticamente. Cada muestra debe ser identificada con una etiqueta o marcado el frasco con marcador permanente con la identificación del proyecto, pozo, fecha y tipo de análisis a realizar, y ser llevadas a los laboratorios en el menor tiempo posible con previa coordinación. Debe confeccionarse un catálogo de muestras y la solicitud de los análisis para luego chequear los resultados.

El muestreo en pozos puede ser realizado durante los bombeos directamente en el chorro de agua o con batómetro (equipo para muestrear dentro del pozo).

Para conocer la composición química de las aguas subterráneas se tomaron dos muestras, a las cuales se les determinó los siguientes parámetros: Conductividad eléctrica, PH, SST,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ , Ca, Mg, Na, K, Índice de estabilidad para la agresividad. Las muestras fueron tomadas con batómetro en el pozo ELNH – 4 así como en el pozo minero y la galería.

#### ***2.10. Búsqueda de datos de las precipitaciones.***

Se solicitaron al Instituto de Recursos Hidráulicos de Camagüey los datos consistentes en las precipitaciones de los últimos 20 años en la zona desde 1996 hasta el 2016, que incluye las medias mensuales, anuales y la máxima de un día, las cuales son necesarias para el cálculo de la afluencia total a la cantera y el caudal del río Ciego Molina.

#### ***2.11. Utilización de sistemas automatizados.***

Para el procesamiento de la información fueron utilizados los siguientes sistemas automatizados:

- Microsoft Office Word 2007.
- Google Earth.
- Rock Works 2006.
- AutoCAD Civil 3D 2010.

Estos sistemas sirvieron para el procesamiento de la información como reproducción de la documentación, obtención de imágenes satelitales, construcción de gráficos y diagramas, así como planos y perfiles.



## **Capítulo 3. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS TRABAJOS HIDROGEOLÓGICOS.**

### **3.1. Introducción.**

En este capítulo se realiza una evaluación de los resultados de los trabajos hidrogeológicos realizados, que permiten establecer las condiciones hidrogeológicas del sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto. En lo sucesivo describiremos por actividades los resultados obtenidos.

### **3.2. Observaciones hidrogeológicas durante la perforación de pozos hidrogeológicos.**

**POZO ELNH – 1.** El primer día, se inició con un diámetro de 8 pulgadas con la utilización de una espiral hasta la profundidad de 1.50 m donde se colocó una camisa de PVC para el emboquillado del pozo. Luego se cambió la herramienta de corte por una corona tricono con diámetro exterior de 6 pulgadas. Se continuó perforando hasta la profundidad de 23.50 m, donde comienza la zona mineral. Durante este intervalo sólo se extrajo como sedimento el polvo impulsado desde dentro del pozo por la presión de aire (0.5 MP), comprobándose así la baja acuosidad de las rocas ya que las revoluciones de la perforación, y la fricción de la corona en las rocas provocaba un calentamiento que no daba tiempo a humedecer los recortes de roca. Este intervalo se perforó de forma continua y sólo al final de este se dejó de extraer polvo debido a una parada prolongada, extrayendo el ripio de roca húmedo.

Al segundo día, antes de reiniciarse la perforación se midió la profundidad del nivel de las aguas en el pozo y este se encontraba a 5.30 m de profundidad, indicando así que el agua drenó hacia el pozo en el tiempo de reposo entre una jornada y otra. Al reanudarse la perforación, el aire expulsó la columna de agua que había ocupado el pozo, luego de esto no salía el sedimento y hubo que verter agua por la boca para poder extraerlo. A los 32 m interceptó al pozo inclinado ELN – 48 ubicado en la misma línea de perfil (L16 – A) al suroeste, provocando que parte de la presión de aire se desviara y sacara de su lugar el monumento que

identifica dicho pozo con la salida de sedimento por este. Se continuó perforando hasta la profundidad de 40.40 m atravesando la zona mineral con el mismo procedimiento de adición de agua, saliendo el sedimento por la boca del pozo ELN – 48. El pozo fue lavado con agua y soplado con aire, saliendo el agua por los dos pozos hasta que finalmente solo salía aire. Esto indicó que la acuosidad que poseen las rocas es sumamente baja.

El tercer día, se midió el nivel en el pozo y se encontraba a 3.20 m de profundidad.



**Figs. No. 17 y 18.** Imágenes de la salida de polvo durante la perforación.

**POZO ELNH – 2.** El primer día se inició con un diámetro de 76 mm con la utilización de una espiral hasta la profundidad de 1.00 m donde se colocó una camisa para el emboquillado del pozo. Luego se cambió la herramienta de corte por un sistema rotopercutor. Se continuó perforando hasta la profundidad de 25 m. Durante este intervalo sólo se extrajo como sedimento el polvo impulsado desde dentro del pozo por la presión de aire (0.5 MP), comprobándose así la baja humedad.

El segundo día Al reiniciarse la perforación se detectó la presencia de humedad en el pozo ya que al inyectar el aire no salió polvo y sí un poco de agua lodosa con el sedimento del fondo, posteriormente a los 28 m de profundidad comenzó a extraerse nuevamente polvo, indicando que la humedad había disminuido. A los 35 m nuevamente apareció humedad, por lo que hubo que continuar añadiendo agua por la tubería para poder extraer el sedimento del fondo que se iba formando

con el avance. Se continuó de esta forma hasta la profundidad final de 42.50 m. El pozo fue lavado con agua y soplado con aire desde el fondo, quedando seco y sin nivel de agua. El pozo fue entubado con tuberías plásticas de 2 pulgadas para mantenerlo en observación.

**POZO ELNH – 3.** El primer día se inició con un diámetro de 76 mm con la utilización de una espiral hasta la profundidad de 1.00 m donde se colocó una camisa para el emboquillado del pozo. Luego se cambió la herramienta de corte por un sistema rotopercutor. Se continuó perforando hasta la profundidad de 32.80 m. Durante este intervalo sólo se extrajo como sedimento el polvo impulsado desde dentro del pozo por la presión de aire (0.5 MP), comprobándose así la baja humedad en el mismo. A partir de esta profundidad apareció humedad por lo que hubo que continuar añadiendo agua por la tubería para poder extraer el sedimento fangoso del fondo que se iba formando con el avance y la presión de aire no podía sacarlo, ya que ni estaba seco ni había agua suficiente en el pozo para poder impulsarlo al exterior. Se continuó de esta forma hasta la profundidad de 35.00 m donde se detuvo la perforación por avería en la herramienta de corte.

El segundo día se continuó perforando de la misma forma, o sea, añadiendo agua para poder extraer el sedimento. A la profundidad de 60.00 m, se cambió la corona por una de diamante para tratar de tomar muestras para ensayos de humedad y peso volumétrico en la zona mineral en seco a diferentes intervalos y no fue posible, la corona se deterioró ya que sin circulación suficiente de agua, la presión, la inestabilidad que la máquina le ofrece al tren de sondeo, las revoluciones de esta y la categoría de las rocas hacen poco probable la recuperación del testigo. Se probó con una corona de tungsteno y el resultado fue similar. Se continuó perforando hasta la profundidad de 72.00 m, hasta atravesar la zona mineral.

El tercer día, el pozo fue rimado con una corona tricono de 6 pulgadas para posteriormente colocar las tuberías de un sistema airlift y evaluar con un bombeo de prueba, ya que este se encuentra en el centro del área. El pozo fue lavado con agua y soplado con aire, saliendo el agua hasta que finalmente solo salía aire. Esto indica que la acuosidad que poseen las rocas es sumamente baja.

**POZO ELNH – 4.** El primer día se inició con un diámetro de 76 mm con la utilización de una espiral hasta la profundidad de 1.00 m donde se colocó una camisa para el emboquillado del pozo. Luego se cambió la herramienta de corte por un sistema rotopercutor. Se continuó perforando hasta la profundidad de 30.00 m. Durante este intervalo sólo se extrajo como sedimento el polvo impulsado desde dentro del pozo por la presión de aire (0.5 MP), comprobándose así la baja acuosidad en el mismo. A partir de esta profundidad apareció humedad por lo que hubo que continuar añadiendo agua por la tubería para poder extraer el sedimento fangoso del fondo que se iba formando con el avance y la presión de aire no podía sacarlo, ya que ni estaba seco ni había agua suficiente en el pozo para poder impulsarlo al exterior. Se llegó hasta los 43.00 m.

El segundo día, al igual que en el pozo ELNH – 3 se intentó tomar muestras para humedad y peso volumétrico y el resultado fue el mismo, no se pudo tomar. El pozo fue lavado con agua y soplado con aire, saliendo todo el sedimento y al igual que los anteriores solo salió aire, denotando poca acuosidad.

Podemos decir que con solo las observaciones hidrogeológicas durante la perforación se ha detectado que en el área de los trabajos la acuosidad de las rocas es sumamente baja.

### ***3.3. Bombeos para la descolmatación de pozos.***

Como se mencionó en las observaciones durante la perforación de los pozos hidrogeológicos, los cuatro pozos, una vez terminados fueron lavados con circulación de agua limpia y bombeados con aire para eliminar el sedimento de la perforación. En todos los casos, el aire se inyectó a toda la potencia, y los mismos se abatieron completamente, indicando así la baja acuosidad de la zona. El mismo procedimiento se realizó en los pozos ELN – 70 y ELN – 76 para prepararlos para observaciones del régimen y el resultado fue el mismo.

### ***3.4. Bombeos de prueba***

**Pozo ELNH – 1.** Se organizó un bombeo de prueba una vez concluido y descolmatado para valorar la acuosidad del mismo. El pozo tiene una profundidad

de 40.40 m y se colocó un sistema airlift con hidroelevador hasta los 35.00 y tubería de inyección de aire de 30.00 m. Al iniciar el bombeo, la presión de aire extrajo toda la columna de agua, y el nivel se abatió hasta la profundidad del tubo de inyección de aire, y por la salida del agua, solo se obtuvo aire con alguna pequeña emulsión esporádica de aire – agua, lo que creó dificultades para medir el gasto por la alta presión del compresor y tan bajo caudal del pozo. Este bombeo se detuvo por la baja acuosidad en el pozo, muy difícil de medir.

**Pozo ELNH – 3.** Luego de analizar la ubicación y la profundidad de los pozos, se tomó la decisión de escoger este que se encuentra aproximadamente en el centro del área y es el de mayor profundidad de los pozos hidrogeológicos, para tratar de organizar un bombeo con bajo gasto que permita obtener parámetros de cálculo para determinar las afluencias de aguas subterráneas de forma cuantitativa y no estimadas por la baja acuosidad en la zona.

Se instaló un sistema airlift con la tubería de aire a 15.00 m, o sea a menor profundidad que en el ELNH – 1, con hidroelevador de 2 pulgadas para lograr vencer la columna de agua con menor presión de aire del compresor, la cual fue regulada y se obtuvo un caudal sumamente bajo de 0.01 l/seg pero medible, con un descenso del nivel hasta los 11.90 m, lo que permitió cuantificar los parámetros de filtración de las rocas.

El bombeo tuvo una duración de un turno de trabajo, se realizaron mediciones en los pozos ELN – 70, ELNH – 1 y ELNH – 2, y durante ese período no se reflejaron descensos en los mismos dada la baja permeabilidad de las rocas.



**Fig. No. 19.** Imagen de la instalación del sistema de bombeo.

### **3.4.1. Cálculo de los parámetros de filtración.**

Durante la ejecución de los bombeos, que se realizan para determinar los parámetros hidrogeológicos, hay que prestar especial atención a las cuestiones de determinación de las fuentes de formación de las reservas de aguas subterráneas, a la evaluación de la influencia que ejercen las particularidades estructurales de las rocas acuíferas y los límites de la zona de filtración así como los caudales de los pozos. Esto garantiza la elección argumentada del esquema de filtración, la determinación evidente de los parámetros hidrogeológicos calculados y la ejecución segura de las estimaciones técnicas y los pronósticos.

En el período inicial de los bombeos, el movimiento de las aguas subterráneas tiene un carácter marcadamente inestable. Sin embargo, después de un período relativamente corto, en torno al pozo empieza a desarrollarse una zona con un carácter casi estabilizado del régimen (las curvas de depresión en esta zona se desplazan paralelas a sí misma).

Con el desarrollo ulterior del embudo de depresión, puede ejercer influencia sobre su formación el trasiego del agua de los horizontes adyacentes en el corte, las fuentes de alimentación complementarias, los límites del estrato en el plano y otros factores. En función del carácter de acción de los factores señalados, el régimen de las aguas subterráneas puede estabilizarse (con límites abiertos y alimentación complementaria) o permanecer inestabilizado (con límites cerrados y sin fuentes de alimentación complementarias). En correspondencia con ello, la determinación de los parámetros a base de los bombeos debe efectuarse considerando las particularidades de uno u otro régimen de filtración y el carácter de los factores que influyen durante el proceso de bombeo.

Existen diferentes métodos de determinación de los parámetros hidrogeológicos, entre estos tenemos:

- Método de elección.
- Método de la curva de referencia.
- Método de puntos característicos.

- Métodos grafo-analíticos.

Los Métodos grafo-analíticos son los más difundidos en la práctica de los cálculos hidrogeológicos de determinación de los parámetros, basados en la posibilidad de representar las ecuaciones iniciales del movimiento del agua hacia el pozo, en forma de la ecuación de una recta. Para El Limón Nuevo, utilizamos los métodos grafo-analíticos de observación provisional por su mejor confiabilidad y uso práctico.

Para el cálculo de los parámetros de filtración de las rocas se utilizaron métodos grafo-analíticos de dependencia del abatimiento de los niveles (S) en función del tiempo, con los datos de la recuperación de los niveles que son más confiables que los datos de los descensos.

**Tabla 1. DATOS DE LA RECUPERACION POZO ELNH-3**

<b>TIEMPO (min)</b>	<b>S (m)</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>S (m)</b>	<b>TIEMPO (min)</b>	<b>S (m)</b>
0	0,00	70	1,57	345	4,00
3	0,50	75	1,64	375	4,22
6	0,75	80	1,70	435	4,64
9	0,78	90	1,80	495	5,04
12	0,80	100	1,92	555	5,42
15	0,85	110	2,02	615	5,77
20	0,90	120	2,11	675	6,11
25	0,96	135	2,28	735	6,43
30	1,04	150	2,42	795	6,73
35	1,12	165	2,55	855	7,01
40	1,16	180	2,68	915	7,28
45	1,23	195	2,80	975	7,53
50	1,32	225	3,06	1035	7,77
55	1,39	255	3,31	1095	8,00
60	1,45	285	3,54	1155	8,21
65	1,49	315	3,77		

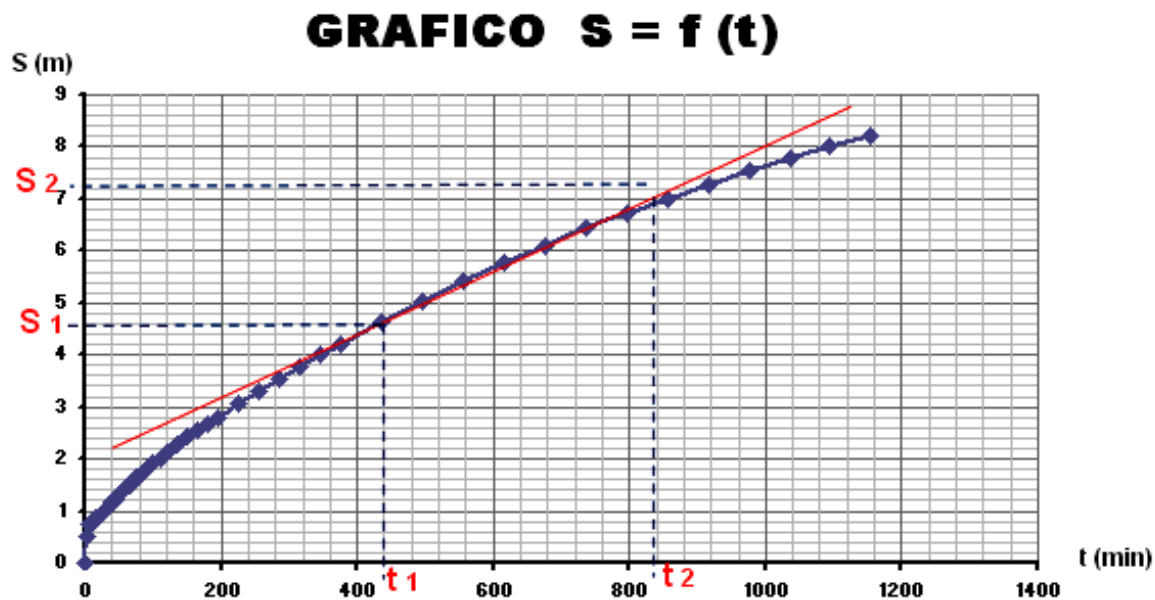


Gráfico. No. 1. Representación del método grafo-analítico.  $S = f(t)$

Para el cálculo del coeficiente de filtración utilizamos la siguiente ecuación:

$$K = 0.366 Q/B$$

Donde:

$K$  = coeficiente de filtración; m/día

$Q$  = Caudal;  $0.01 \text{ l/seg} = 0.864 \text{ m}^3/\text{día}$ .

$B$  = Coeficiente angular.

$$B = (S_2 - S_1) / (\text{Log } t_2 - \text{Log } t_1)$$

Del gráfico  $S = f(t)$  se obtiene:

$$S_1 = 4.60 \text{ m}$$

$$S_2 = 7.00 \text{ m}$$

$$t_1 = 440 \text{ min}$$

$$t_2 = 840 \text{ min}$$

Cálculo de logaritmo del tiempo:

$$\text{Log } t_1 = 2.64$$

$$\text{Log } t_2 = 2.92$$



Sustituyendo para cálculo de B:

$$B = (7.00 - 4.60)/(2.92 - 2.64) = 2.40/0.28$$

$$B = 8.57$$

Cálculo de K:

$$K = 0.366 (0.864)/8.57 = 0.158/8.57$$

$$K = 0.03689 \text{ m/día}$$

Como puede apreciarse, el coeficiente de filtración es sumamente bajo así como el caudal, lo que nos da una idea de la poca afluencia de aguas subterráneas que tendrán los laboreos mineros.

### 3.5. Observaciones del régimen.

A continuación mostramos el comportamiento de las oscilaciones del nivel en los pozos de observación.

Tabla .No.2. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH1

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
ELNH - 1	51,206	Junio	2,21	49,00
		Julio	1,95	49,26
		Agosto	1,73	49,48
		Septiembre	1,58	49,63
		Octubre	1,30	49,91
		Noviembre	1,70	49,51
		Diciembre	2,08	49,13
		Enero	1,95	49,26
		Febrero	2,03	49,18
		Marzo	2,12	49,09
		Abril	2,60	48,61
		Mayo	2,77	48,44
		Junio	2,94	48,27

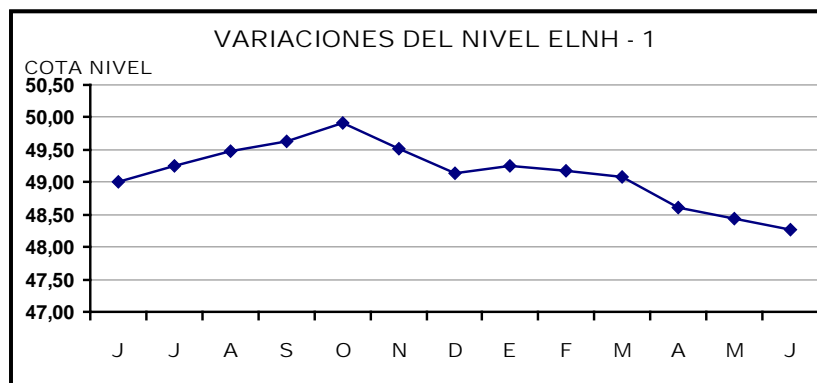


Gráfico .No.2. Variaciones del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-1

Tabla No.3. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH-2

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
ELNH - 2	54,467	Julio	8,40	46,07
		Agosto	7,95	46,52
		Septiembre	7,66	46,81
		Octubre	7,30	47,17
		Noviembre	6,90	47,57
		Diciembre	6,95	47,52
		Enero	6,97	47,50
		Febrero	OBSTRUIDO	
		Marzo	OBSTRUIDO	

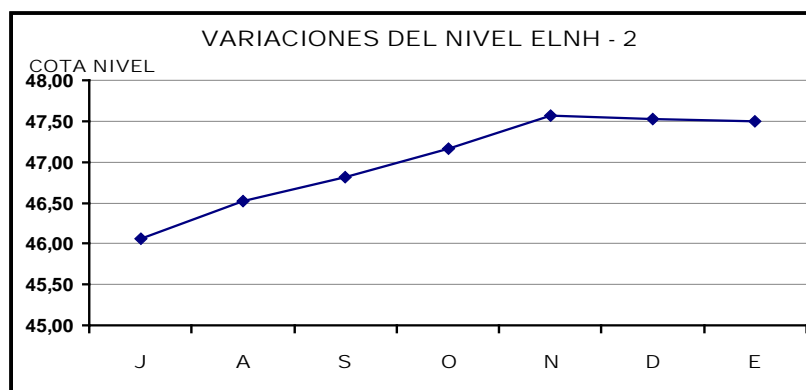


Gráfico.No.3. Variación del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-2

Tabla. No. 4. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH-3

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
ELNH – 3	54,126	Julio	5,15	48,98
		Agosto	4,54	49,59
		Septiembre	4,00	50,13
		Octubre	2,85	51,28
		Noviembre	2,95	51,18
		Diciembre	3,32	50,81
		Enero	3,60	50,53
		Febrero	4,00	50,13
		Marzo	4,50	49,63
		Abril	4,60	49,53
		Mayo	4,73	49,40
		Junio	4,78	49,35

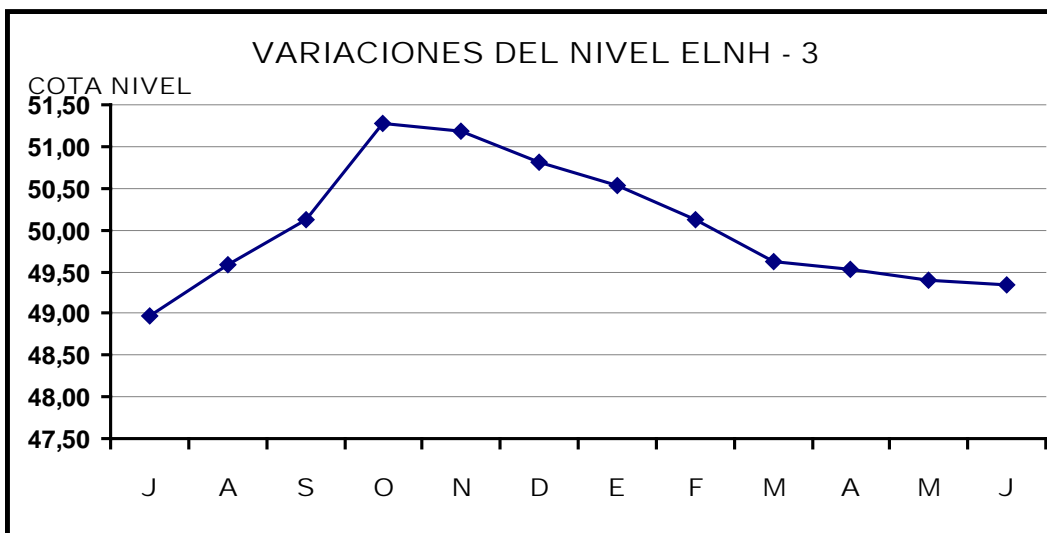


Gráfico. No. 4. Variaciones del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-3

Tabla. No. 5. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH-4

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
<b>ELNH - 4</b>	<b>57,187</b>	<b>Julio</b>	<b>9,70</b>	<b>47,49</b>
		<b>Agosto</b>	<b>5,20</b>	<b>51,99</b>
		<b>Septiembre</b>	<b>4,04</b>	<b>53,15</b>
		<b>Octubre</b>	<b>0,96</b>	<b>56,23</b>
		<b>Noviembre</b>	<b>2,20</b>	<b>54,99</b>
		<b>Diciembre</b>	<b>3,80</b>	<b>53,39</b>
		<b>Enero</b>	<b>4,10</b>	<b>53,09</b>
		<b>Febrero</b>	<b>4,65</b>	<b>52,54</b>
		<b>Marzo</b>	<b>5,22</b>	<b>51,97</b>
		<b>Abril</b>	<b>6,40</b>	<b>50,79</b>
		<b>Mayo</b>	<b>6,71</b>	<b>50,48</b>
		<b>Junio</b>	<b>7,37</b>	<b>49,82</b>

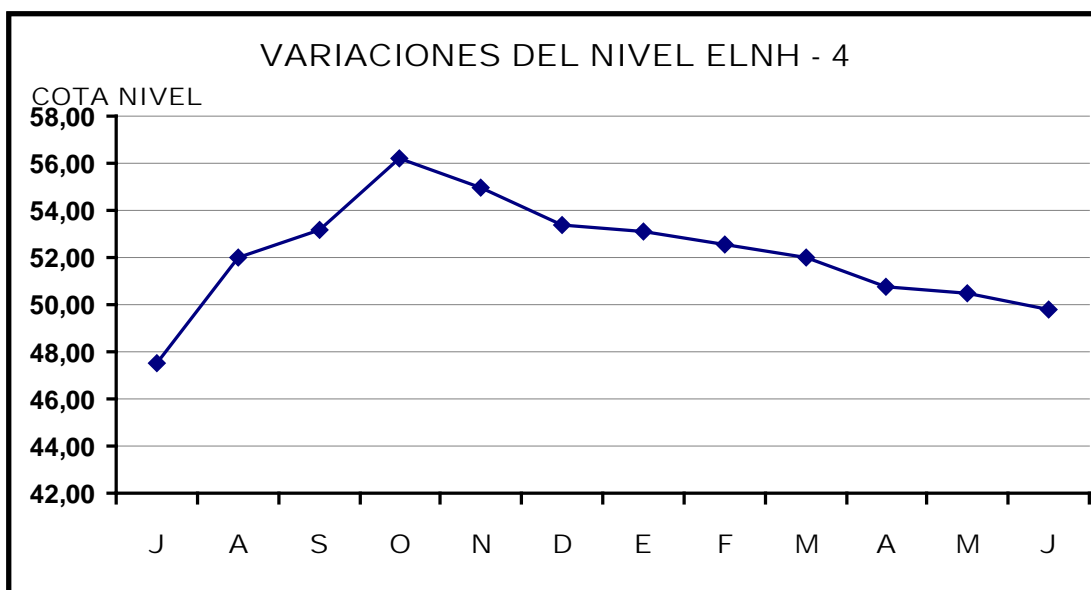


Gráfico. No. 5. Variaciones del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-4

Tabla. No. 6. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH-70

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
<b>ELN - 70</b>	<b>51,905</b>	<b>Julio</b>	<b>1,85</b>	<b>50,06</b>
		<b>Agosto</b>	<b>1,52</b>	<b>50,39</b>
		<b>Septiembre</b>	<b>1,13</b>	<b>50,78</b>
		<b>Octubre</b>	<b>0,90</b>	<b>51,01</b>
		<b>Noviembre</b>	<b>1,58</b>	<b>50,33</b>
		<b>Diciembre</b>	<b>4,02</b>	<b>47,89</b>
		<b>Enero</b>	<b>4,60</b>	<b>47,31</b>
		<b>Febrero</b>	<b>5,10</b>	<b>46,81</b>
		<b>Marzo</b>	<b>5,66</b>	<b>46,25</b>
		<b>Abril</b>	<b>4,15</b>	<b>47,76</b>
		<b>Mayo</b>	<b>3,29</b>	<b>48,62</b>
		<b>Junio</b>	<b>3,06</b>	<b>48,85</b>

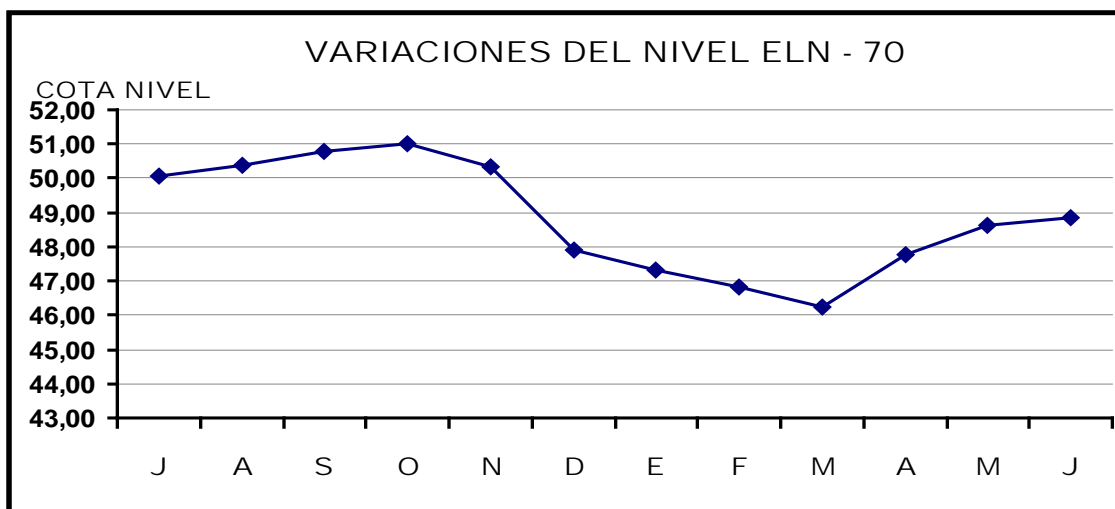


Gráfico. No.6 Variaciones del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-70

Tabla. No. 7. Representación de las oscilaciones del nivel de las aguas subterráneas en el pozo ELNH-76

POZO	COTA	FECHA	NIVEL (m)	COTA NIVEL
<b>ELN - 76</b>	<b>58,413</b>	<b>Julio</b>	<b>8,80</b>	<b>49,61</b>
		<b>Agosto</b>	<b>8,52</b>	<b>49,89</b>
		<b>Septiembre</b>	<b>8,27</b>	<b>50,14</b>
		<b>Octubre</b>	<b>5,32</b>	<b>53,09</b>
		<b>Noviembre</b>	<b>7,19</b>	<b>51,22</b>
		<b>Diciembre</b>	<b>7,73</b>	<b>50,68</b>
		<b>Enero</b>	<b>8,05</b>	<b>50,36</b>
		<b>Febrero</b>	<b>8,43</b>	<b>49,98</b>
		<b>Marzo</b>	<b>8,80</b>	<b>49,61</b>
		<b>Abril</b>	<b>8,80</b>	<b>49,61</b>
		<b>Mayo</b>	<b>8,76</b>	<b>49,65</b>
		<b>Junio</b>	<b>8,76</b>	<b>49,65</b>

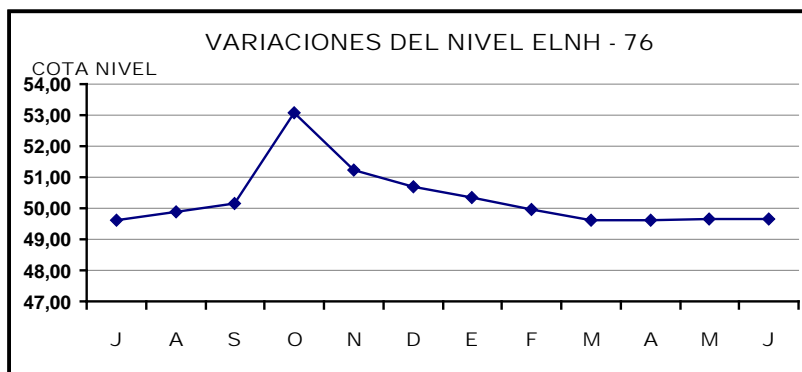


Gráfico. No.7 Variaciones del nivel de las aguas subterráneas para el pozo ELNH-76

Como puede observarse en los gráficos la mayor amplitud de las oscilaciones del nivel se registraron en el pozo ELNH – 4 con un rango de 8.74 m, mientras que la menor amplitud se registró en el pozo en el pozo ELNH – 2 con una amplitud de 1.50 m.

Queremos decir que en la zona el período de sequía 2010 – 2011 ha sido uno de los más intensos de los últimos años, solamente superado por la sequía de los años 2003 – 2004.

### 3.6. Resultados de las observaciones hidrogeológicas en el pozo minero y galería.

Durante la construcción de los laboreos subterráneos se midió el caudal de agua que aportaban las rocas durante el avance de estas operaciones. Se construyó un gráfico de **Gasto – Longitud de los laboreos** que permitió establecer las variaciones de los caudales en los diferentes estadios de estos.

Durante los primeros 7.00 m no se observaban afluencias al pozo, solo había un poco de humedad que con la aireación y el sol se secaba. A partir de esta profundidad se observaron débiles escurrimientos por las paredes que acumulaban pequeños volúmenes de agua que se extraían con los escombros. Posteriormente se incrementó paulatinamente pero en muy poca cantidad. Con este gráfico, se comprobó también la baja acuosidad de las rocas que confirman la idea de que las condiciones hidrogeológicas para la explotación de este yacimiento son simples, comparable con los resultados de cálculo del bombeo de prueba realizado en el pozo ELNH – 3.

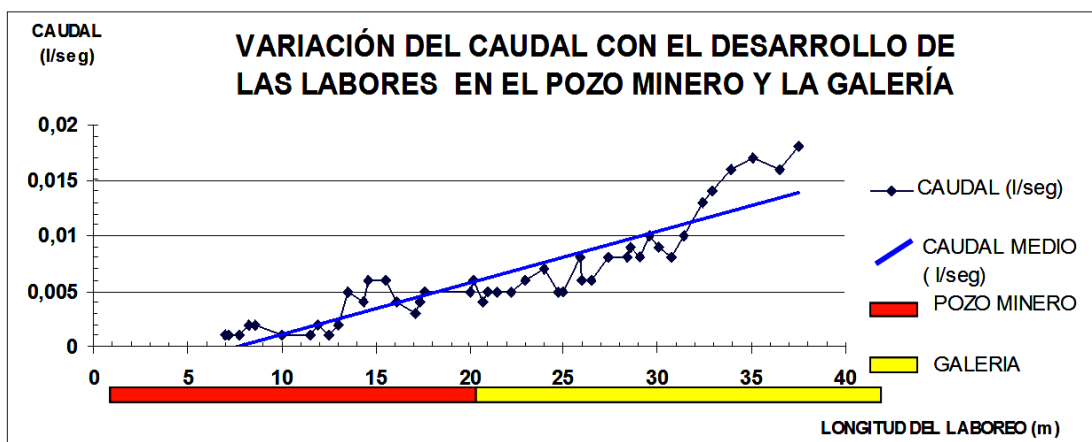


Gráfico. No. 8. Variación del caudal en el pozo minero y galería.

### 3.7. Composición química de las aguas subterráneas.

Los resultados de los análisis químicos de aguas subterráneas realizados a las muestras tomadas en el pozo ELNH – 4 y los laboreos subterráneos se ofrecen en la siguiente tabla:

Tabla. No. 8. Resultados de los análisis químicos para el pozo ELNH-4 y el pozo minero y galería.

LABOR	COND. ELECT. (uS/cm)	PH (u)	CO <sub>3</sub> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> (mg/l)	Cl (mg/l)	SO <sub>4</sub> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	SST (mg/l)
<b>ELNH-4</b>	<b>504</b>	<b>6.37</b>	<b>0</b>	<b>142</b>	<b>73</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>364</b>
<b>POZO MINERO</b>	<b>9310</b>	<b>7.25</b>	<b>0</b>	<b>459</b>	<b>2360</b>	<b>1200</b>	<b>212</b>	<b>214</b>	<b>1488</b>	<b>14</b>	<b>6007</b>

Para la clasificación de las aguas según Kurlov se calcularon los contenidos de miligramos por litro a miliequivalentes, y resultó lo siguiente:

Tabla. No. 9. Contenido de mili-equivalentes por litros (Meq/l) de las muestras del pozo ELNH-4 y el pozo minero y galería.

LABOR	ANIONES	Meq/l	CATIONES	Meq/l	LABOR	ANIONES	Meq/l	CATIONES	Meq/l
ELNH-4	CO <sub>3</sub>	0.00	Ca <sup>2+</sup>	0.25	POZO MIN.	CO <sub>3</sub>	0.00	Ca <sup>2+</sup>	10.58
	HCO <sub>3</sub>	2.33	Mg <sup>2+</sup>	1.73		HCO <sub>3</sub>	7.52	Mg <sup>2+</sup>	17.60
	Cl	2.06	Na <sup>+</sup>	0.26		Cl	66.57	Na <sup>+</sup>	64.72
	SO <sub>4</sub>	0	K <sup>+</sup>	0		SO <sub>4</sub>	25.00	K <sup>+</sup>	0.36

**Fórmula de Kurlov:**

$$\text{ELNH} - 4 = \text{Ph (6.37), Cond. (504 uS/cm)} \frac{\text{HCO}_3 (53.07\%) \text{ Cl (47.92\%)}}{\text{Mg (77.23 \%)}} \text{M (364 mg/l)}$$

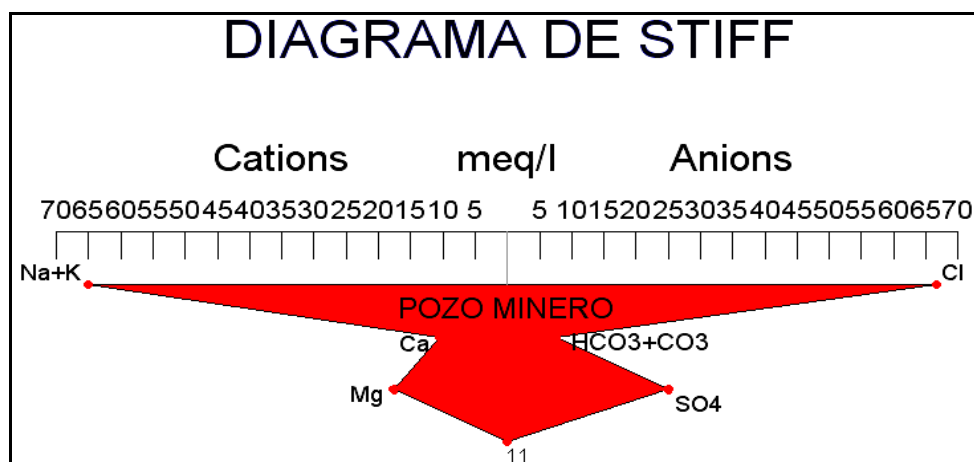
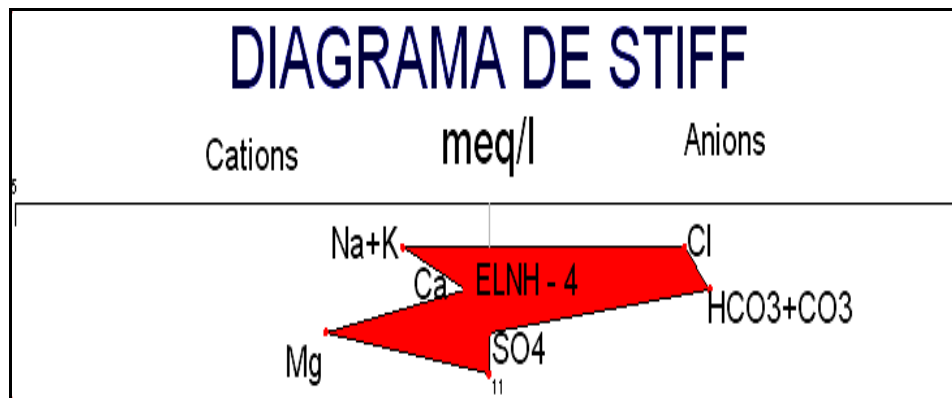
Las aguas del pozo ·ELNH- 4 resultaron ser Bicarbonatadas-Cloruradas-Magnésicas.

$$\text{POZO MIN.} = \text{Ph (7.25), Cond. (9310 uS/cm)} \frac{\text{Cl (67.18\%) SO}_4 (25.22\%) }{\text{Na (69.39\%)}} \text{M (6007 mg/l)}$$

Las aguas en el pozo minero resultaron ser Cloruradas-Sulfatadas-Sódicas, con alta mineralización; esto es debido a que están en contacto directo con la zona mineralizada.



### Representación gráfica de la composición química de las aguas:



Según los resultados de los análisis químicos realizados a las muestras de agua, podemos decir que las aguas en el entorno del pozo ELNH – 4 son del tipo Bicarbonatadas Cloruradas Magnésicas con mineralización de 364 mg/l; mientras que en el Pozo Minero las aguas son del tipo Cloruradas Sulfatadas Sódicas con mineralización de 6007 mg/l. Si observamos el mapa hidrogeológico (Anexo gráfico No. 1), podemos observar que la ubicación del pozo ELNH – 4 se encuentra en una de las zonas más elevadas del relieve en el área, que puede constituir una zona de alimentación de las aguas subterráneas, donde las precipitaciones que se infiltran han tenido poca circulación entre las rocas, de ahí su baja mineralización con relación al contenido en el Pozo Minero que se encuentra en la zona más baja donde las aguas subterráneas han tenido un mayor

recorrido. A esto se le suma la baja permeabilidad de las rocas (Coeficiente de filtración = 0.03698 m/día) que hace que el movimiento de las aguas sea sumamente lento, contribuyendo al enriquecimiento de sales en su movimiento.

Con relación a la agresividad de las aguas se les determinó el Índice de Estabilidad y la muestra del pozo ELNH – 4 resultó ser débilmente agresiva, mientras que la muestra en el Pozo Minero es depositante (no agresiva). Esta agresividad del pozo ELNH – 4, puede estar relacionada con el Ph, que es ligeramente ácido (6.37). Con relación a la muestra en el Pozo Minero podemos decir que por su mineralización (6007 mg/l) y el tipo de agua Clorurada – Sulfatada – Sódica, puede constituir un medio agresivo, fundamentalmente para los equipos de bombeo que deben estar constituidos de materiales resistentes a la salinidad.

### **3.8. Precipitaciones.**

En la región de los trabajos aparecen varios pluviómetros de la red de observación que posee el INRH para el registro de las precipitaciones. En el informe sobre los datos de las precipitaciones emitido por esta institución aparecen los registros de las precipitaciones de los 4 pluviómetros más cercanos al área de los trabajos con precipitaciones medias mensuales y las máximas caídas en 24 horas.

Para nuestros cálculos hemos utilizado los datos del pluviómetro 576 por encontrarse más cercano a nuestra zona de trabajo (4 Km). Los datos de este pluviómetro se ofrecen a continuación:

Tabla. No.10. Datos del pluviómetro No 576.

No Pluv.	Nombre	Coordenadas		Altitud (m)	Etapas
		N	E		
576	Yamagual	292.4	449.6	35	1996-2016

Tabla. No. 11. Resultados de las precipitaciones media caídas en la etapa de 1996-2016.

MEDIA ETAPA 1996 - 2016 (mm)													
Pluv.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Juli.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
576,0	29,6	37,8	41,1	62,8	159,3	164,6	96,7	111,8	175,8	176,0	85,5	41,8	1182,64

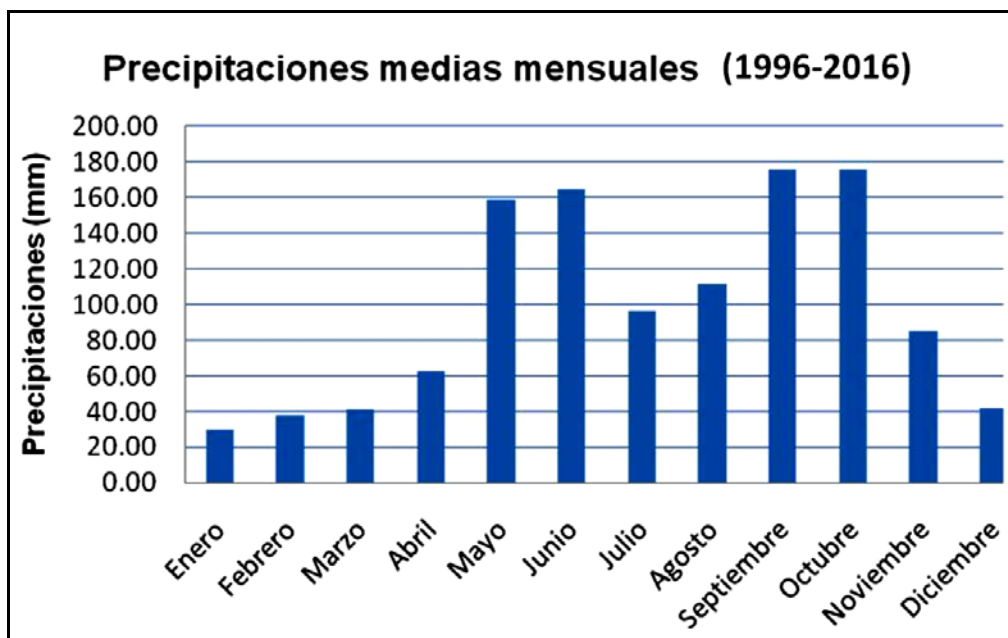


Gráfico. No. 9 . Precipitaciones medias mensuales 1996-2016

Tabla . No. 12. Precipitaciones máximas en 24 horas.

Pluviómetro	Máx. en 24 horas	Fecha
576	193.5 mm	07-09-2008

### 3.9. Afluencias de agua al desarrollo minero estimadas.

Las afluencias de agua durante el desarrollo minero pueden producirse por dos vías, una por las aguas subterráneas y la otra por las precipitaciones.

#### 3.9.1. Cálculo de las afluencias de aguas subterráneas.

Para el cálculo de la afluencia subterránea se utilizó la fórmula para un gran pozo:

$$Q = K (2H - S_o) S_o / (0.366) \text{ Log } (Rn/\gamma_o)$$

Donde:

Q = Afluencia subterránea m<sup>3</sup>/día).

K = Coeficiente de filtración. (0.03689 m/día).

$S_o$ = Diferencia entre el nivel del piso de la cantera y la cota del nivel estabilizado (m).

$H$  = Potencia del acuífero (m).

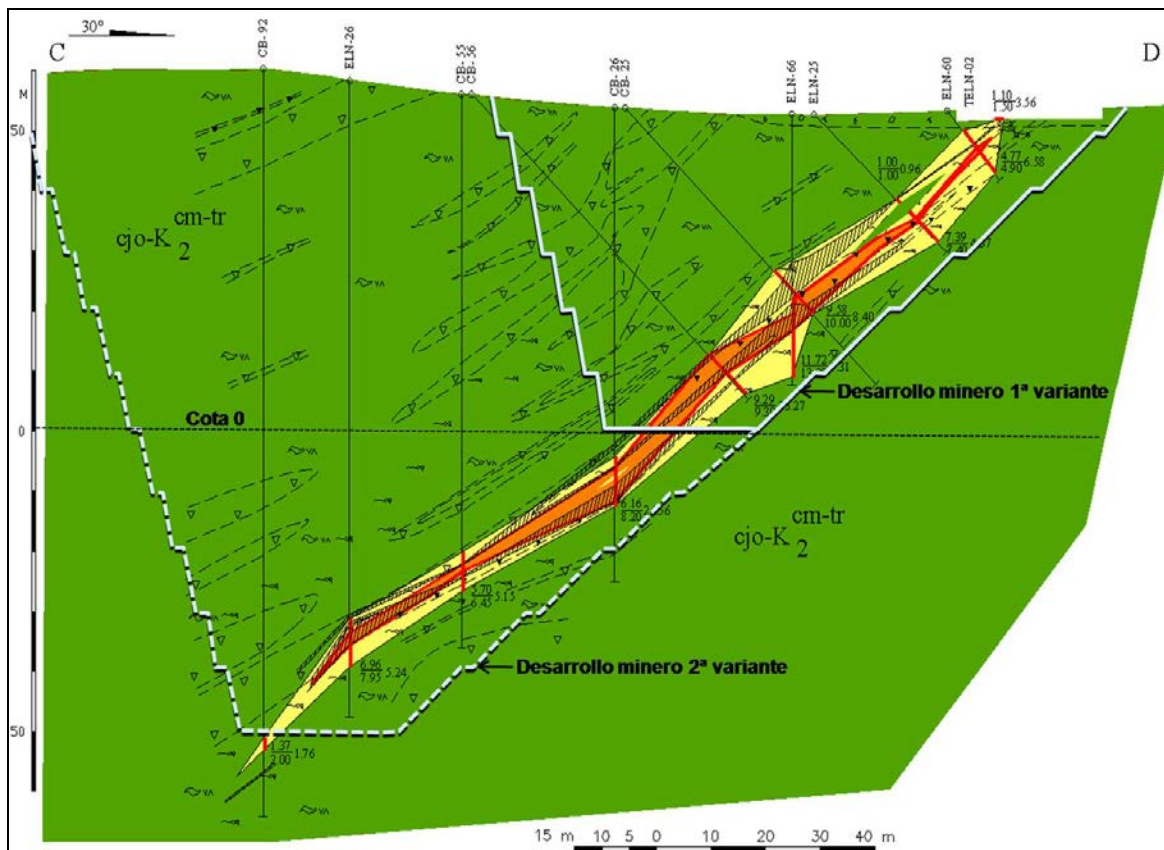
$R_n$ =Radio de influencia no estabilizado (m).

$\gamma_o$  = Radio de la cantera (m).

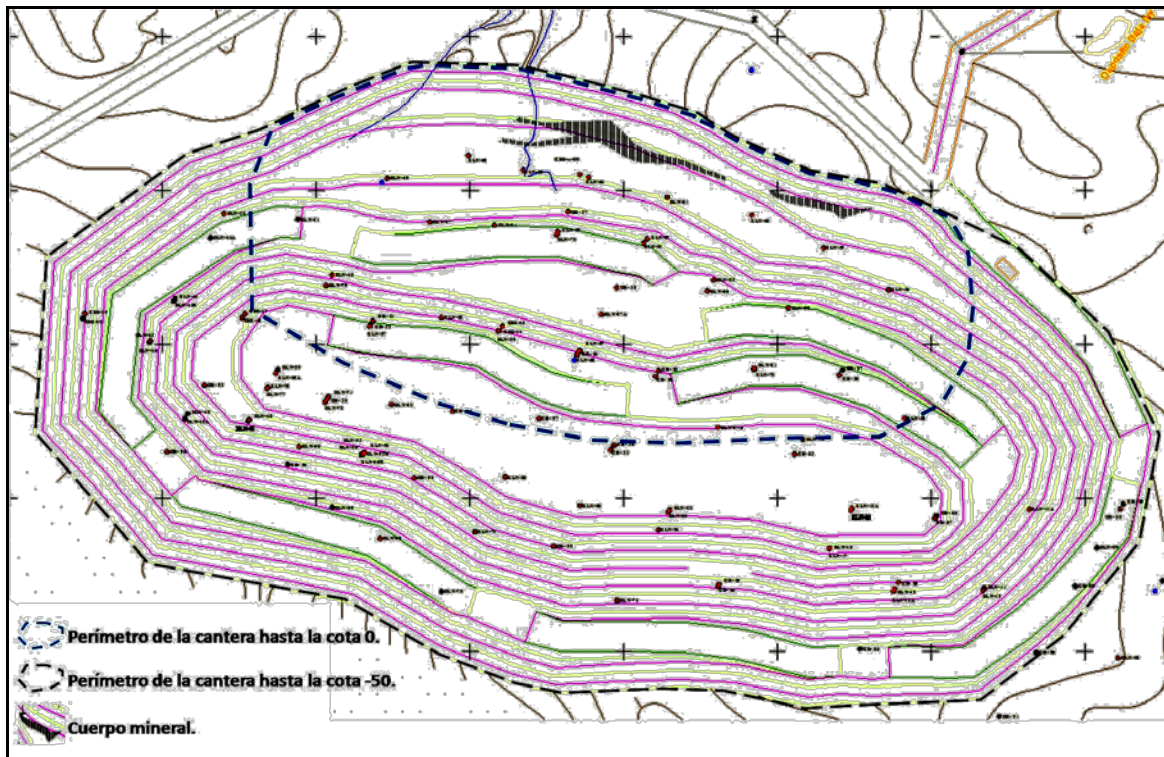
$$\gamma_o = \sqrt{S / \pi}$$

$S$  = Área de la cantera.

Se calculan 2 variantes en el desarrollo de la mina. Una variante es para una explotación hasta la cota 0 en un tiempo hasta los tres primeros años y otra variante hasta la cota -50 a los 7 años de explotación.



**Fig. No. 20.** Esquema de las variantes de desarrollo minero en el corte para el cálculo de las afluencias de agua.



**Fig. No. 21.** Esquema de las variantes de desarrollo minero en planta para el cálculo de las afluencias de agua.

**Variante 1: AREA CANTERA = 37 655 m<sup>2</sup>, PROFUNDIDAD HASTA LA COTA CERO.**

$$K = 0.03689 \text{ m/día}$$

$$R_n = 1.5 \sqrt{a t + \gamma_0}$$

Donde:

$a$  = Coeficiente 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>/día

$t$  = Tiempo de explotación. (Estimado 3 años = 1095 días)

$$\gamma_0 = \sqrt{37\,655 / 3.14} = 109.51 \text{ m}$$

$$R_n = 1.5 \sqrt{10000(1095) + 109.51}$$

$$R_n = 4963.64 \text{ m}$$

La cota media del nivel del agua estabilizado para el área es 51.44 m. (Calculada de los gráficos de observaciones del régimen del mes de octubre, que fue cuando los niveles alcanzaron la mayor altura).

La cota del piso de la cantera es 0.00 m.

$$S_o = 51.44 \text{ m}$$

$$H = 51.44 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación inicial tenemos:

$$Q = 0.03689 [2(51.44) - (51.44)] 51.44 / (0.366) \text{ Log } (4963.64 / 109.51)$$

$$Q = 0.03689 (2646.07) / 0.366 (1.656)$$

$$Q = 97.61 / 0.606$$

$$Q = 161.07 \text{ m}^3/\text{día} = 6.71 \text{ m}^3/\text{h} = 111.85 \text{ l/min} = 1.86 \text{ l/seg}$$

**Variante 2: AREA CANTERA = 92 823,66 m<sup>2</sup>, PROFUNDIDAD HASTA LA COTA -50.**

$$K = 0.036.89 \text{ m/día}$$

$$R_n = 1.5 \sqrt{a t + \gamma_o}$$

Donde:

a = Coeficiente 10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>/día

t = Tiempo de explotación. (Estimado 7 años = 2555 días)

$$\gamma_o = \sqrt{92\,823,66 / 3.14} = 171.89 \text{ m}$$

$$R_n = 1.5 \sqrt{10000(2555) + 171.89}$$

$$R_n = 7582.07 \text{ m}$$

La cota media del nivel del agua estabilizado para el área es 51.44 m.

La cota del piso de la cantera es -50.00 m.

$$S_o = 101.44 \text{ m}$$

$$H = 101.44 \text{ m}$$

Sustituyendo en la ecuación inicial tenemos:

$$Q = 0.03689 [2(101.44)-(101.44)] 101.44 / (0.366) \text{ Log } (7582.07/244.57)$$

$$Q = 0.03689 (10290.07) / 0.366 (1.491)$$

$$Q = 379.60 / 0.545$$

$$Q = 696.51 \text{ m}^3/\text{día} = 29.02 \text{ m}^3/\text{h} = 483.69 \text{ l/min} = 8.06 \text{ l/seg}$$

Los resultados de los cálculos nos indican que las afluencias de agua subterránea a una cantera con las características antes señaladas son bajas, por lo que se confirma que las condiciones hidrogeológicas son simples.

### ***3.9.2. Cálculo de las afluencias de agua por las precipitaciones.***

Para calcular el volumen de agua por precipitaciones, al igual que para los cálculos de las afluencias subterráneas, se tuvo en cuenta dos etapas de desarrollo de la cantera, con dos variantes de cálculo. La fórmula utilizada para el cálculo de estas afluencias fue:

$$V = WA$$

Donde:

$$V = \text{Afluencias de agua a la cantera (m}^3/\text{día)}$$

$$W = \text{Precipitaciones máximas en 24 horas (m).}$$

$$A = \text{Área de la cantera (m}^2\text{)}$$

De acuerdo a los valores del pluviómetro Yamagual (No. 576), el valor de precipitaciones máximas para 24 horas fue de 193.5 mm el día 7 de Septiembre del 2008, lo que equivale a 0.1935 m/día.

$$\text{Variante 1: AREA CANTERA} = 37\,655 \text{ m}^2$$

$$W = 0.1935 \text{ m/día.}$$

$$A = 37\,655 \text{ m}^2.$$

$$V = (0.1935) (37\,655)$$

$$V = 7\,286.24 \text{ m}^3/\text{día}$$

El volumen de afluencias por precipitaciones para esta fase de desarrollo es de 7 286.24 m<sup>3</sup>/día.

$$\text{Variante 2: AREA CANTERA} = 92\,823.66 \text{ m}^2$$

$$W = 0.1935 \text{ m/día}$$

$$A = 92\,823.66 \text{ m}^2$$

$$V = (0.1935) (92\,823.66)$$

$$V = 17\,961.38 \text{ m}^3$$

El volumen de afluencias por precipitaciones para la segunda fase de desarrollo es de 7 286.24 m<sup>3</sup>/día.

### **3.9.3. *Calculo de las afluencias totales.***

El cálculo comprende la suma de las afluencias subterráneas más las precipitaciones máximas en 24 horas. Al igual que en los cálculos anteriores se tiene en cuenta las dos variantes con diferentes diámetros de la cantera.

$$\text{Variante 1: AREA CANTERA} = 37\,655 \text{ m}^2$$

$$VT_1 = Q_1 + V_1$$

Donde:

$$VT_1 = \text{Afluencias totales variante 1 (m}^3/\text{día)}.$$

$$Q_1 = \text{Afluencias de agua subterránea en la variante 1 (m}^3/\text{día)}.$$

$$V_1 = \text{Volumen de agua por precipitaciones en la variante 1 (m}^3/\text{día)}.$$

$$VT_1 = 161.07 + 7\,286.24$$

$$VT_1 = 7\,447.31 \text{ m}^3/\text{día}$$



**Variante 2: AREA CANTERA = 92 823,66 m<sup>2</sup>**

$$VT_2 = Q_2 + V_2$$

Donde:

$VT_2$  = Afluencias totales variante 2 (m<sup>3</sup>/día).

$Q_2$  = Afluencias de agua subterránea en la variante 2 (m<sup>3</sup>/día).

$V_2$  = Volumen de agua por precipitaciones en la variante 2 (m<sup>3</sup>/día).

$$VT_2 = 696.51 + 17\,961.38$$

$$VT_2 = 18\,657.89 \text{ m}^3/\text{día}$$

Las máximas afluencias, considerando condiciones extremas de máximas precipitaciones en 24 horas son para el estadio de desarrollo de la cantera hasta la cota cero de **7 447.31 m<sup>3</sup>/día**. Para el máximo desarrollo de la cantera hasta la cota - 50 es de **18 657.89 m<sup>3</sup>/día**.

### ***3.10. Condiciones hidrogeológicas del yacimiento.***

Por los resultados de los trabajos hidrogeológicos realizados y la constitución geológica, predominantemente compuesta de rocas volcánicas del tipo lavabrechas andesito dacíticas y vetas de cuarzo, podemos decir que estamos en presencia de un acuífero freático, agrietado, cuyo agrietamiento está relleno por compuestos minerales como cuarzo, calcita, y ocasionalmente arcillas, que le confieren una baja permeabilidad.

Si observamos el mapa hidrogeológico (Anexo Gráfico No. 1) podremos ver que la dirección del flujo subterráneo tiene una dirección promedio de sur a norte, con un gradiente hidráulico suave como es de esperar en estos tipos de acuíferos en correspondencia con las formas del relieve, de las zonas altas hacia las bajas. Todo parece indicar que la zona de alimentación de las aguas subterráneas en el sector se encuentran en las partes elevadas al sur del área, desde donde estas drenan hacia el norte con una velocidad muy baja, lo que permite que paulatinamente estas aguas se vayan enriqueciendo de sales minerales que disuelven de las rocas a su paso, y de ahí que hacia el norte la mineralización de

las mismas aumente como se identificó con los resultados de las muestras hidroquímicas.

Sobre las propiedades de filtración de las rocas se puede decir que estas son muy bajas, demostrándose con los trabajos realizados como las observaciones durante la perforación, lavados, bombeos de prueba, observaciones y mediciones durante la ejecución de los laboreos subterráneos. Los cálculos arrojaron parámetros sumamente bajos, un coeficiente de filtración de 0.03689 m/día y las afluencias de aguas subterráneas son mínimas.

Por lo antes expuesto podemos afirmar que las condiciones hidrogeológicas del sector El Limón Nuevo del sistema vetítico Jacinto son simples para someterlo a una explotación minera. Sólo que hay que tener en cuenta los sistemas de drenaje perimetrales para evacuar el escurrimiento de las aguas de las precipitaciones, y la posible agresividad a los equipos de bombeo de las aguas subterráneas por la alta mineralización, principalmente en las zonas de mineralización aurífera. Por lo demás los equipos de bombeo habituales no requerirán de alta potencia, pues los volúmenes a evacuar son mínimos, sólo debe contarse con una reserva de mayor capacidad para los casos de precipitaciones extremas y obtener un rápido desagüe.

### ***3.11. Posibilidades de abasto de agua.***

En la región de los trabajos es muy difícil garantizar el abasto de agua mediante pozos utilizando las aguas subterráneas. Por lo general las rocas volcánicas del cretácico en el territorio son poco permeables, y en especial, en la zona del yacimiento la acuosidad de estas es muy baja y con una mineralización relativamente alta.

La posibilidad de resolver este problema sería creando condiciones para embalsar agua en el río Ciego Molina. En sentido general en la zona, el río Ciego Molina tiene un caudal de 0.91 m<sup>3</sup>/seg y pasa un volumen medio de 29.6 MMm<sup>3</sup>/año.

Estos cálculos deben ser precisados con el INRH, y la propuesta de la presa Las Piedras cercana al área como su más probable fuente de abasto.

## **CONCLUSIONES**

1. El coeficiente de filtración (K) obtenido fue de 0,03689 m/día, donde se demuestra que las propiedades de filtración de las rocas, así como su permeabilidad es muy baja.
2. El cálculo de afluencias totales para la cota 0 es de 7447,31 m<sup>3</sup>/día en 3 años y para la cota -50 es de 18657,89 m<sup>3</sup>/día en 7 años, estos resultados aparejados a las observaciones del régimen indican que el sector El Limón Nuevo de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas puede someterse a una futura explotación minera, dado que los volúmenes de agua a evacuar son mínimos.
3. El cálculo de afluencias totales para la cota 0 es de 7447,31 m<sup>3</sup>/día en 3 años y para la cota -50 es de 18657,89 m<sup>3</sup>/día en 7 años, estos resultados aparejados a las observaciones del régimen indican que el sector El Limón Nuevo de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas puede someterse a una futura explotación minera, dado que los volúmenes de agua a evacuar son mínimos.
4. Las condiciones hidrogeológicas en el yacimiento son simples debido a la poca afluencia de las aguas subterráneas y a las precipitaciones.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda crear sistemas de drenaje perimetrales en el borde de la cantera para evacuar el escurrimiento de las aguas de las precipitaciones y que no penetren en la zona de los laboreos.
2. Considerar la posible agresividad de las aguas subterráneas a los equipos de bombeo por la alta mineralización que presentan, principalmente en las zonas de mineralización aurífera, por lo que estos deben ser resistentes a la salinidad.
3. Debe crearse una red de monitoreo de las aguas subterráneas antes y durante la explotación del yacimiento con pozos en el área de la concesión minera y su entorno, consistente en muestreos hidroquímicos periódicos, que permita aclarar si hay o no afectaciones al medio ambiente por parte de la minería, para tomar medidas correctivas y de mitigación si es necesario.

## **BIBLIOGRAFIA.**

- ALEKIN O. A. 1970. ***Fundamentos de Hidroquímica***. Editorial Mir, Moscú.
- BINDEMAN N.N. y L. S. YAZVIN. 1970. ***Estimación de las reservas de explotación de aguas subterráneas***. Editorial Mir. Moscú.
- CASTANY G. 1971. ***Tratado Práctico de las Aguas Subterráneas***. Ediciones Omega. Barcelona.
- COLECTIVO DE AUTORES. 1989. ***Atlas de Camagüey***. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba. Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana. 115 pp.
- COLECTIVO DE AUTORES. 1994. ***Léxico Estratigráfico de Cuba***. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS. La Habana. 364 pp.
- COLECTIVO DE AUTORES. 2001. ***Mapa Geológico de Cuba. Formato Digital. Esc. 1:100 000. Grupo CASIG***. Instituto de Geología y Paleontología. MINBAS.
- COLECTIVO DE AUTORES. 2016. ***Proyecto para la Exploración Complementaria Oro Jacinto***. MINEM.
- CUSTODIO E. Y LLAMAS M.R. 1976. ***Hidrología Subterránea***. Ediciones Omega, Barcelona.
- D'ELIA M.P. 2013. ***Conceptos Básicos Sobre Hidrología Subterránea***. Bolivia.

- EGOROV. S. V. Y J.R. LUEGUE. 1967. **Hidrogeología de Cuba**. La Habana.
- EDWARD E. 1975. **El Agua Subterránea y los Pozos**. Johnson Division UOP, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- GONZALEZ DE VALLEJO. Ingeniería Geologica Madrid 2002.ISBN 84-205-3104-9 pag.263-302.
- ITURRALDE-VINENT, M.A. 2011. **Compendio de Geología de Cuba y del Caribe**. CITMATEL y RTV Comercial. DVD.ROM. La Habana.
- KLIMENTOV. P.P Y V. M. KÓNONOV. 1973. **Dinámica de las Aguas Subterráneas** Editorial Mir. Moscú.
- KLIMENTOV. P.P Y V. M. KÓNONOV. 1978. **Metodología de las Investigaciones Hidrogeológicas**. Editorial Mir. Moscú.
- KRUSEMAN G.P. Y DE RIDDER N.A. 1975. **Análisis y Evaluación de Ensayos por Bombeo**. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, Holanda.
- MATEO J. Y L. IÑIGUEZ. 1980. **Geografía Física de Cuba**. Editorial MES. Universidad de La Habana.
- MIJAILOV L. 1985. **Hidrogeología**. Editorial Mir. Moscú.
- MORÓZOF P.N. 1975. **Desagüe Subterráneo y Métodos para Determinarlo**. Editorial LGMI. Moscú.
- OLIVA G. 1989. **Nuevo Atlas Nacional de Cuba**. Instituto de Geografía, ACC.
- RODRÍGUEZ F. **Curso Básico de Hidrogeología**. Inédito. 53 p. 2012.
- ROMERO J. 1983. **Evaluación Hidrogeológica e Ingeniero Geológica de Yacimientos Minerales**. MINBAS.
- TARBUCKE J. Y LUTGENS F. K. 2005. **Ciencias de la Tierra**. Octava edición. Madrid.

VILLANUEVA M. E IGLESIAS A. 1984. ***Pozos y acuíferos. Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo.*** ITGE. España.

### ***ANEXO GRÁFICO.***

1. Mapa Hidrogeológico. Escala 1:500.