

RAFAEL OSIRIS DE LEÓN

CONFERENCIAS GEOLOGICAS

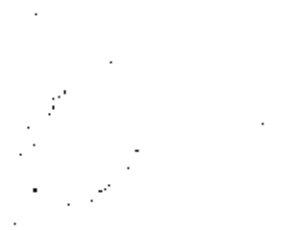


MUSEO NACIONAL DE HISTORIA NATURAL





95-95-031936 (1e)



PUBLICACIONES ESPECIALES

Museo Nacional de Historia Natural

Conferencias Geologicas

Rafael Osiris de León



Museo Nacional de Historia Natural, Plaza de la Cultura
Santo Domingo, República Dominicana

© 1994 by the author

1994

Título Original: Conferencias Geológicas

Autor: ING. GEOL. RAFAEL OSIRIS DE LEÓN

Impresión: Banco Central de la República Dominicana

Hecho el Depósito que indica la
Ley en la Biblioteca Nacional.

Derechos Reservados Conforme a la Ley.



A LA MEMORIA DE NUESTRO QUERIDO AMIGO

Ing. José Rafael Ordeix Cabral

Quien a través del tiempo demostró tener una clara concepción de la importancia de la geología en todo proyecto de Ingeniería.

CONFERENZA INTERNAZIONALE DI SCIENZE UMANE

1974 - ROMA

CONFERENZA INTERNAZIONALE DI SCIENZE UMANE
1974 - ROMA
CONFERENZA INTERNAZIONALE DI SCIENZE UMANE
1974 - ROMA

BIBLIOTECA **AGN**



010568

010568

2.8.11.
551
L523e

ING. GEÓL. RAFAEL OSIRIS DE LEÓN

CONFERENCIAS GEOLOGICAS

MUSEO NACIONAL DE HISTORIA NATURAL



INDICE

PAGINA

MINERALIZACIONES AURIFERAS EN LOMA NANDITA	5
RESUMEN	5
ANTECEDENTES	9
LOCALIZACION	10
GEOLOGIA	12
GEOQUIMICA	24
TRONCHERAS	32
GEOFISICA	44
PERFORACIONES	57
CONCLUSIONES	61
CEMENTO PUZOLANICO Y SUS POSIBILIDADES EN LA REP. DOM.	63
RESUMEN	63
LOCALIZACION	66
GEOLOGIA	70
ESTUDIO GEOQUIMICO	75
VENTAJAS DEL CEMENTO PUZOLANICO	88
PRUEBAS FISICAS 1987	90
MINADO	101
CONCLUSIONES	111
GEOLOGIA DE LAS PRESAS DE CHACUEY Y MAGUACA	112
PRESA DE CHACUEY	112
LOCALIZACION	112
ANTECEDENTES	115
GEOLOGIA GENERAL	115
HIDROGEOLOGIA	132
HIDROQUIMICA	143
CONCLUSIONES	153
PRESA DE MAGUACA	154
LOCALIZACION	154
ANTECEDENTES	154
GEOLOGIA	156
HIDROGEOLOGIA	170
HIDROQUIMICA	172
CONCLUSIONES	184
GEOLOGIA DE LA SIERRA DE NEIBA	185
RESUMEN	185
ANTECEDENTES	188
ESTRATIGRAFIA	188
POSIBILIDADES PETROLERAS DE LAS CUENCAS DE AZUA/ENRIQUILLO	207
ANTECEDENTES	207
CUENCA DE AZUA	207
CUENCA DE ENRIQUILLO	209
HIDROGEOLOGIA DE LA REPUBLICA DOMINICANA	223
GEOLOGIA	225
HIDROGEOLOGIA	227
HIDROGEOLOGIA DE LAS CALIZAS DE REPUBLICA DOMINICANA	235
REGION SUROESTE	236
REGION DE LOS HAITISES	251
MARCO GEOLOGICO DE LA HISPANIA Y SUS IMPLICACIONES SISMICAS	257
DESCRIPCION GEOLOGICA	258
SISMICIDAD	268
CONCLUSIONES	270
TECTONISMO Y SISMICIDAD EN LA REGION SEPTENTRIONAL DE LA REP. DOM.	273
RESUMEN	273
REGION SEPTENTRIONAL DOMINICANA	278
TECTONISMO ACTIVO	278
SISMICIDAD	285
RECOMENDACIONES	290
SITUACION DE LA ROSARIO DOMINICANA	293
HISTORIA DE LA MINA	294
SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA	301
PERSPECTIVAS HACIA EL FUTURO	304
CONSIDERACIONES AMBIENTALES	310

PROLOGO

Este libro, fruto del tesonero trabajo de campo y gabinete del Ing. Geólogo y de Minas, Rafael Osiris de León, recoge una serie de variadas conferencias en el amplio campo de las ciencias geológicas.

Su contenido temático podría organizarse arbitrariamente, en cuatro sub-conjuntos básicos entrelazados: las explotaciones mineras, la hidrogeología, la geología y la sismicidad.

Del primero tendremos oportunidad de compartir los hallazgos de "*Mineralizaciones Auríferas en Loma Nandita*", accidente geomorfológico perteneciente a la Formación Duarte, formación madre de todas las constelaciones áureas aluvionales desplazadas mediante la complicidad activa de los acuíferos y sus redes, en la vertiente norte centrocordillerana.

La búsqueda de oro en La Española tiene sello precolombino. Se origina este metal, en mezcla con el cobre o guanín, en el contexto mitológico de los habitantes taínos. La curación de Guahuyona por Guabonito tuvo además, como obsequio de despedida, 'muchos guanines', y 'los guanines los llevan en las orejas, haciéndose agujeros cuando son pequeños, y son de metal, casi como florín', narra Fray Ramón Pané, en las Antiguédes de los Indios.

La afanosa y obsesiva búsqueda de oro por el gran almirante de la Mar Océana, cobra su plenitud en esta isla, al observar pectorales de Guanín en los jefes indígenas, y comprobar el 8 de enero de 1492 que los aros de los toneles que hacen introducir, para reponer agua potable, en el río de las Cañas o Yaque del Norte, traen en sus intersticios pequeñas arenillas de oro.

El historiador Padre Charlevoix llega a decir siglos más tarde, que no hay isla en el mundo donde se hayan encontrado tan bellas y tan ricas minas de oro, como en Santo Domingo.

José Ramón Abad, en 1888, refiere sobre el oro aluvional arrastrado por los ríos de la República Dominicana, que los arroyos al oriente del río Haina, 'más abundantes en oro son los que se encuentran entre el Novillero y el Madrigal' (La Rep. Dom., P.371, reedición de 1972, Banco Central de la Rep. Dom.).

Hoy, Rafael Osiris de León tuvo la tenacidad suficiente para seguir buscando donde otros no habían encontrado o los hallazgos carecían de significación.

Una virtud que debe tener el geólogo, según Stanley Holmes, geólogo canadiense, es la imaginación; otra, la menciona Routhier, es la fé. Tenacidad. Imaginación, fé y perseverancia, atributos que no dudamos que en su mayoría hayan sido sustantivos también en la denominación de antiguas concesiones mineras.

Otra de las prospecciones cuyos resultados públicos han hecho oscilar, polarizando y despolarizando, las emociones colectivas, han sido las de petróleo.

Rafael Osiris de León, evalúa nuestras alternativas en el suroeste con su conferencia titulada: "*Posibilidades Petroleras de las Cuencas de Azua y Enriquillo*", nuestras esperanzas parecieron tener pie en los primeros años del presente siglo con los inequívocos hallazgos en Higüerito, Azua, antes de alcanzar los mil pies de perforación.

Del análisis de los resultados obtenidos con las tobas puzolánicas de la Formación Imbert, el autor plantea la posibilidad de lograr un cemento puzolánico adicionando al Portland tipo I un 25% de puzolanas, obteniendo características físico-químicas capaces de cumplir con las normas de la A.S.T.M.. Esta conferencia: "*Cemento Puzolánico y sus Posibilidades en Rep. Dom.*" señala que la ventaja parte de la apertura de una explotación a cielo abierto, de la facilidad de transporte marítimo o terrestre y de una economía en los costos de producción de la Fábrica Dominicana de Cemento, empresa tomada como ejemplo.

"*La Situación de la Rosario Dominicana*", cortada para abril del pasado año de 1993, es considerada por el autor como "una de las etapas más difíciles y dolorosas de su historia". Rafael Osiris de León, atribuye un "presente incierto" y un futuro que dependerá, tras "un encadenamiento dependiente de tecnologías-capitales-decisiones gubernamentales.

Plantea que la empresa podría salir de su difícil situación económica actual mediante la opción de utilización de un sistema de molienda fina y flotación (en lugar de la opción de tostación) con inversiones escalonadas, de tal forma que la tasa interna de retorno se elevaría acercándose a un 25% sin tomar en consideración las ventas del subproducto cinc, pero con ventas de oro y plata gracias a una producción inmediata, y con las ventajas de protección ambiental consecutivas a la no producción de dióxido de azufre. Nos luce muy ponderada su apreciación, y la más lógica de las opciones factibles.

Sobre el segundo grupo, Geología, cabe mencionar dos conferencias: *La Geología de la Sierra de Neiba* y *Geología de las Presas de Chacuey y Maguaca*.

La Sierra de Neiba, cuya cartografía se realiza en 1981, tiene una constitución basada en rocas sedimentarias calcáreas en asociación con rocas volcánicas básicas que pueden situarse geocronológicamente en el Eoceno inferior, permitiendo al Geólogo De León, interpretaciones tectónicas de enorme complejidad que explican que la rápida infiltración de las aguas pluviales por la caliza fracturada e hidrosoluble se traduzca en la existencia de extraordinarios manantiales emergidos en los planos de fallas regionales.

El autor recorre estratigráficamente la sierra, su complejo volcánico, la formación Palsanco, la caliza Accitillar, las formaciones Neiba, Sombrerito, Titcheray y Arroyo Blanco, realizando muy interesantes resúmenes tanto de antecedentes como de sus sorprendentes y certeros hallazgos actuales.

En la *"Geología de las Presas de Chacuey y Maguaca"*, el autor, tratando separadamente a estos complejos arquitectónicos, sitos en Las Matas de Santa Cruz, explica los hallazgos, primeramente en Chacuey, donde establece no sólo la localización de la principal vía de filtración, sino que señala las paleocorrientes, causantes de las vías de conducción de las filtraciones. Advierte incluso sobre el aumento de la permeabilidad en la base del estribo derecho por efecto de una falla que incide ortogonalmente al eje de la presa, con el posible riesgo de un colapso de la estructura arquitectónica, debido a erosión regresiva y tubificación de las arenas.

También ofrece convincentes explicaciones sobre las posibles causas múltiples de filtraciones en la Presa de Maguaca, principalmente a través de margas fracturadas.

En el subconjunto correspondiente a Hidrogeología, la conferencia *"Hidrogeología de la República Dominicana"* es un bosquejo general resumido pero sin dudas resulta muy bien sustentado al presentarnos el Geólogo De León las principales características fisiográficas y geológicas, amén de las hidrogeológicas, sumadas a los datos de los mapas geológicos, secciones transversales, pozos, registros litológicos y geofísicos, hidrometría y pluviometría. Incluye además el estudio de la Isla Saona y la Isla Beata.

En *"Hidrogeología de las calizas de República Dominicana"* toma cuatro regiones calcáreas del país, logra correlacionar los patrones de interacción entre éstas y los flujos subterráneos, así como la acción de fenómenos tectónico-estructurales.

Las regiones donde se efectuó el estudio con mayor énfasis fueron: Sierra de Nelba, Sierra de Bahoruco y Región de Los Haitises.

En el subconjunto de sismicidad, tenemos dos conferencias: *"El Marco Geológico de la Hispaniola y sus Implicaciones Sísmicas"* y *"Tectonismo y Sismicidad en la Región Septentrional de la República Dominicana"*.

En la primera, muestra el geólogo Osiris de León los patrones tectónicos que controlan las distintas regiones fisiográficas de la Isla. De esta manera, relacionando las características litológicas de cada sistema orográfico, logra correlacionar sismicidad-geología regional.

En *"Tectonismo y Sismicidad en la Región Septentrional"* explica el autor como la alta sismicidad de la región septentrional se origina en la tectónica de placas, y concretamente, en íntima vinculación a los desplazamientos, prácticamente continuos, hacia el este de la Placa del Caribe.

Después sitúa los límites de esta placa y define el frente de subducción situado al norte de Puerto Plata, que es consecutivo al contacto entre la placa de Norteamérica y la del Caribe que la solapa. En este punto el autor entra en discrepancia con recientes investigaciones que señalan que el borde de la placa no se ubica al norte de la Isla, sino que pasa por ella. Aquí expone valideras razones - a nuestro juicio - para hacer vulnerable tal afirmación.

El trabajo finaliza con la predicción o mejor aún, con el señalamiento de alto riesgo en el Interín de los próximos 10 años, para la ocurrencia de un terremoto de grandes proporciones que afecte la Región Norte. También sugiere medidas previsorias al respecto.

El Museo Nacional de Historia Natural se siente altamente satisfecho del esfuerzo del Ingeniero Geólogo y de Minas Rafael Osiris de León, autor de esta obra, que integra un nuevo volumen de la Serie Conferencias, publicación del Museo Nacional de Historia Natural, y agradece la colaboración del Banco Central de la República Dominicana, en la persona de su Gobernador, Dr. Mario Roca Vittiñi, quien demuestra una vez más su paralela vocación de servicios a favor del estudio y protección de los Recursos Naturales Dominicanos.

Dr. Abelardo Jiménez Lambertus

Director

Museo Nacional de Historia Natural

MINERALIZACIONES AURIFERAS EN LOMA NANDITA REPUBLICA DOMINICANA

*Conferencia presentada en Saint Croix, Islas Virgenes, el 8 de agosto
de 1989 dentro del marco de la 12a Conferencia
Geológica del Caribe*

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

RESUMEN

Las exploraciones geológicas, geoquímicas y geofísicas, así como las trincheras y perforaciones realizadas en una Reserva Fiscal de 6,030.25 hectáreas mineras, localizada al noroeste de la ciudad capital de la República Dominicana, han permitido detectar la presencia de importantes concentraciones auríferas dentro de múltiples vetas de cuarzo que cortan las rocas volcánicas de la Formación Duarte.

Esta Formación Duarte, datada como precretácico, y constituida por esquistos verdes, andesitas afaníticas, andesitas porfíricas, tobas andesíticas y doleritas, ha sido considerada como la fuente de todo el oro aluvional que se mueve a lo largo de las corrientes fluviales que drenan la vertiente norte de la Cordillera Central.

El programa detallado de geoquímica de sedimentos fluviales, llevado a cabo en toda la Reserva Fiscal mediante el sistema de preconcentrados, determinó, rápidamente, que las principales mineralizaciones auríferas se concentran en un área de aproximadamente 350 hectáreas, la cual recibe el nombre de Loma Nandita.

La geoquímica de suelos, orientada hacia la determinación de oro, arsénico y antimonio en los suelos lateríticos del área, reflejó muy pobres resultados, ya que el oro sólo se concentra en las vetas de cuarzo, por lo que las rocas y suelos se muestran estériles.

Perfiles electromagnéticos realizados con slingram, detectaron ejes de anomalías que coinciden con la presencia de importantes vetas de cuarzo. Resultados menos concluyentes fueron obtenidos con el programa de polarización inducida (I.P.).

Posteriores perforaciones permitieron confirmar que algunas de las vetas de cuarzo aurífero registradas en Loma Nandita continúan por debajo de los 70 metros de profundidad, aunque con valores de oro muy variables, entre cero y 1,900 gramos por tonelada, por lo que el trabajo exploratorio debe proseguir en forma sistemática y ser extendido hasta Piedra Blanca por el noroeste y hasta Medina por el sur.



El Ing. Osiris de León examina las rocas cortadas en un túnel de exploración

INTRODUCCION

La presencia de oro en la Hispaniola es conocida desde la época precolombina, pues el lavado de este precioso metal se cita como una de las actividades realizadas por los aborígenes que habitaban la isla en el Siglo XV.

Las crónicas que relatan la extracción de oro en la Villa de la Buenaventura, datan de la primera década del Siglo XVI, y aunque con la desaparición de los indígenas, fue gradualmente desapareciendo la actividad en gran escala, el interés por la zona de la Buenaventura nunca se ha extinguido, permitiendo que hoy día cientos de campesinos se dediquen exclusivamente al lavado de oro a partir de los aluviones de la región de Villa Altagracia.

Todo esto constituye la razón fundamental que justifica el desarrollo de un programa de exploración que persigue indentificar la fuente primaria del oro extraído en la Villa de la Buenaventura a partir del Siglo XVI y del que ha corrido por los ríos y arroyos de la región.

ANTECEDENTES

El proyecto La Cuaba es un proyecto de exploración estimulado en la presencia de pequeños fragmentos de cuarzo con oro macroscópico en las inmediaciones de la localidad de Villa Altagracia, así como en las tradicionales actividades de lavado de oro en los ríos Haina e Isabela, especialmente en la vecindad del mismo pueblo de Villa Altagracia.

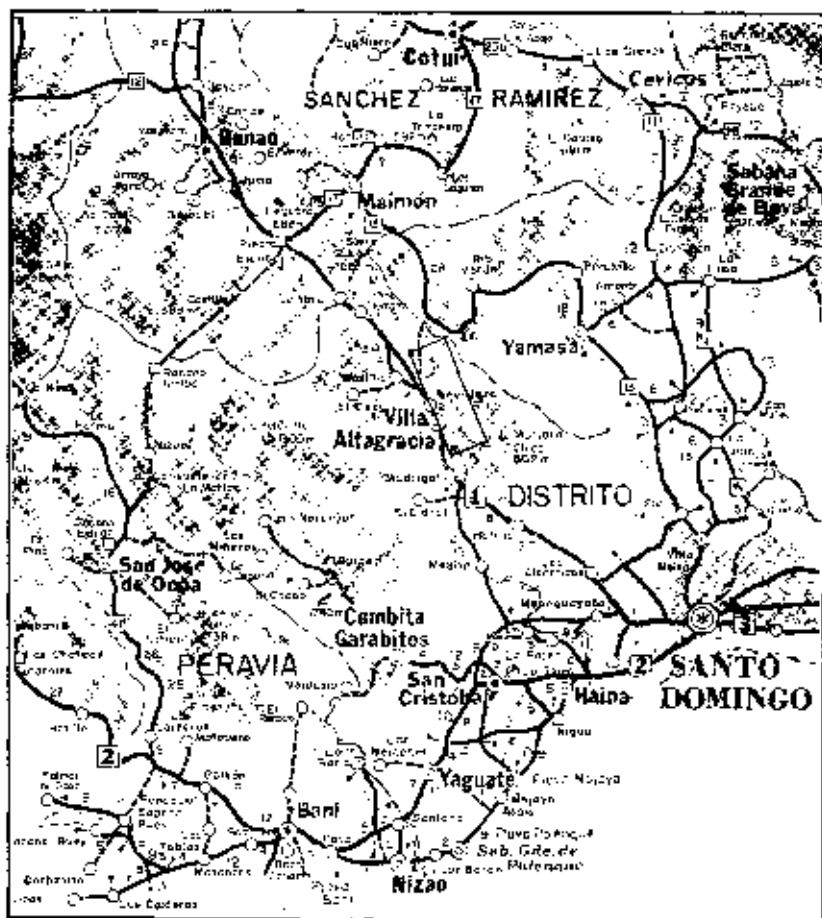
A principios de 1983 la Dirección General de Minería solicitó al entonces Presidente de la República, declarar como Reserva Fiscal un área de aproximadamente 20 kilómetros cuadrados localizada al noroeste de Villa Altagracia. Esta solicitud fue aprobada, declarándose dicha área como Reserva Fiscal mediante el Decreto No. 900 del 19 de marzo de 1983, el cual encargaba a la Rosario Dominicana, S. A. de la ejecución de los trabajos de exploración aurífera, los que se iniciaron el 1^{to} de noviembre de 1983.

Posteriormente, y mediante Decreto No.2608 del 1^{to} de enero de 1985 el área fue ampliada a 6,030.25 hectáreas, con el objetivo de estudiar dos porciones de terreno de características mineralógicas importantes. Una de estas porciones, geográficamente denominada Loma Nandita, luego de un amplio programa de cartografía geológica y prospección geoquímica, reveló importantes informaciones que permitieron a la Rosario Dominicana, S. A., considerarla como el área más potencial dentro de todo el perímetro de la Reserva Fiscal.

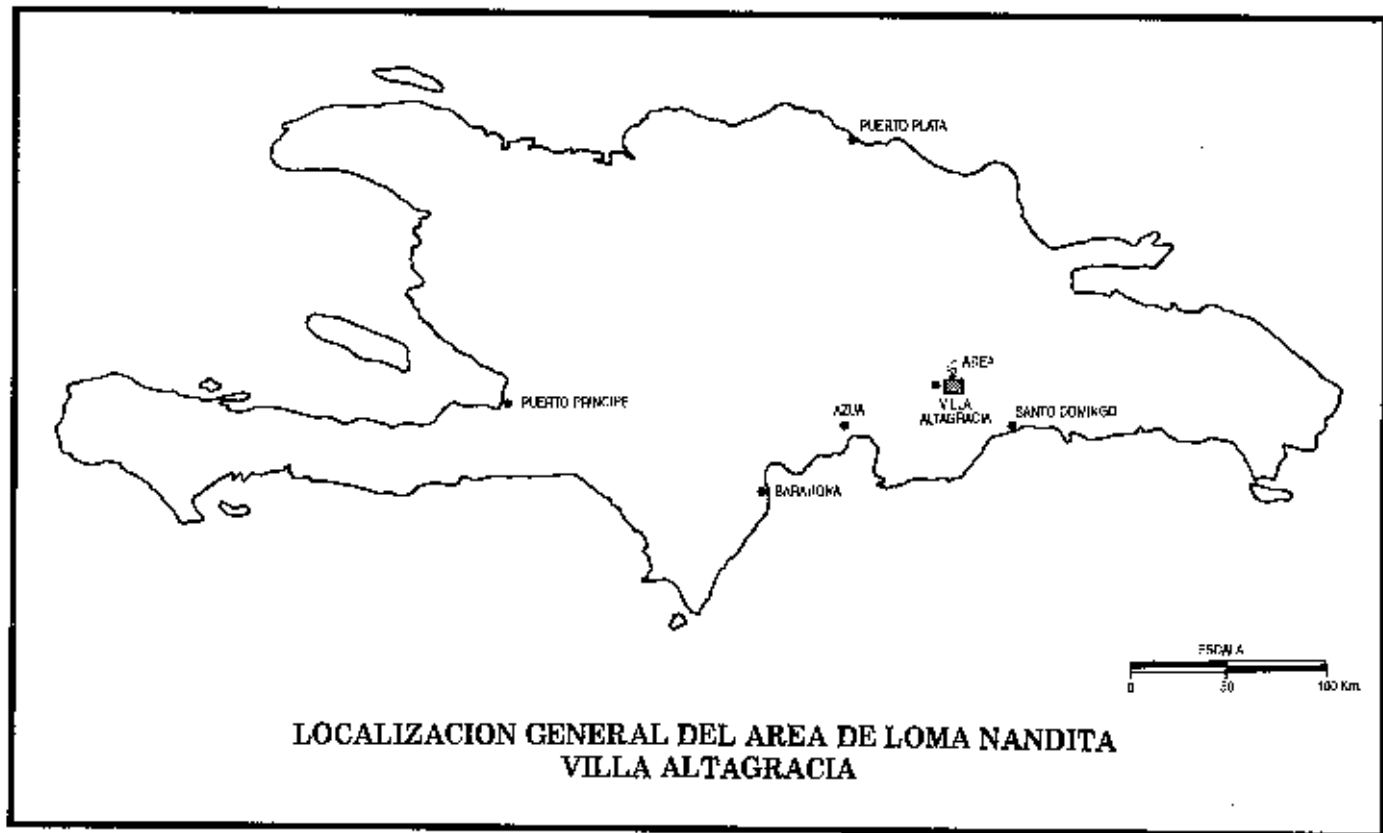


LOCALIZACION

El área de Loma Nandita, se localiza a unos 40 kilómetros al noroeste de la Ciudad de Santo Domingo, Capital de la República Dominicana, y a unos 4 kilómetros al sureste del municipio de Villa Altagracia, estando limitada al noreste por el río Isabela y al suroeste por el río Haina, constituyendo este último río uno de los principales depósitos de oro aluvional de la República Dominicana.



MAPA DE LOCALIZACION DEL AREA ,



GEOLOGIA

GEOLOGIA GENERAL

El mapeo geológico general desarrollado en el área, ha permitido poner de manifiesto la existencia de dos formaciones que están amplamente extendidas en toda la región.

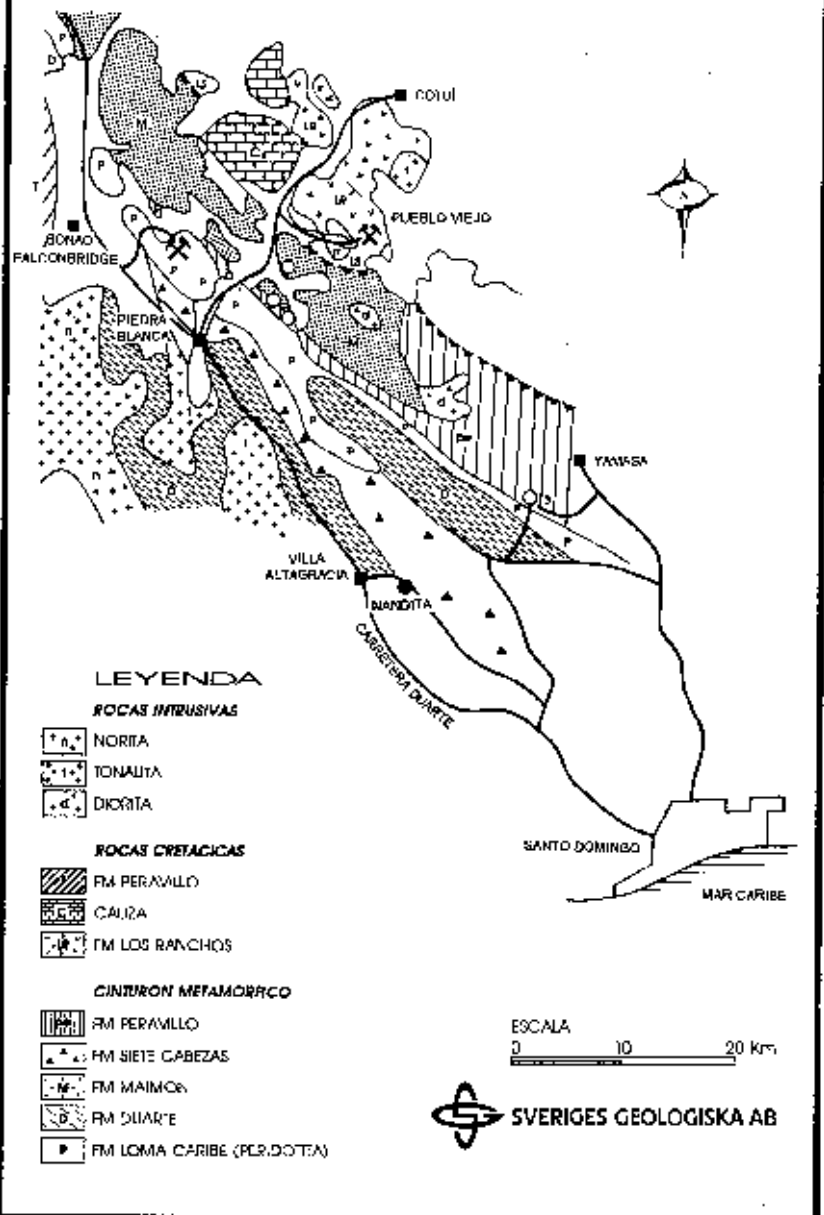
La primera de ellas es la Formación Duarte, la que cubre toda la porción sur del río Isabela, estando constituida básicamente por rocas volcánicas máficas, tales como andesitas afaníticas, andesitas porfíricas, tobas andesíticas grises, así como gabro y esquistos verdes.

La otra Formación fue la descrita por Bowin (1966) como Formación Siete Cabezas. Esta aflora en el área norte del río Isabela, estando separada de la Formación Duarte por un contacto tectónico definido por una falla de tipo normal que corre a lo largo del río Isabela. Litológicamente esta formación está constituida por grandes masas de basalto afanítico que ocupan las prominentes crestas del área norte de la reserva fiscal.

Los trabajos de exploración revelan que las principales mineralizaciones del área ocurren dentro de la Formación Duarte, que es la única donde hay intrusiones significativas de gabro y keratófiro de cuarzo, que de seguro tienen mucho que ver con las vetas de cuarzo mineralizadas encontradas a lo largo del área.

MAPA DE UBICACION

GEOLÓGIA SEGUN BOWEN



LITOLOGIA

ESQUISTOS VERDES

Un amplio cinturón de esquistos verdes aflora en Loma Nandita, en una secuencia de cerros comprendida entre la autopista Duarte y el río Isabela.

Estos esquistos verdes fueron incluidos por Bowlin (1966) dentro de las rocas metamórficas de la Formación Duarte, aunque los mismos están ausentes en Loma Novillero y Loma La Cuaba.

La esquistosidad es más pronunciada en los afloramientos existentes en las partes altas del relieve, ya que en los cauces de los arroyos apenas se observa una andesita parcialmente foliada, que va gradualmente convirtiéndose en roca esquistosa a medida que se ascienden las faldas de las colinas.

La presencia de talco y minerales máficos aplastados en el sentido de los planos de foliación es típica en los afloramientos del área, considerándose que tales minerales máficos pertenecen al grupo de los anfíboles.

Conforme a lo visto dentro del área y especialmente a la transición gradual entre andesitas y esquistos, pasando por las andesitas foliadas, es casi seguro que tales esquistos sean el producto de un metamorfismo regional de bajo grado sufrido por las andesitas de la misma Formación Duarte. No obstante, necesitamos estudios complementarios que nos permitan establecer con más claridad todo lo relativo a estas rocas metamórficas.

ANDESITA

Rocas volcánicas máficas de textura afanítica afloran a todo lo largo del área de exploración, constituyendo la unidad litológica más extendida, tanto en la Loma Novillero como en Loma La Cuaba y Loma Nandita.

Estas rocas volcánicas máficas de color verduzco, han sido clasificadas como andesitas, dado el contenido de plagioclasas, hornblenda, piroxenos y cuarzo observados al microscopio.

Clorita, epidota, arcillas y sílice constituyen los principales minerales de alteración, notándose además que en algunos casos las alteraciones de goethita sustituyen pequeños cristales de pirita y que los óxidos de hierro y manganeso cubren parte de la superficie de ciertas muestras.

En esta andesita, el tamaño de los granos es tan pequeño que los minerales se hacen muy difíciles de identificar, por lo que se le clasifica como roca de textura afanítica. La pseudoestratificación incipiente que se observa en la muestra macroscópica no se aprecia en la sección; en cambio se observa una textura pilotaxítica con microllitos de plagioclasas y diminutas manchas coloreadas que podrían ser piroxenos rodeados por vidrio desvitrificado a clorita.

Algunos afloramientos de esta roca presentan una estructura tabular, muy bien alineada, donde es fácil observar cristales aciculares de anfíboles negros, pequeñas manchas epidotizadas y vetillas silíceas. Al microscopio se observa hornblenda, cuarzo, plagioclasas y clinopiroxenos como minerales primarios, y clorita, epidota, hematita y arcillas como productos de alteración.

La muestra consiste en un agregado microcristalino de hornblenda, plagioclasa y sílice, donde los cristales más abundantes de hornblenda son aciculares, aunque se encuentran secciones típicas que muestran excelentes formas y exfoliación. Los piroxenos y minerales opacos aparecen diseminados o como inclusiones en cristales mayores de hornblenda, pero los mismos son raros. Esta unidad es parte de la Formación Duarte.

Proporciones considerables de pirita y óxidos de hierro ocurren dentro de la andesita, lo que sumado a la presencia de vetas de cuarzo de diferentes espesores, constituyen las principales señales visibles de mineralizaciones.

Dentro de las muestras alteradas es común ver la pirita convertida a limonita, del mismo modo que se observa en las vetas de cuarzo.

ANDESITAS PORFIRITICAS

Rocas porfíricas con fenocristales de plagioclasas de hasta 5 mm de diámetro posicionados en un pasta de color amarillento con pequeñas inclusiones oscuras, afloran en el extremo suroriental de Loma Nandita, en una zona comprendida entre el arroyo Carbón y el arroyo La Nasa.

Los principales minerales observados son las plagioclasas y los anfíboles, siendo tan alta la proporción de plagioclasas, que la roca adquiere un color de conjunto muy claro y una textura porfírica que, inmediatamente, permite diferenciarla de la andesita afanítica anteriormente descrita.

Algunos pequeños afloramientos de esta unidad presentan planos de foliación bastante desarrollados en dirección noreste, lo que puede justificarse por la presencia de esquistos verdes en el área inmediatamente al oeste de los afloramientos porfiríticos, implicando además, que toda la zona ha sufrido los efectos de un metamorfismo de bajo grado. Adicionalmente, la presencia de pequeños cuerpos de dolerita y otro cuerpo de keratófiro de cuarzo en los alrededores del área, pudo haber contribuido en los procesos de metamorfismo ocurridos allí.

Al microscopio, este pequeño afloramiento se clasifica como roca porfirítica con cristales de hasta 4 milímetros de diámetro mayor, con fenocristales de plagioclasas alterados total o parcialmente a epidota y sílice, en una pasta de suficientes microlitos. Sin embargo, la ausencia de fenocristales silíceos, la escasez de minerales máficos y el contenido de sílice en la matriz, sugieren una composición andesítica.

En algunas áreas de Loma Nandita, la andesita porfirítica se va tornando muy oscura, por lo que en el mapa geológico la hemos indicado con una simbología adecuada.

TOBAS

Pequeños afloramientos de tobas color gris verdoso y textura finogranular han sido registrados en la zona, pudiendo establecerse que en la mayoría de los casos las mismas han sido depositadas encima de los cuerpos andesíticos.

Alteraciones superficiales de sílice y óxidos de hierro y manganeso son comunes en las muestras colectadas, aunque en la zona de Nandita es posible encontrar concentraciones de pirita dentro de la misma toba. Esta pirita se ve muy alterada en las muestras tomadas en superficie.

Al microscopio se clasifica como una roca volcánica donde el cuarzo constituye el mineral primario y la clorita y arcillas los productos de alteración. Los pequeños cristales de cuarzo, junto con los fragmentos silíceos redondeados, se encuentran diseminados en una matriz cloritizada, generalmente amorfa y opaca. Los demás minerales de esta roca son difíciles de identificar, pudiendo apenas identificarse el cuarzo.

Los efectos compresionales producidos en dirección noroeste - sureste han afectado en gran medida estas tobas, ya que el hecho de ser relativamente blandas y moderadamente estratificadas ha permitido que sean susceptibles al fracturamiento y consecuentemente a la disgregación.

DOLERITA (Gabro)

Cuerpos de roca ígnea de grano medio con cristales subhedrales de plagioclasas y augita ocurren dentro de las rocas volcánicas máficas de la Formación Duarte.

Al microscopio se observan alteraciones de clorita, arcillas, sílice y hematita. Los fenocristales de clinopiroxenos forman textura subofítica con cristales de feldespatos encerrados total o parcialmente por la augita. Puede destacarse además que la plagioclasa es de composición bitownítica-labradorítica y que hay presencia de minerales opacos, posiblemente magnetita.

Por lo general, los afloramientos están sumamente intemperizados, sin embargo, el rastreo minucioso de estos afloramientos permite detectar lugares a lo largo de ríos y arroyos donde la roca se encuentra prácticamente sana, exhibiendo fenocristales de plagioclasas y piroxenos en perfecto estado. El análisis microscópico de las muestras intemperizadas establece que las plagioclasas han sido alteradas casi totalmente a minerales arcillosos, logrando identificarse gracias a que conservan su forma, aún en los productos de alteración.

En algunas áreas de Loma La Cuaba y Loma Nandita, la dolerita se presenta en forma de sillis que han penetrado a través de planos de fracturas existentes en las andesitas, siguiendo una secuencia rítmica por espacio de algunos metros. Esta secuencia rítmica implica espesores aproximados y paralelismo en la orientación, además de una estructura tabular que algunas veces es evidente. En determinados afloramientos se observa que los cuerpos doleríticos están menos intemperizados que las tobas y andesitas circundantes, lo que eventualmente podría justificar su ascenso posterior a las andesitas.

La orientación preferencial de las estructuras que controlan muchos sills de doleritas es la misma que controla las principales corrientes fluviales de la zona, es decir, NW-SE. En vista de la composición mineralógica esta roca también podría ser clasificada como gabro.

Un hecho de significativa importancia lo constituye la marcada interrelación existente entre los cuerpos de dolerita, las vetas de cuarzo y las principales zonas anómalas, ya que al parecer las Intrusiones doleríticas han tenido mucho que ver en la segregación de las vetas de cuarzo expuestas en el área.

KERATOFIRO DE CUARZO

Pequeños sills de roca porfírica con fenocristales de cuarzo y plagioclasas en una pasta silícea afloran en diversos puntos del área.

Estos sills tienen forma tabular alargada y han ascendido a través de planos de fracturas existentes en las rocas andesíticas.

Los dos sills más importantes están localizados, uno sobre el río Isabela y el otro en Loma Nandita; siendo el primero el que mejor presenta la estructura de sills.

Al microscopio se observa que los minerales principales son el cuarzo y la plagioclasa, presentando además, alteraciones de sílice y sericita junto a escasas alteraciones de epidota y clorita. Los fenocristales de plagioclasa varían de euhedrales a subhedrales y los granos de cuarzo aparecen redondeados en una matriz silícea.

En su informe, Bowin (1966) señala que una considerable cantidad de cuarzo aparece en algunas secciones delgadas de rocas de la Formación Duarte, donde la textura del cuarzo y los feldespatos parecen reflejar recristalización posterior a la cataclasis; considerando por esto, que esas rocas son probablemente diques de tonalita metamorfoseada, o sills.

SUELO LATERITICO

Una considerable y gruesa proporción de suelo laterítico muy rojizo se observa en algunos lugares del área cartografiada, especialmente en el pequeño valle localizado al noroeste del pueblo, en los flancos de las lomas existentes a uno y otro lado del río Isabela, así como toda la faja noroeste del mismo río en el área de Nandita.

Este suelo, de considerable espesor, es una marcada evidencia del amplio proceso de intemperización sufrido por las rocas volcánicas máficas expuestas en toda la región. Está constituido básicamente por materiales arcillosos ricos en óxido férrico, mezclados con una baja cantidad de elementos detríticos arrastrados por las pequeñas quebradas que descienden desde el alto relieve.

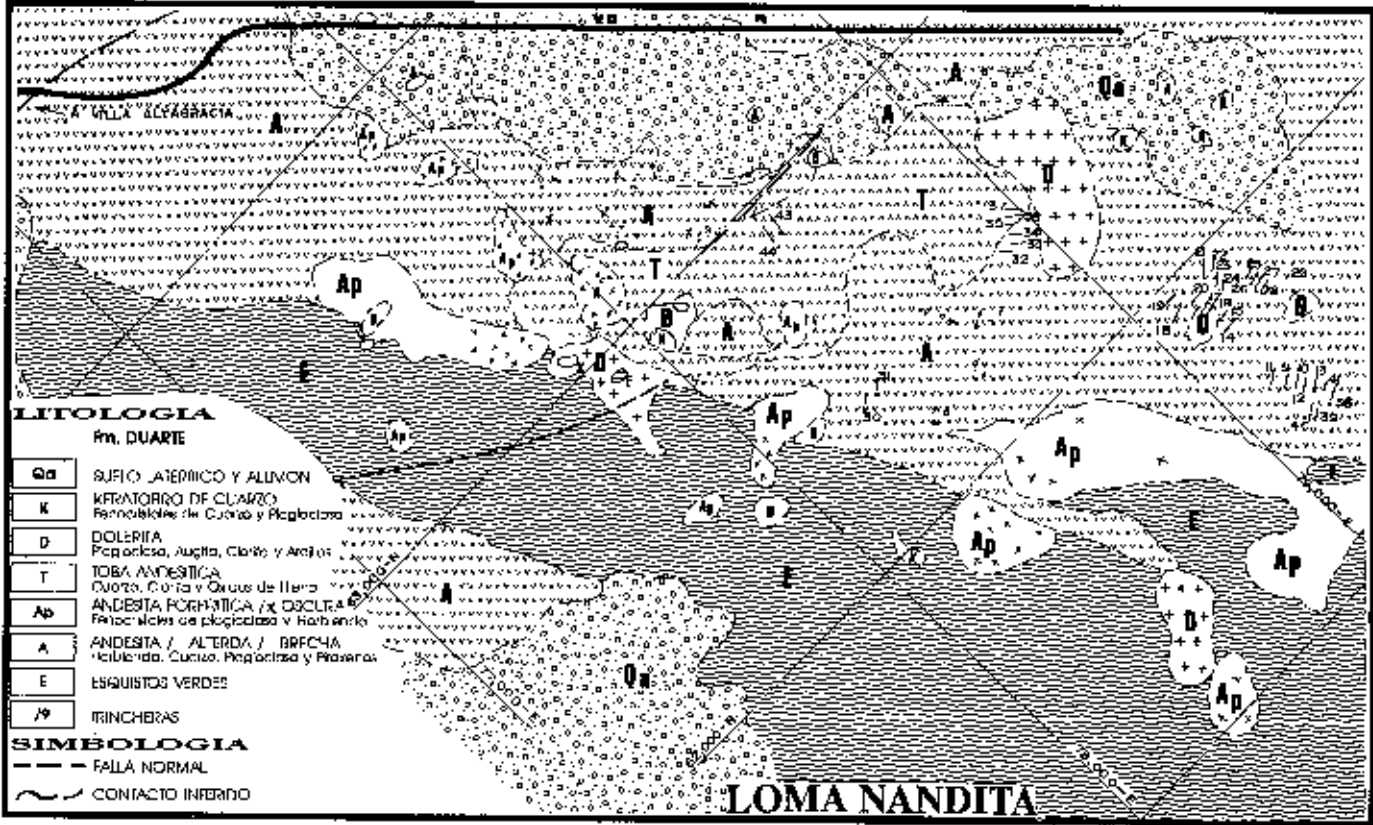
Las esferulitas de óxido férrico son muy abundantes dentro de este suelo y confirman la interrelación existente entre los materiales arcillosos y los elementos férricos.

El contenido de oro en estado macroscópico dentro de los principales depósitos lateríticos es muy significativo, lo que impulsa a los campesinos del área a extraer cada día voluminosas cantidades de este material para lavarlo en los cauces de los ríos y de allí recuperar todo el oro posible.

ESTRUCTURA

La principal estructura registrada en el área es la falla normal seguida por el cauce del río Isabela, que a la vez sirve de contacto tectónico entre los basaltos de la Formación Siete Cabezas en el lado norte del río y las andesitas y tobas de la Formación Duarte en el lado sur.

En el campo, esta falla puede definirse como falla normal de gran ángulo, al extremo que en algunos puntos el plano de falla es totalmente vertical con "cortes de navaja".



GEOQUIMICA

SEDIMENTOS FLUVIALES

Un amplio programa de geoquímica de sedimentos fluviales ha sido desarrollado a todo lo largo y ancho del área contenida en la reserva fiscal La Cuaba.

Bajo este programa fueron muestreados sistemáticamente todos los arroyos y cañadas de corriente continua o intermitente, con el propósito de definir las zonas de mayor concentración de valores auríferos. Para ello fue tomado un determinado volumen de sedimentos gruesos y lavado mediante bateas para separar el oro grueso y obtener un preconcentrado fino que sería enviado al laboratorio para su correspondiente ensayo de oro.

El trabajo fue desarrollado desde la Loma Novillero hasta Loma Nandita, pasando por Loma La Cuaba, y en el mismo se tomaron muestras de preconcentrados con una separación aproximada de 100 metros a lo largo de los cauces de los arroyos. Unas 588 muestras, conteniendo aproximadamente una libra de preconcentrado, fueron colectadas en un período de 4 meses, siendo analizadas químicamente en el laboratorio de Rosario Dominicana, S.A.

El área total muestreada alcanza los 35 kilómetros cuadrados, lo que nos da una densidad de muestreo de 16.6 muestras por kilómetro cuadrado, la cual es lo suficientemente considerable como para generar informaciones de alto grado de confiabilidad en cuanto a la definición de áreas anómalas.

A partir del análisis químico cuantitativo de las muestras en cuestión, pudieron definirse dos subzonas de gran importancia por su alto contenido aurífero y

otras tres subzonas de menor relevancia que las primeras. Aquí sólo entraremos en la definición de la subzona 1 por ser la más importante.

Estos valores de oro, expresados en miligramos por metro cúbico, sólo son indicativos de la presencia de oro en el área y bajo ninguna circunstancia representan las leyes reales, pues no se trata de un depósito aluvional.

SUBZONA 1 (Loma Nandita)

Esta subzona está comprendida entre el puente sobre el río Isabela y el puente sobre el arroyo Mina, extendiéndose de 1,000 a 1,500 metros hacia el suroeste a partir de la carretera que conduce desde Villa Atagracia hacia Nandita.

El nombre dado a la zona es Loma Nandita y se ubica a unos 4 kilómetros al sureste del pueblo. Dentro de esta zona denominada Loma Nandita, es que hemos delimitado la subzona de concentración de valores, la cual cubre un área de aproximadamente 4 km².

Debemos señalar que trabajos mineros muy antiguos, han sido localizados en las partes altas del área.

Estos trabajos consisten en excavaciones circulares y excavaciones alargadas, que inducen a pensar, que esos antiguos exploradores trataban de encontrar las vetas de cuarzo que dan origen al oro allí existente.

Esto es ratificado por el hecho de que todas las excavaciones encontradas están ubicadas en sitios estratégicos desde el punto de vista geoquímico, ya que ellas coinciden con las principales áreas de anomalía geoquímica.

Algunos son de opinión que estos trabajos de excavación fueron realizados por los exploradores de la compañía minera española La Buenaventura, la cual desarrolló sus actividades en los años posteriores al año 1500.

El trazado de una línea de contorno para definir el área anómala permite encerrar en ella muestras que luego de un análisis estadístico aportan los siguientes resultados.

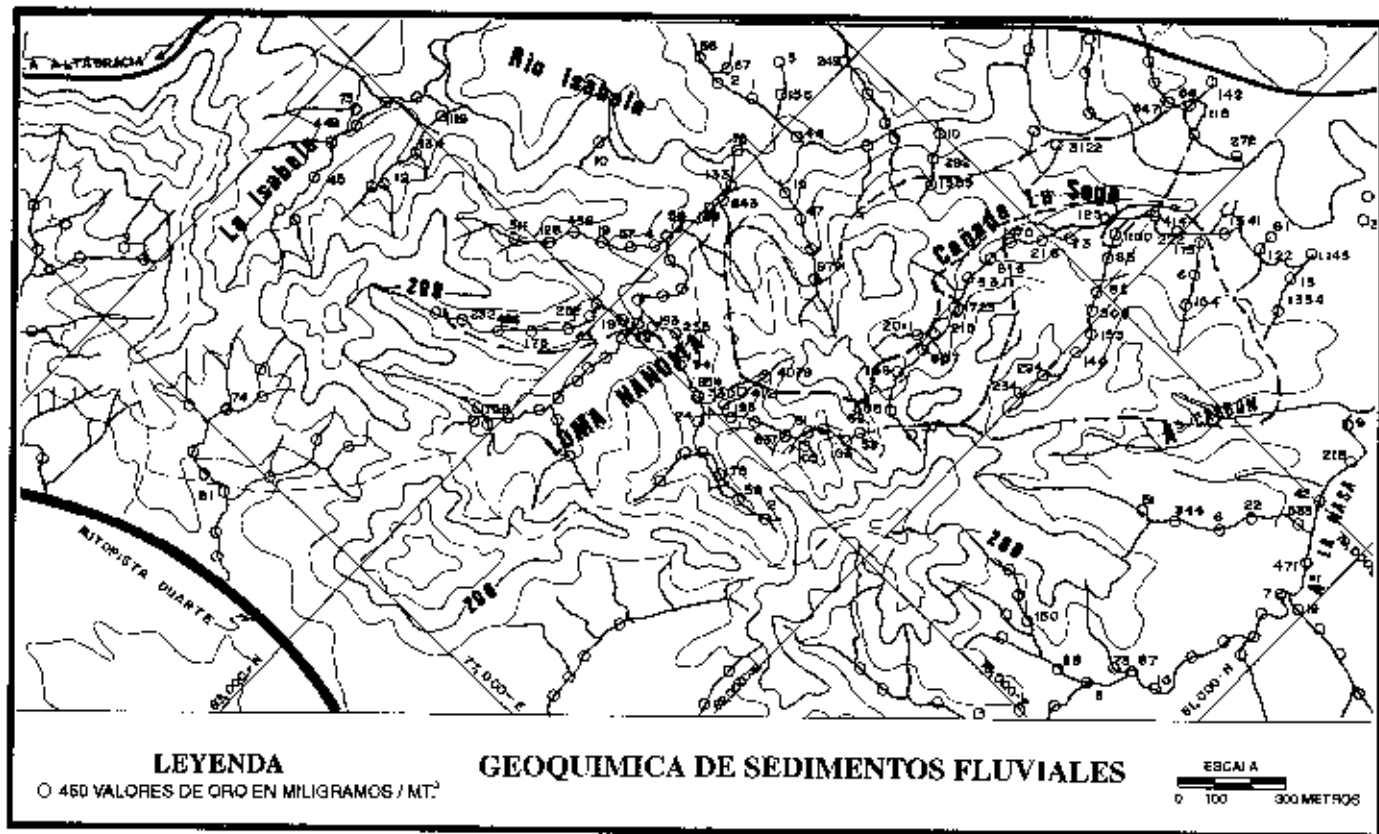
- Porcentaje de muestras con valores	90%
- Valor medio \bar{X}	295 mg Au/m ³
- Desviación estándar S	552 mg Au/m ³

De ahí que podríamos concluir diciendo que los sedimentos fluviales de la subzona 1, tienen un contenido aurífero que bien podría expresarse como sigue: $295 \text{ mg Au/m}^3 \pm 552 \text{ mg Au/m}^3$.

Esto nos permite establecer que la proporción de oro existente en los sedimentos fluviales de Loma Nandita es bastante considerable, y la misma proviene de las vetas de cuarzo que atraviesan los afloramientos volcánicos del área, al extremo que muchas partículas auríferas están asociadas a pequeños trozos de cuarzo.

Pero en adición a todo esto, si observamos el mapa del registro de muestreo de sedimentos fluviales en esta subzona, podemos ver de inmediato la existencia de un núcleo altamente anómalo, el cual define el área de mayor concentración de valores y donde fueron colectadas las siguientes muestras:

LCA -358 - 1723 mg Au/m ³	LCA -370 - 3122 mg Au/m ³
LCA -365 - 2011 mg Au/m ³	LCA -376 - 979 mg Au/m ³
LCA -366 - 1355 mg Au/m ³	LCA -399 - 4078 mg Au/m ³



El promedio aritmético y la desviación estándar de estas muestras nos darían valores equivalentes a:

$$\bar{X} = 2211 \text{ mg Au/m}^3$$

$$S = 1170 \text{ mg Au/m}^3$$

Si incluimos dos muestras más, encerradas por el mismo núcleo, pero más aisladas topográficamente, tendríamos:

$$\text{LCA-344} - 1100 \text{ mg Au/m}^3$$

$$\text{LCA-549} - 1116 \text{ mg Au/m}^3$$

Con lo cual ahora el valor medio sería de:

$$\bar{X} = 1936 \text{ mg Au/m}^3$$

y la desviación estándar:

$$S = 1113 \text{ mg Au/m}^3$$

Este Importantísimo núcleo, junto a su respectivo halo secundario, nos define el área de mayor concentración de valores, al tiempo que nos señala que parte de su halo secundario ha sido el producto de la dispersión de los elementos auríferos a partir de la fuente primaria que podría estar contenida en el aludido núcleo de valores altamente anómalos.

Sería curioso señalar, que dentro de este núcleo es que fueron realizados los antiguos trabajos de excavación atribuidos a la compañía minera española La Buenaventura, lo que indica que ellos estuvieron siguiendo muy cerca una de las fuentes primarias del oro de la región.

Además, esto induce a concentrar aquí futuros trabajos de exploración a fin de dar con la localización de otras vetas de cuarzo que contengan valores auríferos.

GEOQUIMICA DE ROCAS

Simultáneamente con los primeros trabajos geológicos desarrollados en la zona, se inició un programa de geoquímica de rocas, el cual estuvo concentrado, básicamente, en el muestreo de las vetas de cuarzo existentes dentro del perímetro de la reserva fiscal, así como en el muestreo de algunos bloques de cuarzo que pudieran aportar informaciones sobre el contenido aurífero de vetas que han sido ocultadas por cubiertas locales de suelo.

Estas actividades de muestreo fueron muy exhaustivas, en el entendido de que se pretendía muestrear la casi totalidad de vetas de cuarzo aflorantes, y así poder correlacionar los resultados de la geoquímica de sedimentos fluviales con la geoquímica de rocas y delimitar las fuentes principales del oro existente en la región.

En la gran mayoría de los casos se tomaron varias muestras de una misma veta, tratando con ello de ver la distribución longitudinal del oro contenido en dichas vetas. Esto permitió establecer que el oro está distribuido muy irregularmente dentro de las vetas, pues las muestras tomadas en puntos muy cercanos de la misma veta arrojaban resultados muy diferentes, al extremo que una veta arrojaba hasta 1900 grs/ton en un punto y cero en un punto relativamente cercano.

En algunos casos llegó a descubrirse oro de tamaño macroscópico dentro de las vetas de cuarzo, pero eso no es lo usual dentro del área. Más usual es encontrar importantes concentraciones de calcopirita, galena y pirita dentro de las mismas vetas de cuarzo, aunque no en tal proporción que sugirieran desviar la orientación del programa de exploración.

Un programa preliminar indicó que de un total de 281 muestras procedentes de vetas de cuarzo y algunas de bloques, 107 indicaron contenido apreciable de oro y 14 apenas indicaron trazas; con la desventaja, de que aquellas de mayor contenido (70.5 gr/ton, 42.55 gr/ton) afloran en áreas donde las características generales no son favorables, además de que se presentan como vetas aisladas en zonas de considerable extensión.

La mayor concentración de vetas aflorantes está en la zona de Loma Nandita, y coincide con la zona de mayor concentración de valores anómalos logrados en la geoquímica de sedimentos activos, por lo que la misma merece especial importancia.

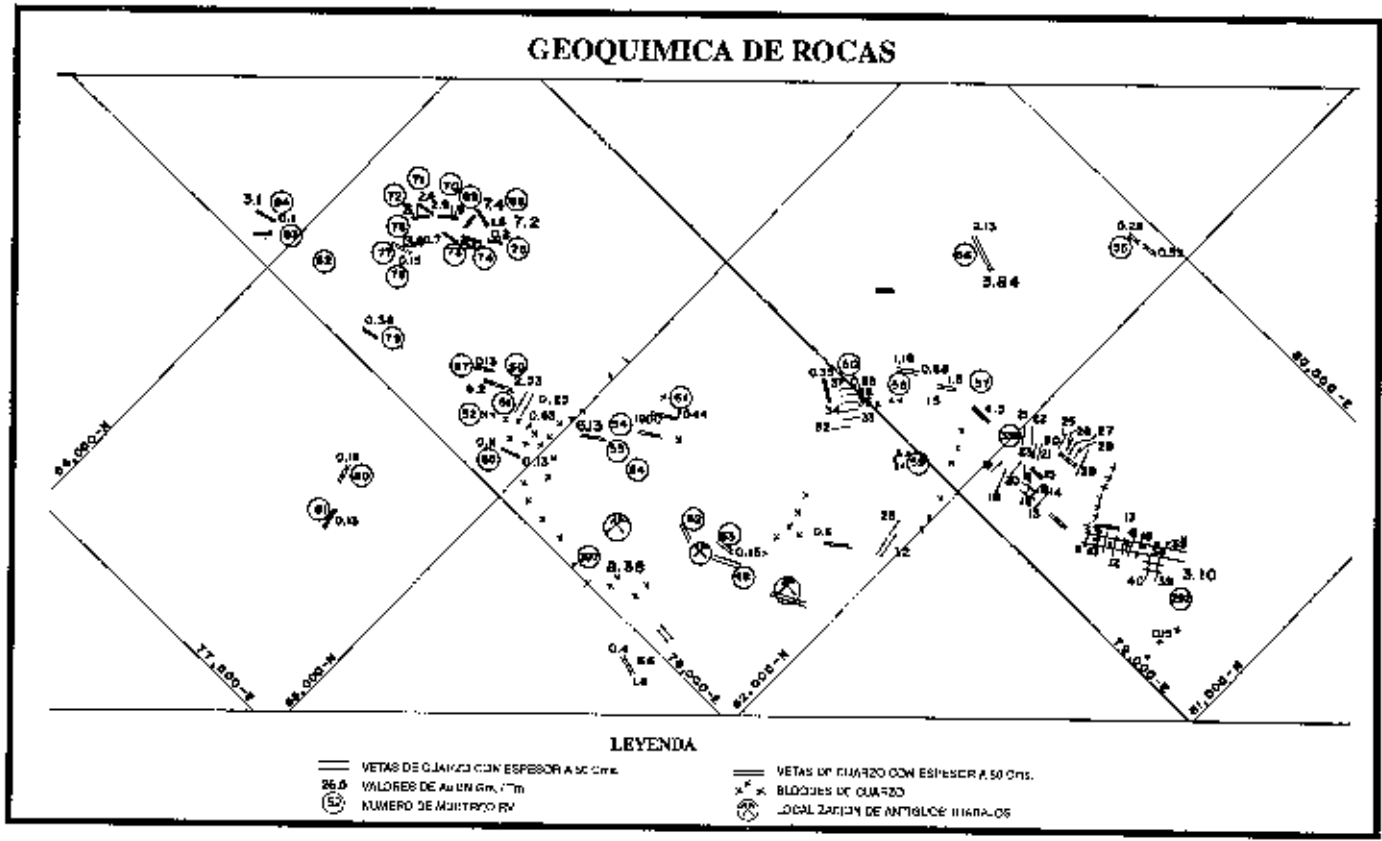
Las vetas de cuarzo ocurren generalmente a lo largo de planos de fracturas, mayormente en los cuerpos de gabro y en menor proporción en los grandes macizos andesíticos. Sus espesores oscilan entre 2.0 cm. y 2.5 metros.

TRINCHERAS

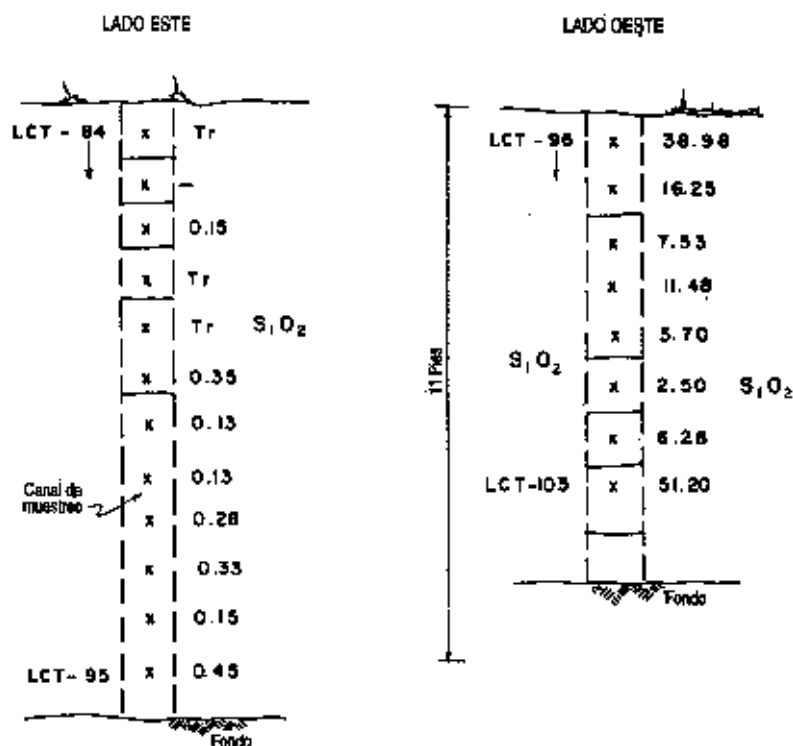
Poco más de 100 trincheras han sido realizadas hasta el presente dentro del Proyecto La Cuaba, habiéndose encontrado excelentes resultados en el área de Loma Nandita donde se han abierto por lo menos 90 de ellas.

Vetas de cuarzo con espesores variables entre 10 centímetros y 2.5 metros fueron descubiertas después de este amplio programa de trincheras ejecutado en función de los resultados geoquímicos y geofísicos.

Unas 4,000 muestras de vetas de cuarzo han sido colectadas en las diferentes trincheras, encontrándose que la casi totalidad de vetas muestreadas indican muy buenos valores auríferos, tal y como se ven en los gráficos anexos, donde una de las trincheras exhibe valores excesivamente altos.



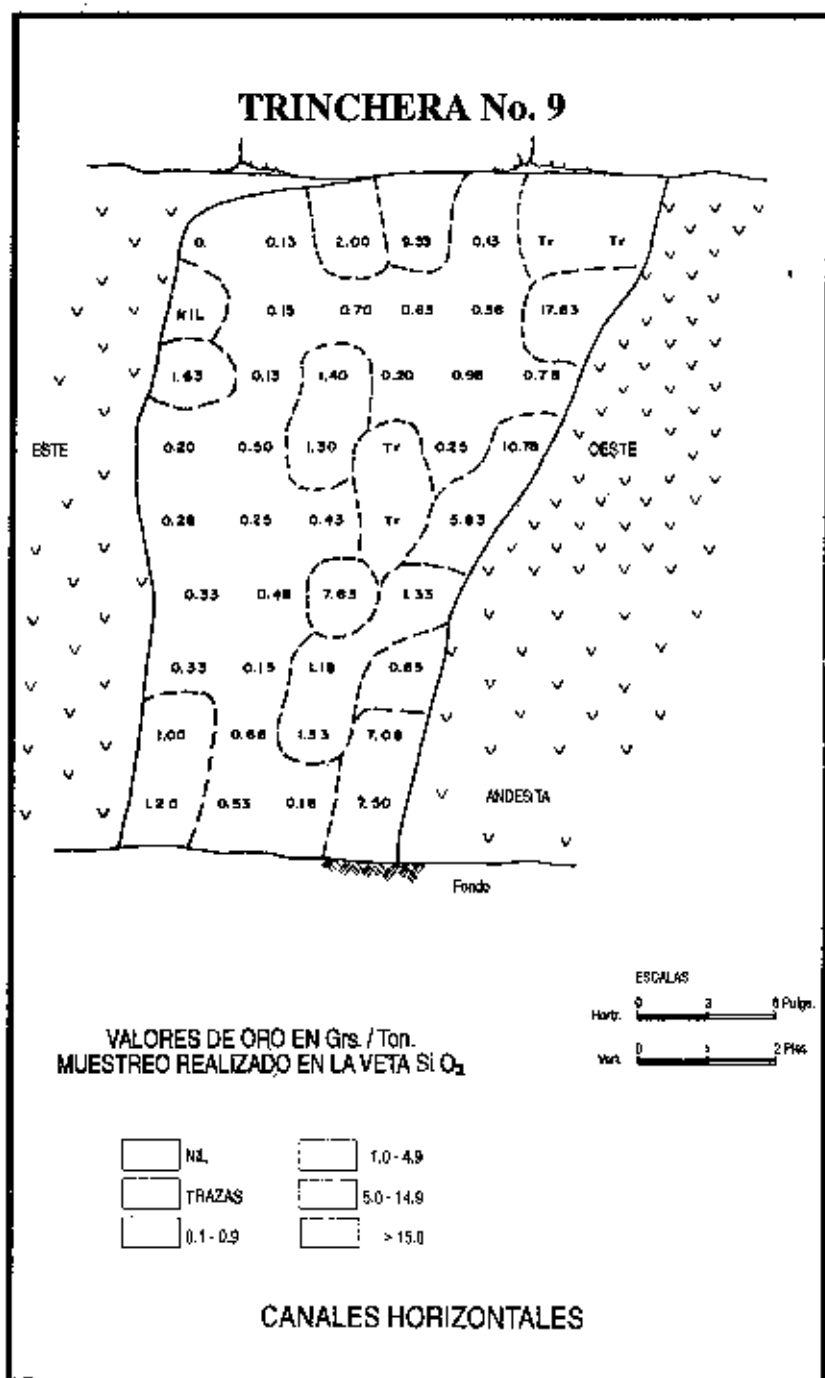
TRINCHERA No. 9



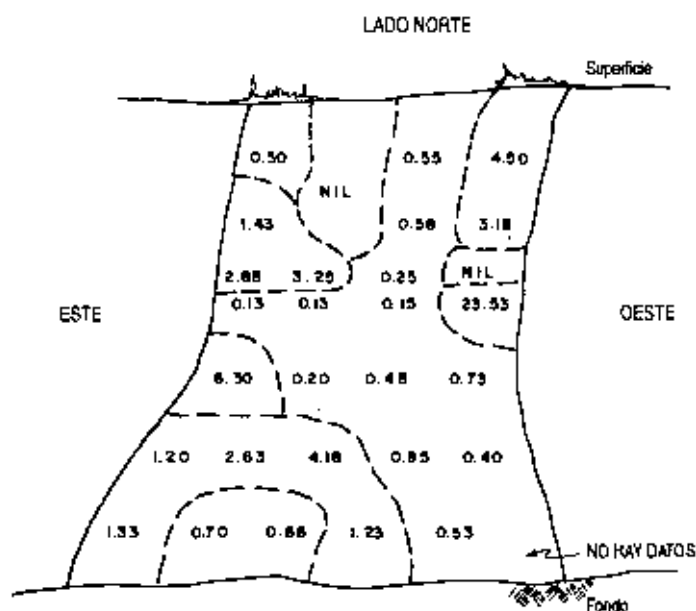
VALORES DE Au Grs. / Ton.

<input type="checkbox"/>	NIL	<input type="checkbox"/>	1.0 - 4.9
<input type="checkbox"/>	TRAZAS	<input type="checkbox"/>	5.0 - 14.9
<input type="checkbox"/>	0.1 - 0.9	<input type="checkbox"/>	15.0

CANALES HORIZONTALES

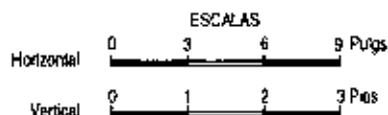


TRINCHERA No. 17



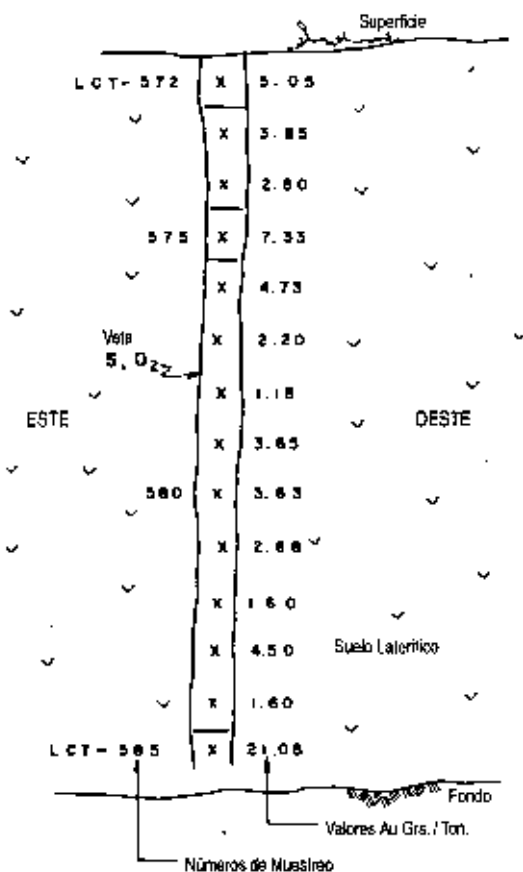
VALORES DE ORO EN Grs./Ton.
MUESTREO REALIZADO EN LA VETA S₁ O₂

NIL	5.0 - 14.9
0.1 - 0.9	> 15.0
0.1 - 4.9	



CANALES HORIZONTALES

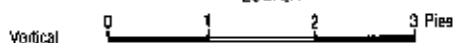
TRINCHERA No. 29



VALORES DE ORO EN Grs. / Ton.

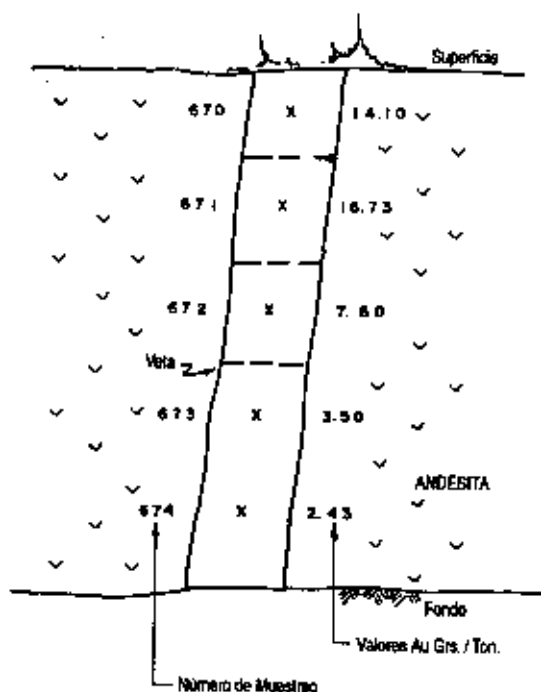
□	1.0 - 4.9	□	> 15.0
□	5.0 - 14.9		

ESCALA

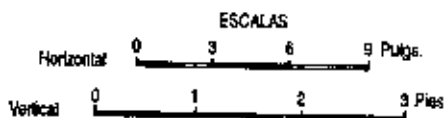
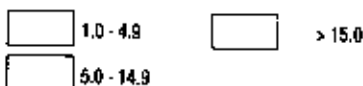


CANALES HORIZONTALES

TRINCHERA No. 37



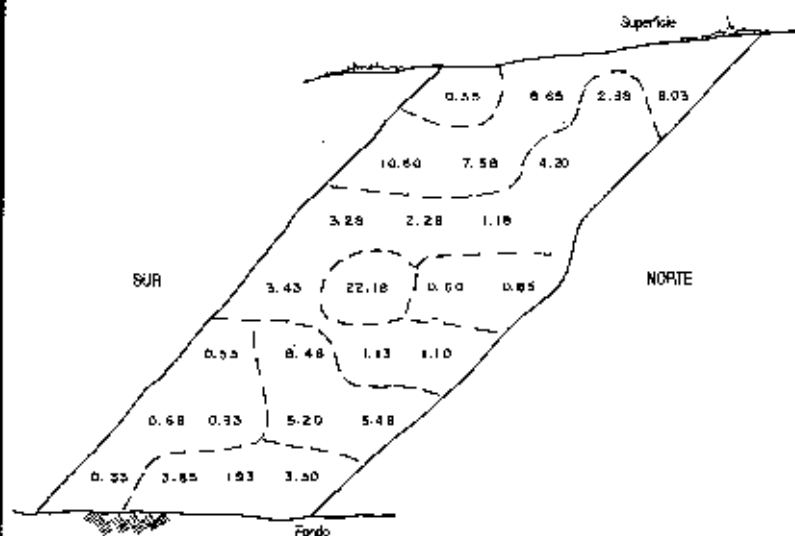
VALORES DE ORO EN Grs. / Ton.



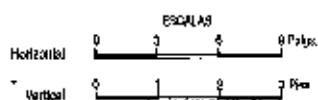
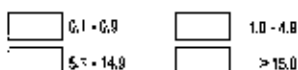
CANALES HORIZONTALES

TRINCHERA No. 42

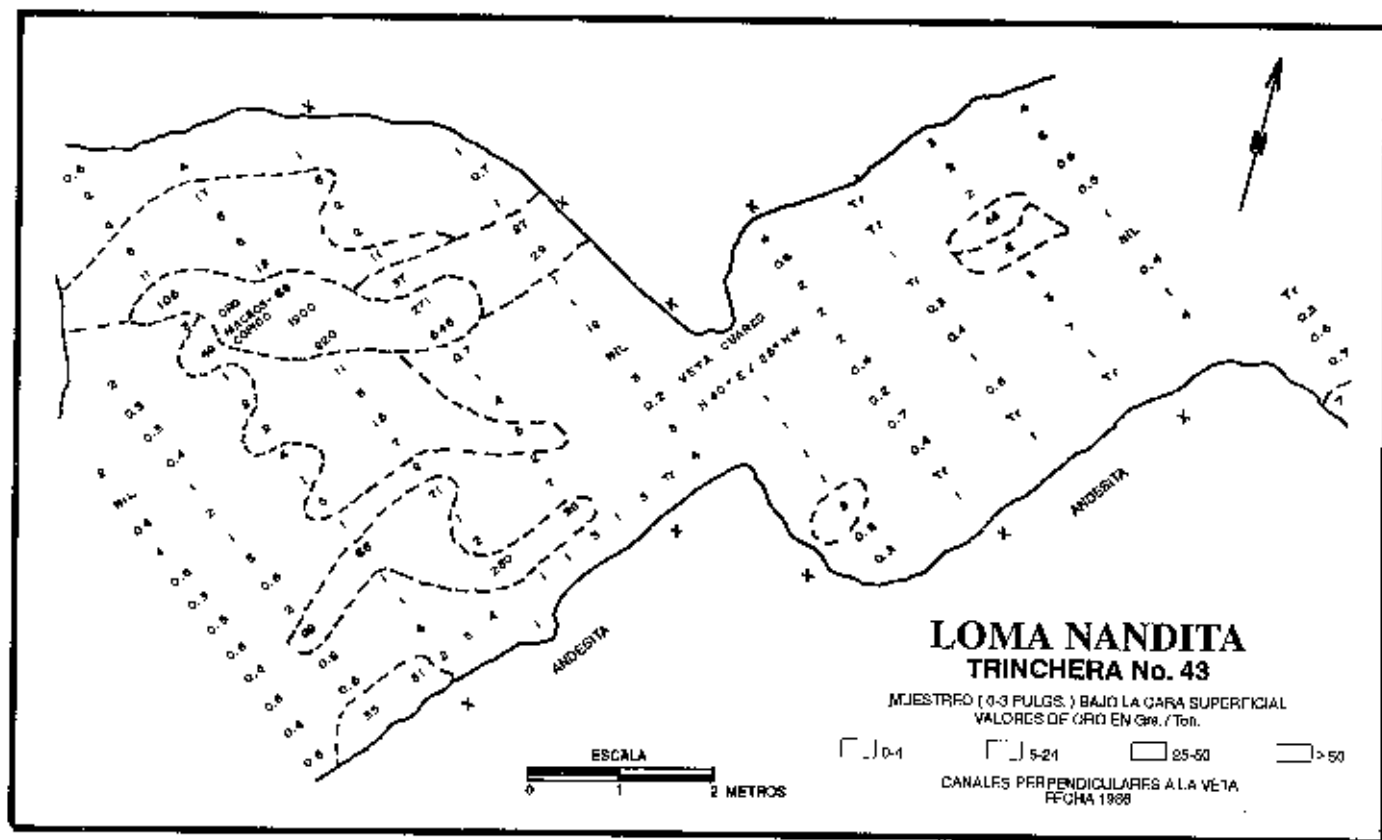
LADO OESTE

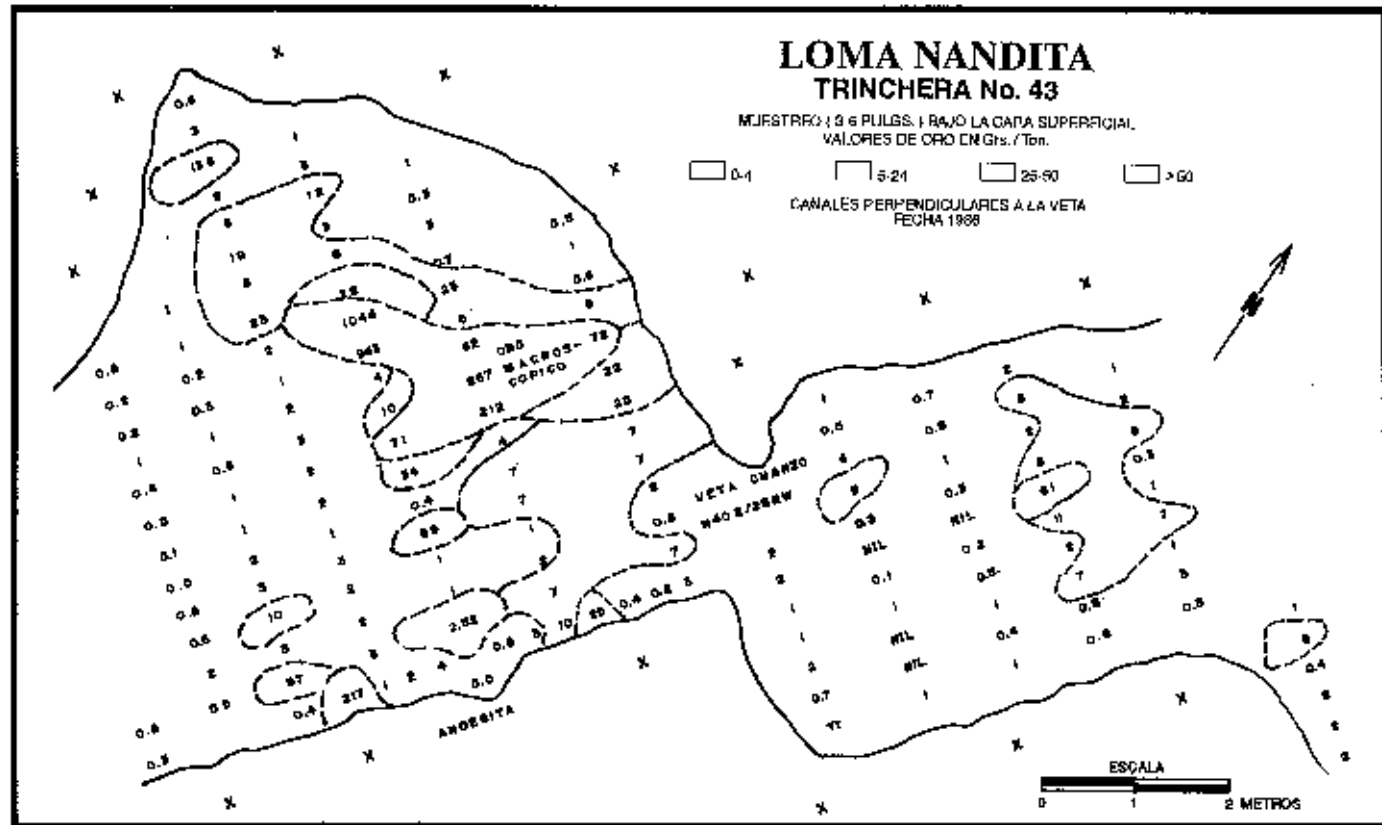


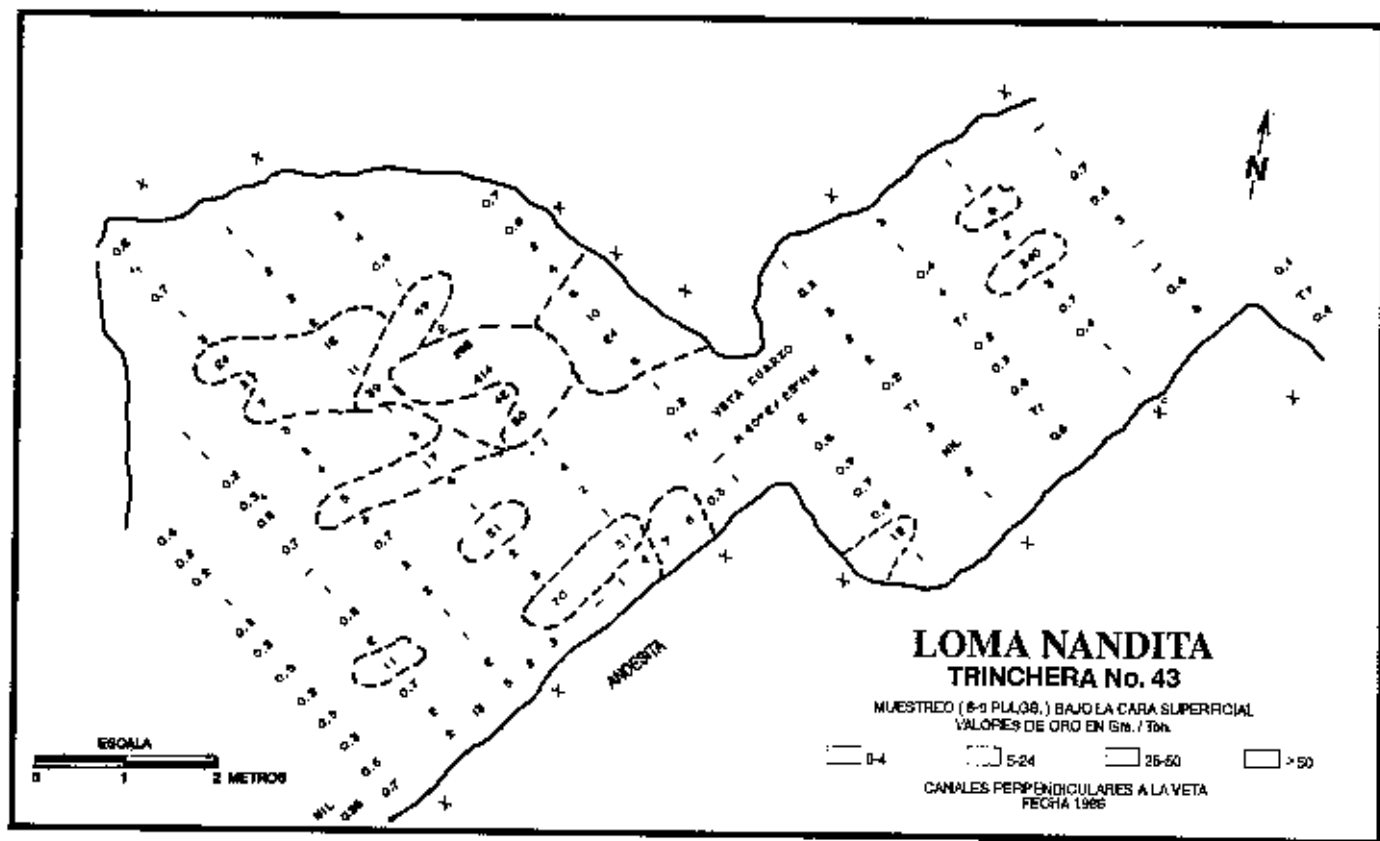
VALORES DE ORO EN Grs. / Ton.



CANALES HORIZONTALES







GEOQUIMICA DE SUELOS

Las principales subzonas de anomalías registradas en el programa de geoquímica de sedimentos fluviales fueron sometidas a un sistemático muestreo de suelos tratando de detectar zonas de alta concentración de valores auríferos donde las vetas no fueran visibles.

Se escogieron dos áreas principales para ser cubiertas con este nuevo programa de geoquímica. La primera fue la zona de Nandita, donde se muestrearon los 4 kilómetros cuadrados contenidos dentro de la principal anomalía de sedimentos y la segunda fue la zona localizada detrás de la escuela pública, donde muestreamos un área de 2 kilómetros cuadrados.

Las muestras fueron tomadas cada 50 metros a lo largo de líneas separadas a 100 metros. Esto permitió tomar unas 815 muestras en Nandita y unas 405 detrás de la escuela, lo que totalizó unas 1,220 muestras de suelo.

La columna de muestreo estuvo comprendida entre la superficie y 1.20 metros de profundidad, siendo las profundidades intermedias definidas por la profundidad del lecho rocoso, y la profundidad máxima de 1.20 metros definida por la longitud de la barrena utilizada.

En aquellos lugares próximos a la carretera de Nandita, donde el espesor del suelo era de varios metros, preferimos tomar dos muestras de cada punto de muestreo. La primera desde la superficie hasta una profundidad de 50 centímetros, siendo añadida la letra A al número de muestreo, por corresponder al horizonte A del suelo, y la segunda desde los 50 centímetros hasta la profundidad total alcanzada por la barrena (1.0 a 1.20 metros), siendo añadida la letra B al número de muestreo para significar que correspondía al horizonte B. Con esto pretendíamos determinar cuál de los dos horizontes era más rico en oro.

El anterior análisis reveló que en la zona de Nandita el horizonte A es más rico que el horizonte B, aunque generalmente, en suelos de este tipo, la mayor concentración de valores suele estar en el horizonte B.

Sin embargo, solo una baja proporción de las muestras tomadas indicó valores auríferos o trazas de los mismos, lo que indica que las partículas de oro no han sido ampliamente distribuidas en los suelos de la región.

En adición a los ensayos para oro, intentamos chequear con algunas muestras para contenido de arsénico y antimonio, pero los resultados para arsénico fueron prácticamente nulos, ya que de 120 muestras ensayadas, apenas 7 contenían arsénico, aunque en una proporción tan baja que el mayor contenido fue de 14 p.p.m. Sin embargo, todas esas 120 muestras indicaron presencia de antimonio, en valores comprendidos entre 22 p.p.m. y 65 p.p.m. Eso nos dice que hay mucho más antimonio que arsénico en los suelos de allí, pero sin que haya correlación entre los valores de oro y los valores de antimonio. De ahí que la idea de utilizar el arsénico y el antimonio como elementos guías en la búsqueda del oro de vetas no aportó los resultados esperados.

Por otra parte, ensayos para plata fueron realizados en las muestras correspondientes a la porción nororiental de Loma Nandita, encontrándose valores de hasta 8.3 grs/ton, no obstante, la gran mayoría fueron muy bajos.

Relación de muestras conteniendo valores de oro.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS SULLOS DE LOMA NANDITA	
Puntos de muestreo	815
Puntos con valores	50
Puntos con trazas	17
Puntos estériles	748

De los anteriores datos podemos concluir diciendo que la respuesta aurífera en los suelos muestreados fue muy baja, ya que sólo 50 puntos de un total de 815 indicaron presencia de oro, aunque en ningún caso ese contenido llegó a 1.0 gr/ton.

GEOFISICA

Habiendo definido a Loma Nandita, como la principal anomalía geoquímica dentro de toda la Reserva Fiscal de La Cuaba, procedimos a coordinar con la Dirección General de Minería, un programa de prospección geofísica que incluyera mediciones de slingram y de polarización inducida, y con ello definir los lugares más adecuados para el emplazamiento de las perforaciones.

Las mediciones de slingram fueron realizadas por Rune Johansson del Sveriges Geologiska AB y las de polarización inducida por Junji Ito del Japan International Cooperation Agency, en colaboración con el Ing. Geóf. Nelson E. Suárez de la Dirección General de Minería.

1.- MEDICIONES DE SLINGRAM

En el sistema de estacado de Loma Nandita se han realizado mediciones de slingram y mediciones magnetométricas, según lo muestran los gráficos anexos. La distancia entre las líneas es de 50 m y de 10 m entre los puntos de medición.

En las mediciones de slingram se usó la frecuencia de 3600 hz con una separación de 60 m. El resto de las mediciones se hicieron para elegir la frecuencia y separación más adecuada; además, las líneas P12N y P17N se hicieron para obtener mayor información acerca de las anomalías previamente obtenidas.

Las mediciones magnetométricas se interrumpieron ya que el resultado no aportó ninguna información de importancia. A pesar de esto, se midieron posteriormente partes de las líneas P12N y P17N situadas sobre las anomalías de síngram.

MODELO FISICO

La aplicación de los métodos magnéticos y electromagnéticos se basa en que el objetivo geofísico tiene una conductibilidad y resistividad que contrastan con el medio circundante. El contenido de oro de las vetas de cuarzo no es interesante, puesto que su presencia no influye en las propiedades físicas.

La aplicación de los métodos se basa en el siguiente modelo:

Las vetas de cuarzo se han formado como producto de una actividad hidrotermal en fracturas y otras zonas de debilidad. Al mismo tiempo el medio circundante ha sido alterado transformándose en material fácilmente meteorizable.

De esta manera se forman alrededor de las vetas zonas donde la meteorización es más profunda y la circulación de agua más rica. Estas zonas son conductoras eléctricas.

Además, se supone que estas zonas de alteración alrededor de las vetas de cuarzo, son comparativamente de bajo magnetismo, debido a que la magnética del medio rocoso circundante habría sido alterada. Se piensa que un contraste de este tipo es susceptible de medir y no existe en la zona de mediciones actuales.

ELECCION DE LA FRECUENCIA Y SEPARACION EN EL SLINGRAM

Las anomalías se obtuvieron con la frecuencia alta (3600 hz), la cual resalta en mejor forma a los conductores eléctricos débiles.

Se eligió la separación de 60 m, a pesar de que en el caso de una anomalía nítida se midió con la separación de 100 m. Esto se hizo para obtener una mejor descomposición lateral de las anomalías y para facilitar el trabajo en el terreno, pues parte de la zona de mediciones corresponde a un terreno muy accidentado.

RESULTADOS E INTERPRETACION

Los resultados de las mediciones se presentan en forma de mapas de anomalías.

COMENTARIOS ACERCA DE LA INTERPRETACION

La interpretación geofísica se deduce del mapa de interpretación, ya que habla por sí mismo, y aquí se hacen sólo algunos breves comentarios.

La primera veta de cuarzo encontrada, coincide con la anomalía de slingram próxima a las coordenadas P O - P 2 S/O. Esto hace que toda la franja, partiendo de P 2 - S/O, pasando luego por P 8 N/+20 y continuando hacia P 18 N/+15 sea atractiva desde el punto de vista de la prospección.

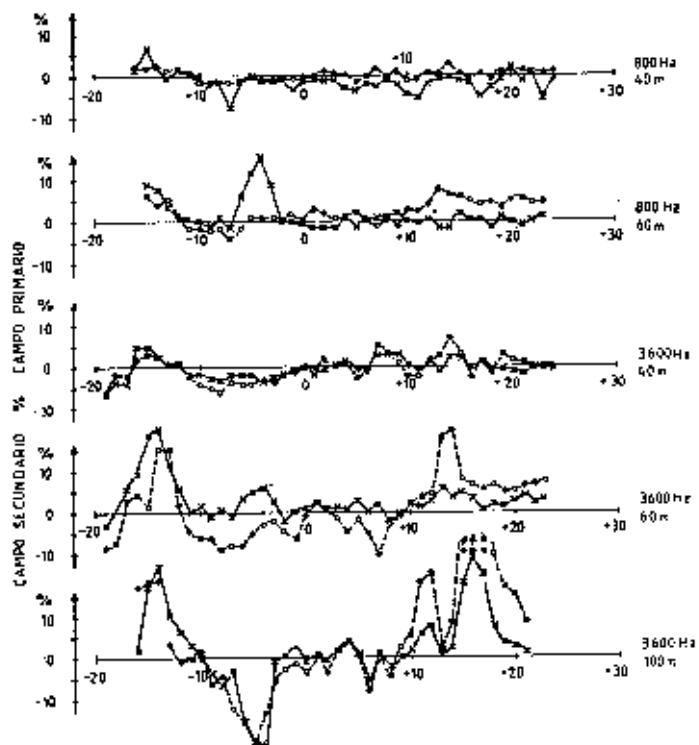
Las anomalías ubicadas al oeste de la base son débiles y difusas, con excepción de la indicación, no completamente medida, ubicada en el borde oeste de la zona.

Dos fuertes anomalías aparecen en la zona P 8-18 N /+10 a +50. Mediciones complementarias se realizaron a lo largo de las líneas P 12 N y P 17 N. Dichas mediciones indican, a lo largo de la línea P 12 N, que la anomalía de slingram aumenta cuando la separación es mayor, y no se puede explicar ésto con la existencia de una cubierta conductora. Sobre todo, aumenta la componente real, indicando que aumenta la capacidad conductora en profundidad.

Cálculos cuantitativos hechos con la ayuda de computadores para obtener modelos de conductores eléctricos con forma de lámina (Dyck, Bloore, Vallee, 1980) dieron valores de alrededor de 2.5 mho/m del producto de la conductibilidad y del espesor. Se supone que la superficie superior de la lámina está situada a 5 m de profundidad y tiene una fuerte pendiente hacia el suroeste. Si se supone que el espesor de la lámina es de 5 a 10 m, será la resistividad de 2 a 4 ohm-m. Como comparación puede señalarse que en la zona vecina se han determinado resistividades de alrededor de 0.3 ohm-m para una mineralización maciza de sulfuro y de alrededor de 60 ohm-m para una diseminación de pirita en un rodado de roca.

Las mediciones complementarias a lo largo del perfil P 17 N dieron un resultado algo más débil, pero aún aquí existe indicación de un aumento de la capacidad conductora en profundidad. En el mapa de interpretación se han marcado algunas zonas de buena conductividad que se diferencian de los conductores con forma de lámina. Esas zonas han sido expuestas a una intensa alteración hidrotermal.

Las mediciones magnetométricas indican una tendencia regional positiva en la dirección noroeste, pero en el resto indican sólo pequeñas variaciones. Aunque dos excepciones pueden citarse, se trata de una anomalía positiva en la línea P 12 N y P 17 N y una anomalía negativa en P O - P 6 N/-15 - 20.



LOMA NANDITA

(VILLA ALTAGRACIA)

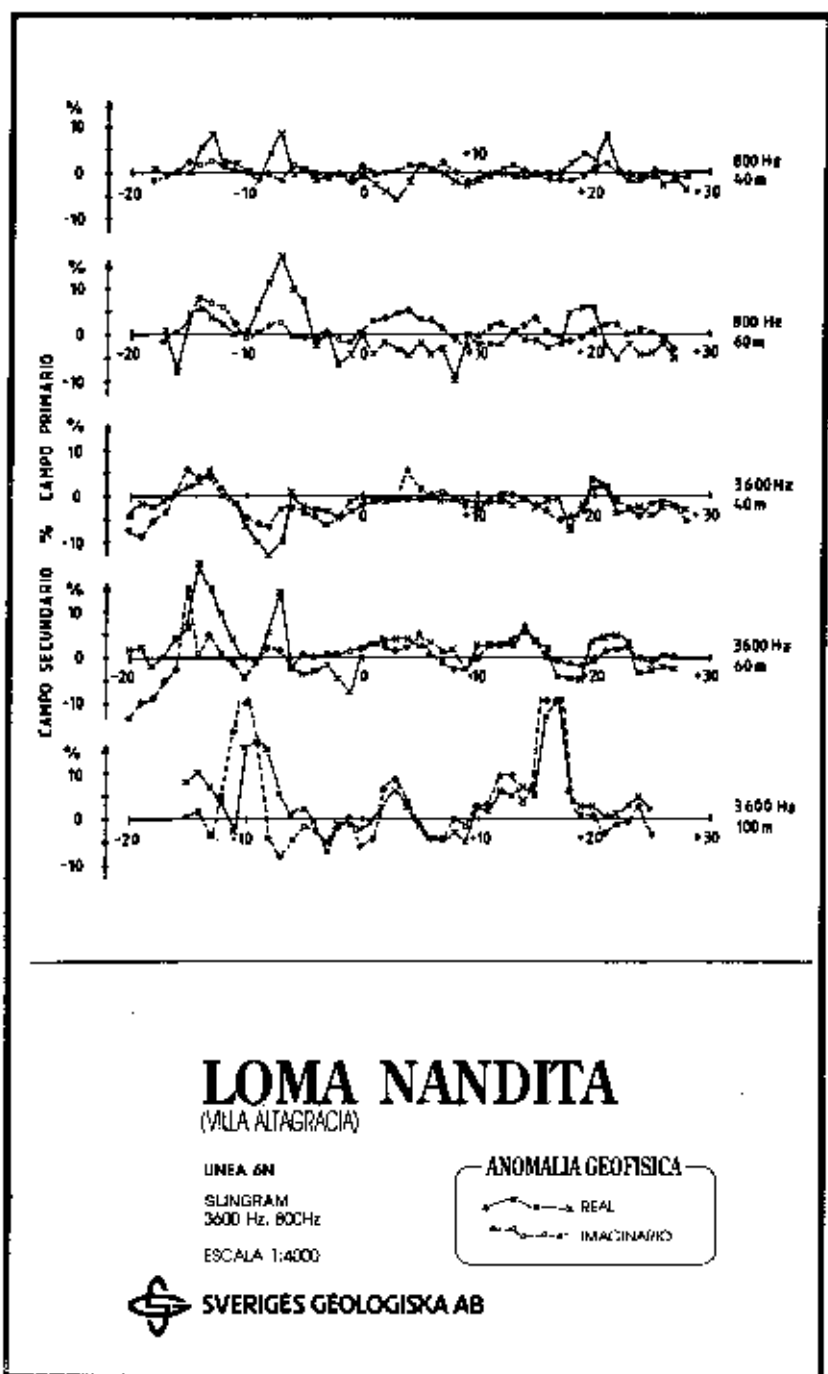
LINEA BN
SLINGRAM
3600 Hz, 800 Hz
ESCALA 1:4000

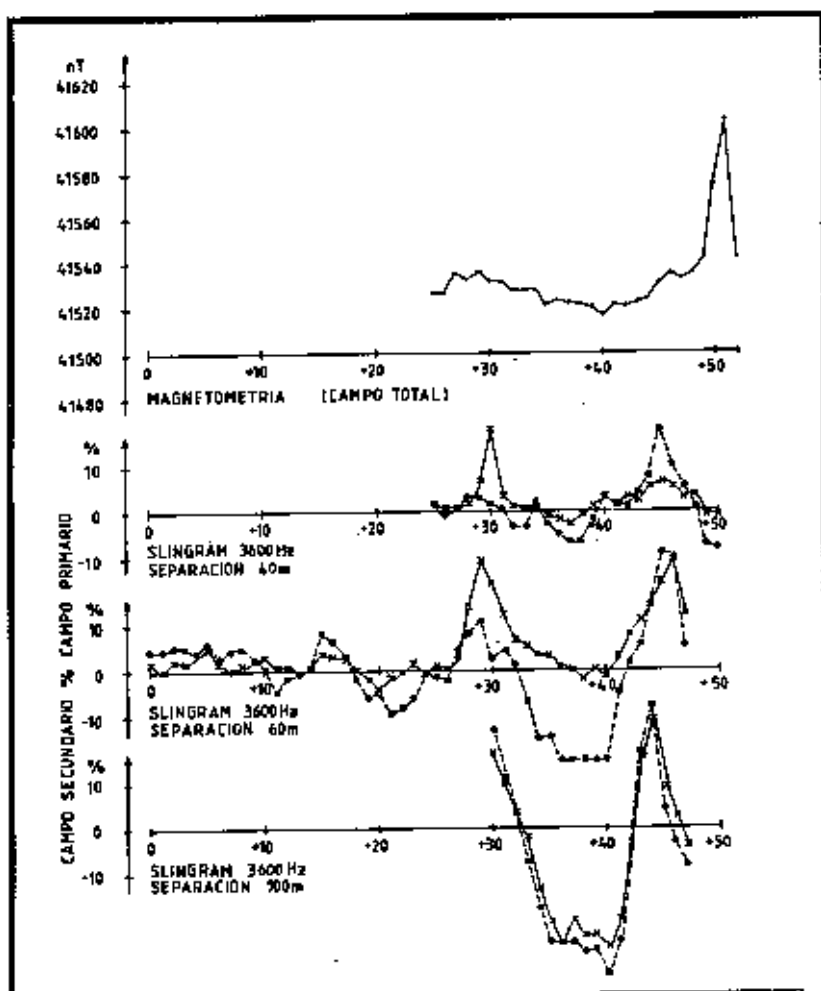
ANOMALIA GEOFISICA

— REAL
- - - IMAGINARIO



SVERIGES GEOLOGISKA AB





LOMA NANDITA

[VILLA ALTAGRACIA]

LINEA 12 N

ANOMALIA GEOFISICA

SLINGRAM \times - \times - \times REAL

\cdot - \cdot - \cdot IMAG

MAGNETOMETRIA - - - - - CAMPO MAGNETICO TOTAL

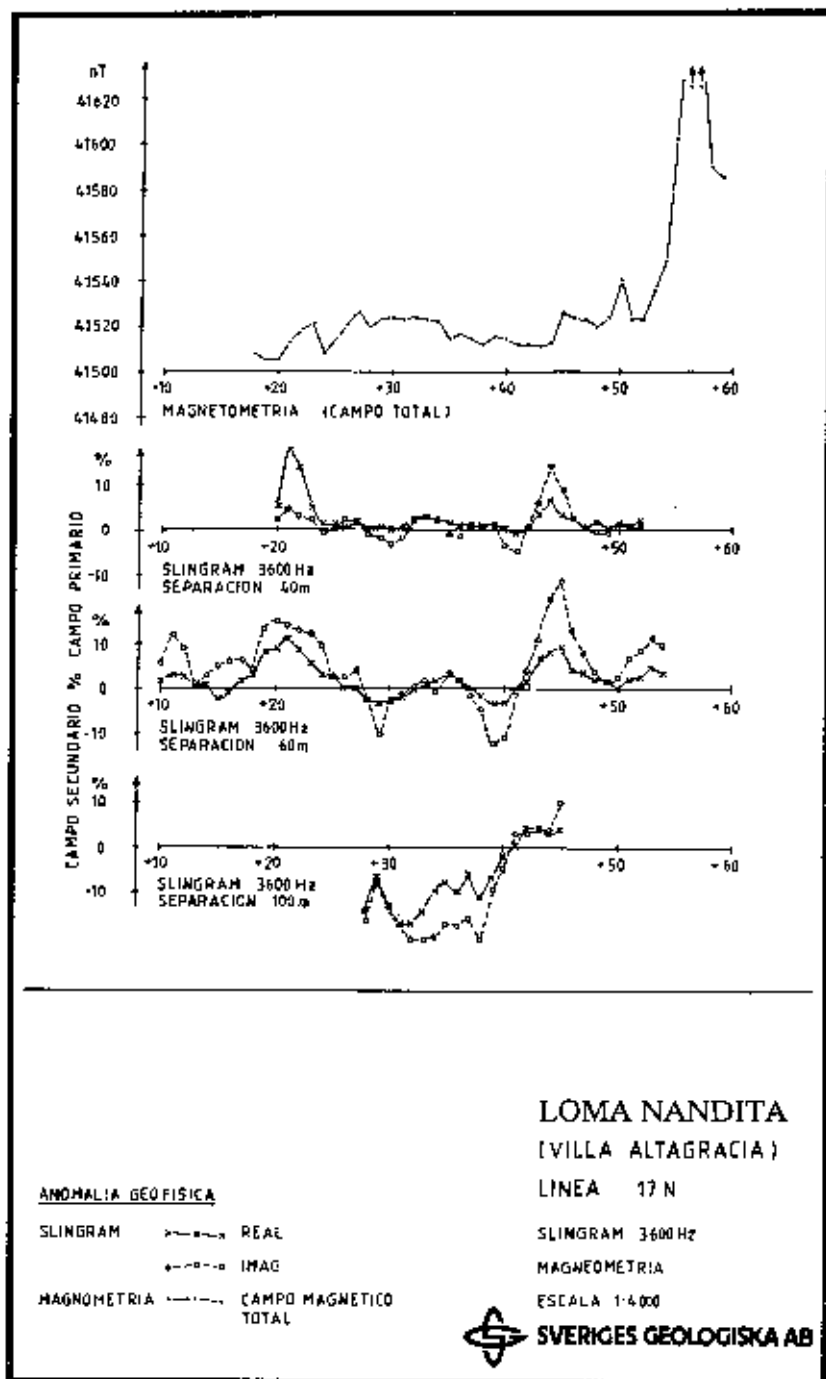
SLINGRAM 3600 Hz

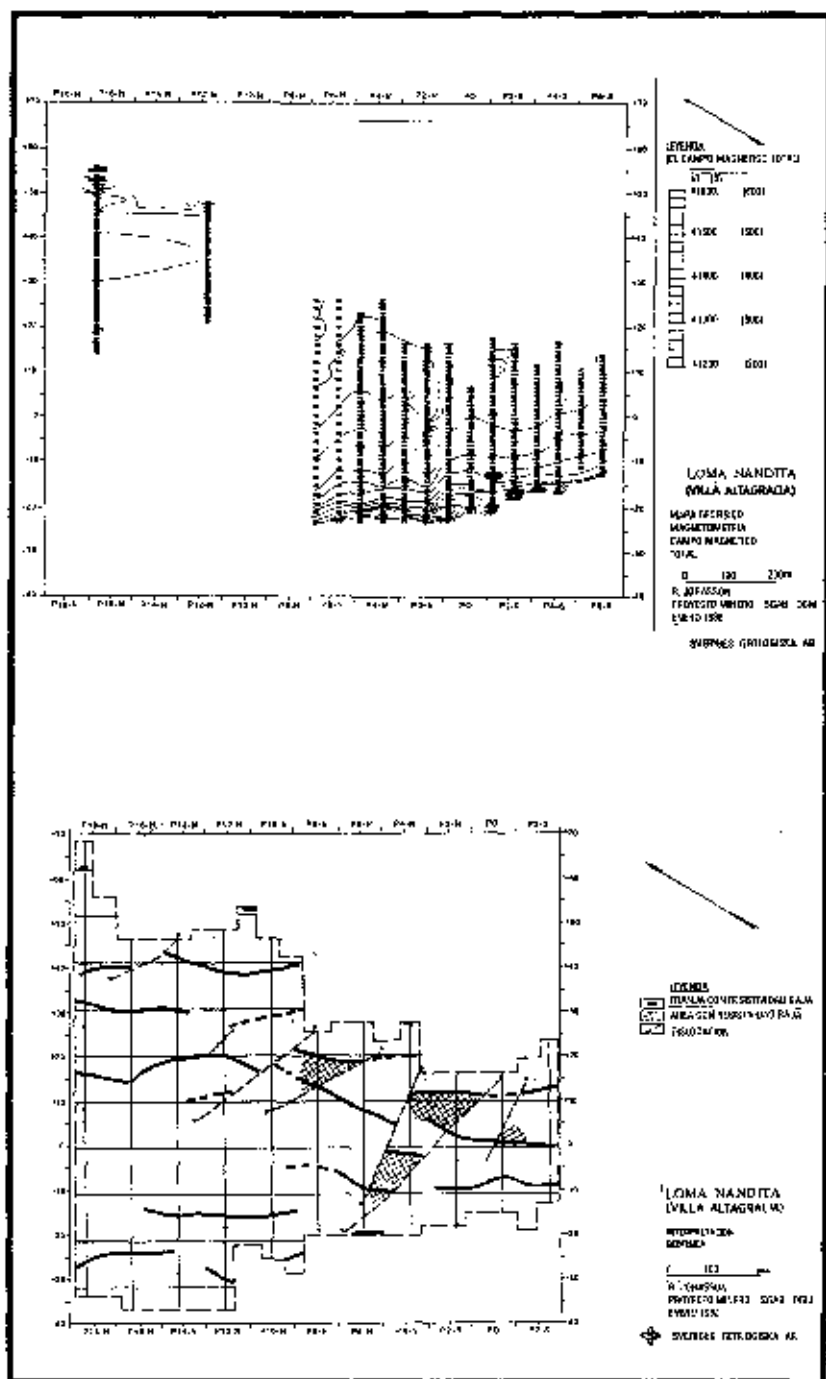
MAGNETOMETRIA

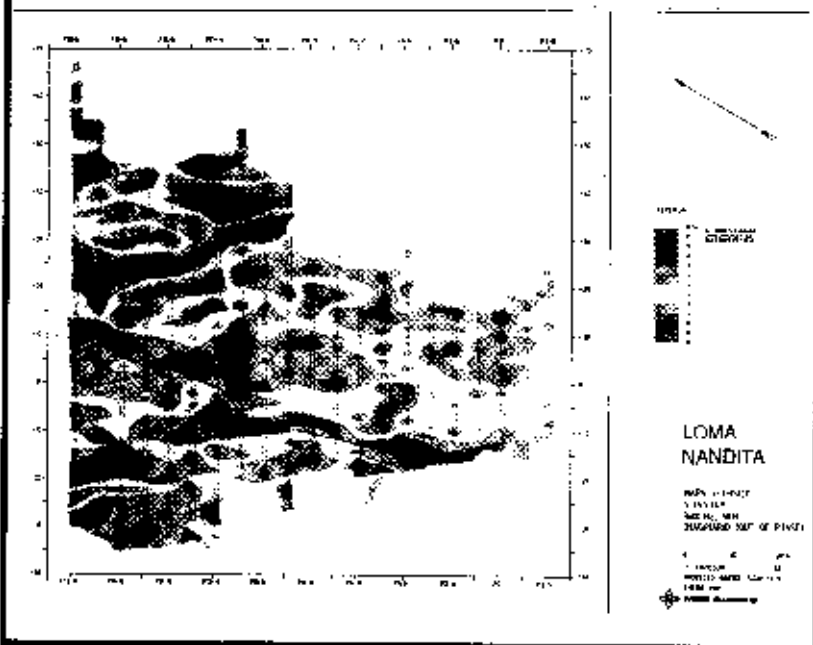
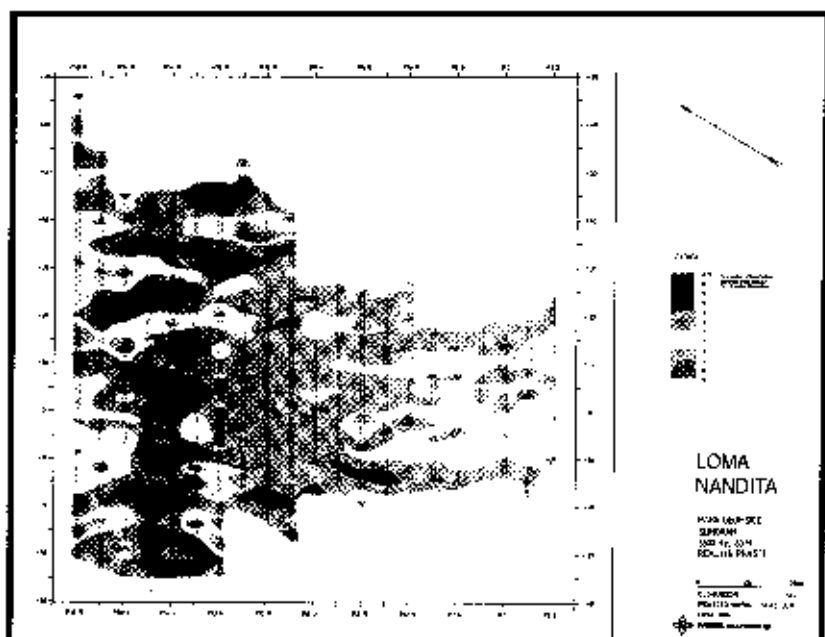
ESCALA 1:4000



SVERIGES GEOLOGISKA AB







La primera anomalía citada se interpreta como causada por un dique magnético, y la segunda por una variación en la profundidad del suelo o por una zona fracturada. Las conclusiones del programa de slingram son las siguientes:

- Se ha demostrado la existencia de una zona de conductividad eléctrica que en su parte sur coincide con una veta de cuarzo ya conocida.

- Varios horizontes similares y subparalelos se presentan dentro de la zona de mediciones. Los más interesantes se encuentran en el área comprendida entre las líneas P 8 N y P 18 N y entre las estaciones + 10 y +15.

- De los métodos aplicados, el de slingram se considera exitoso. Las mediciones magnetométricas no han dado el mismo buen resultado.

2.- POLARIZACION INDUCIDA (I.P.)

LÍNEAS DE MEDICIONES

Las vetas de cuarzo investigadas en Loma Nandita tienen dirección $N30^{\circ}W$ e inclinación vertical, razón por la cual las líneas de mediciones están colocadas en dirección $N60^{\circ}E$, es decir, perpendiculares a las vetas. En primer lugar, la línea base está orientada en dirección $N30^{\circ}W$, siguiendo el centro de la veta. Las líneas de mediciones tienen una separación de 50 m. sobre la línea base, y las líneas de mediciones están numeradas de la siguiente manera: P (perfil), N (norte) y S (sur), o sea, P-1-S, P-6-S, P-1-N. Cada línea fue estacada a 20 m. y numerada, marcando (+) positivo hacia el oeste y (-) negativo hacia el este. En total, unas 14 líneas fueron marcadas en un rango comprendido entre -8 (mínimo) y +30 (máximo).

TRABAJOS DE MEDICIONES

Los electrodos de corriente utilizados, fueron barras de hierro que primero estuvieron colocadas en las estaciones +4, +2, 0, -2, -4, luego en las estaciones +4, +6, +8, +10, +12 (y líneas largas +12, +14, +16, +18, +20), y después en las estaciones -4, -6, -8, -10, -12. Para las mediciones del receptor se usaron potes de porcelana conteniendo una solución de sulfato de cobre (CuSO_4), llamados "Electrodos no Polarizados".

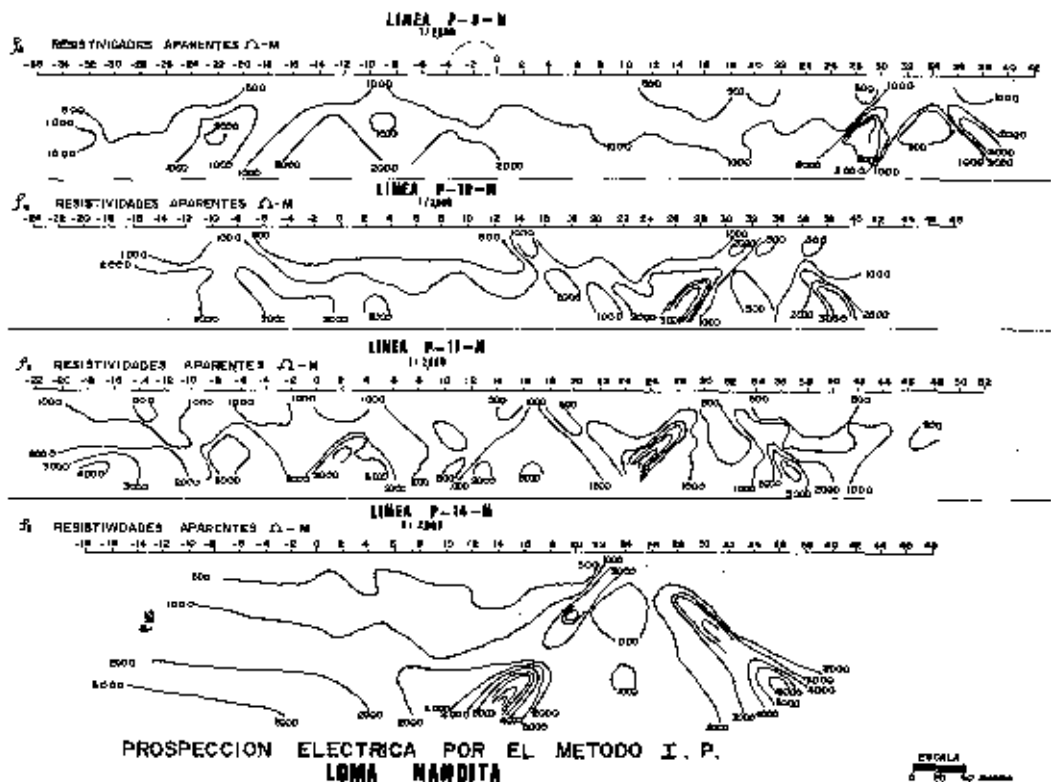
INTERPRETACION DE LOS PERFILES DE CADA LINEA

Las clases más importantes son:

- | | |
|-----------------|--|
| Clase A..... | Anomalia de forma completa |
| Clase B..... | Anomalia de forma incompleta |
| Clase BQ..... | Anomalia de alta resistividad sólo de cuarzo |
| Clase C Borde.. | Anomalia de forma incompleta en los bordes |

Del trabajo de exploración con polarización inducida obtenemos las siguientes conclusiones:

Las anomalías de clase A de las estaciones + 3 de las líneas P-3-N, P-4-N, P-5-N, P-6- N, P-7-N forman una línea de anomalía de efectos de frecuencias. Esta línea de anomalías indica posibilidades de sulfuros.



La anomalía de clase A de la estación +3 de la línea P-4-S es similar. La anomalía de clase B de las estaciones + 11 de las líneas P-4-N, P-5-N, P-6-N y P-7-N forman una línea de anomalías Incompletas de efectos de frecuencias. Esta línea de anomalías tiene pocas posibilidades de sulfuros.

Otras anomalías de clase B son similares. Las anomalías de clase BQ tienen posibilidades de vetas de alta resistividad (vetas de cuarzo).

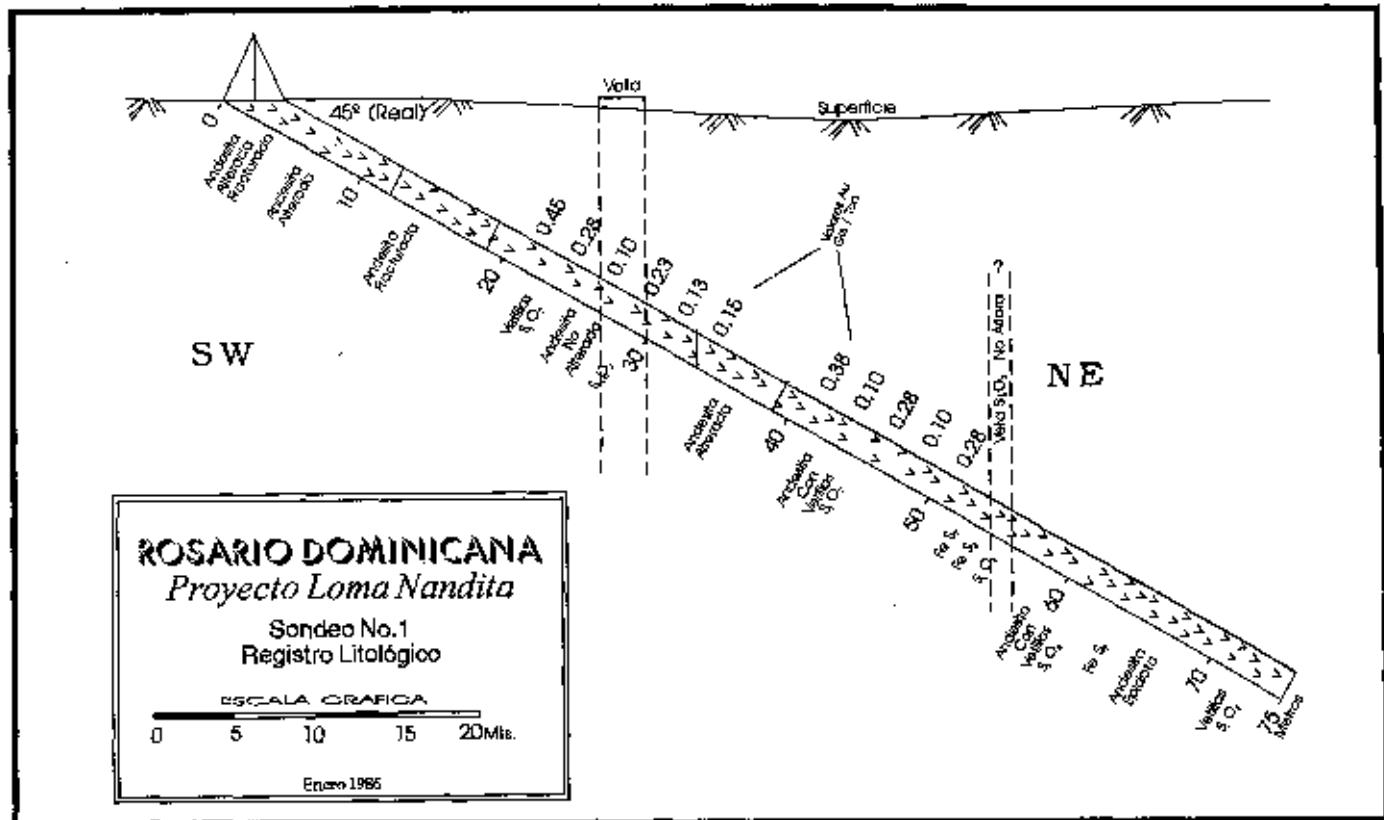
Las anomalías de clase C (borde) están formando líneas. Estas anomalías están consideradas como resultado del electromagnetismo de las líneas de corriente y tienen muy pocas posibilidades de sulfuros.

PERFORACIONES

Catorce perforaciones con recuperación de testigos fueron realizadas en el transcurso del año 1986.

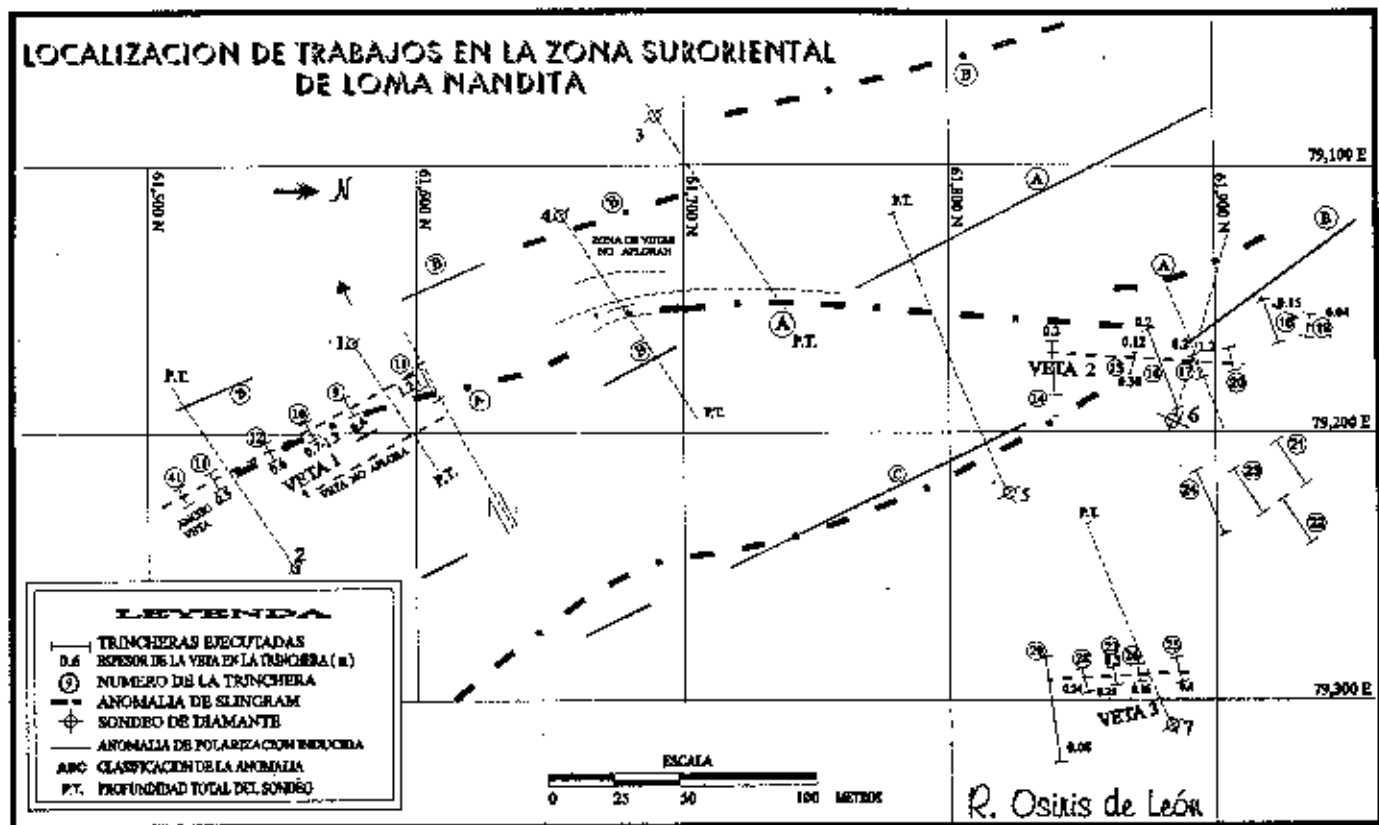
La decisión respecto a cada perforación fue tomada en función de los resultados físicos y químicos de cada trinchera, así como de los trabajos geofísicos de polarización inducida y silngram, cuyas anomalías fueron cortadas en muchos casos por la corona de diamante.

Los primeros cuatro sondeos permitieron probar que la veta No. 1 se mantiene presente por debajo de los 25 metros de profundidad a lo largo de una distancia de poco más de 250 metros. Los análisis químicos cuantitativos de estos sondeos revelan que hay pequeños valores de oro, no sólo en la veta, sino en los sistemas de vetillas cortados paralelamente a la veta principal.



De igual modo, otras vetas de espesor similar a esta veta principal fueron cortadas en profundidad, aunque las trincheras no pudieron encontrarlas próximo a la superficie. Esto nos lleva a la conclusión, de que el sistema de vetas en esta área es mayor en profundidad que próximo a la superficie.

Un total de 2,000 metros lineales fueron perforados en estos 14 primeros sondeos, lo que permite obtener un promedio de 142.86 metros por cada sondeo, aunque en la realidad las profundidades han oscilado entre 60.45 y 180 metros. Debemos señalar que la zona "más importante" desde el punto de vista geoquímico no fue perforada por razones de acceso y/o facilidades de parte de las personas que ocupan los terrenos, sin embargo, los resultados obtenidos son lo suficientemente atractivos como para justificar la continuidad de la exploración.



CONCLUSIONES

1.- El programa de exploración desarrollado a lo largo de la región de Villa Altagracia demuestra que las principales mineralizaciones auríferas se concentran en el área de Loma Nandita.

2.- Los valores de oro sólo se encuentran distribuidos en la vetas de cuarzo que cortan las rocas metavolcánicas de la Formación Duarte.

3.- La distribución del contenido aurífero dentro de las vetas de cuarzo no sigue un patrón pre-establecido por lo que hay grandes variaciones en los valores de oro encontrados.

4.- El máximo valor de oro hasta ahora encontrado en una muestra fue de 1900 gramos por tonelada, valor que es considerablemente alto si se compara con la media de los valores obtenidos, por lo que se trata de una concentración muy local.

5.- La ejecución de una campaña de perforaciones confirmó que en profundidad existen vetas no registradas superficialmente, y confirmó además que las principales vetas del área continúan por debajo de los 25 m de profundidad.

6.- Perforaciones adicionales tendrán que ser realizadas en el área noroccidental de la actual área de trabajo.

7.- La presencia de importantes valores de oro dentro de la mayoría de vetas muestreadas indica que existe un gran potencial aurífero en la zona de Loma Nandita, pero la exploración debe ser realizada con minuciosidad.

REFERENCIAS

BOWEN, CARL. *Geology of Central Dominican Republic*. Princeton University, USA, 1960.

ITO, JUNJI. Informe de la Prospección Eléctrica por el Método de I.P. en Loma Nandita, Rep. Dom., JICA 1985.

JIMENEZ, JORGE. Análisis Petrográfico de doce Secciones correspondientes al Proyecto La Cuaba. UCAMAIMA. Santiago, 1984.

JOHANSSON, RUNE. Informe Preliminar Sobre Mediciones Geofísicas en La Cuaba. Sveriges Geologiska AB. Suecia, 1985.

CEMENTO PUZOLANICO Y SUS POSIBILIDADES EN REPUBLICA DOMINICANA

Conferencia presentada en el Colegio Dominicano de Ingenieros Arquitectos y Agrimensores CODIA, dentro del 3^{er} Simposio Nacional de la Construcción. Mayo, 1988

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

RESUMEN

La existencia de importantes depósitos de tobas puzolánicas, localizados en la zona Imbert-Puerto Plata, permite que se considere como alternativa viable, la producción de cemento puzolánico, a fin de disminuir los costos unitarios de la Fábrica Dominicana de Cemento.

Las puzolanas son materiales de naturaleza inorgánica, ricos en sílice y alúmina, que finamente molidos pueden ser adicionados en un 20% - 25% al cemento portland gris tipo I, con lo que se obtiene mayor resistencia a largo plazo, mayor tiempo de fraguado, menor calor de hidratación, mayor trabajabilidad, menor permeabilidad y mayor resistencia al ataque a las aguas agresivas, entre otras ventajas.

Las pruebas físico-químicas realizadas con puzolanas de la Formación Imbert, la cual es de origen volcánico, indican que con la adición, al cemento portland tipo I, de un 20% de puzolana se obtienen resistencias muy similares a las originales del portland, y que con la adición de un 25% de esta misma puzolana, se puede producir el cemento puzolánico exigido para la presa de Jigüey, donde se requieren resistencias de 140 Kg/cm^2 a los 28 días y 210 Kg/cm^2 al año.

El minado de estas puzolanas de Imbert, que en principio alcanzaría un volumen de 5670 toneladas mensuales, se realizaría a cielo abierto mediante la utilización de un tractor y un cargador frontal que alimentaría las volquetas que transportarían el material desde la cantera hasta el muelle de Puerto Plata, si se obtiene una barcaza, o hasta el patio de la F.D.C. si se precisa de transporte terrestre, aunque el transporte terrestre supera en un 54% el costo del transporte marítimo.

De implementarse este proyecto, la Fábrica Dominicana de Cemento ahorraría RD\$1.79 por cada funda de cemento producido, equivalente a RD\$953,306.20 mensuales, lo que representa poco más de 11 millones de pesos al año, a los precios de 1988 y 24 millones anuales a precios de 1994.

INTRODUCCION

El carácter insular de la República Dominicana, ha permitido la formación de extensos bancos de caliza arrecifal, que una vez emergidos del fondo oceánico pueden ser utilizados como fuente de materia prima para diferentes procesos industriales.

Uno de los tradicionales usos de la caliza, ha sido la fabricación de cemento portland, donde esta roca sedimentaria calcárea constituye generalmente más del 70% del crudo. Esta caliza, sin embargo, debido a su alto contenido de dióxido de carbono (CO_2), tiene que ser sometida a un adecuado proceso de cocción, a fin de eliminar la mayor parte de este CO_2 , quedando entonces el carbonato cálcico reducido a cal (CaO). Este proceso implica elevados consumos de combustibles, lo que en países como el nuestro, no productores de hidrocarburos, se traduce en un continuo incremento de los precios de la funda de cemento.

De ahí, que existiendo importantes depósitos de tobas puzolánicas en la República Dominicana, se ha considerado como una alternativa viable la producción de cemento puzolánico, a fin de disminuir los costos de producción de la funda de cemento.

LOCALIZACION

Los depósitos de tobas puzolánicas, se localizan al norte y noroeste del municipio de Imbert, provincia de Puerto Plata, observándose los principales afloramientos a lo largo de los taludes que delimitan la carretera Navarrete-Puerto Plata, especialmente luego de pasar el cruce de Imbert, en dirección hacia Puerto Plata.

La zona de afloramientos se encuentra entre las longitudes 06,000 mE, y 19,000 mE y entre las latitudes 85,000 mN y 96,000 mN; aunque los más extensos afloramientos se localizan entre las longitudes 06,000 mE y 12,000 mE y entre las latitudes 87,000 mN y 89,000 mN del sistema Universal Transverse de Mercator (U.T.M.). Esta zona se sitúa inmediatamente al norte del municipio de Imbert.

PUZOLANAS

Las puzolanas son materiales de naturaleza inorgánica, ricos en sílice y alúmina, con poco o ningún valor cementante, pero que al molerlos muy finamente y colocarlos en presencia de agua e hidróxido cálcico, reaccionan químicamente a temperaturas ordinarias, formando compuestos con propiedades cementantes.

Las puzolanas se obtienen a partir de cenizas volcánicas silicificadas, a partir de las cenizas residuales de la combustión del carbón mineral (cenizas volantes), o a partir de escórias no férricas.



La zona de Imbert-Puerto Plata, está constituida por diferentes rocas ígneas y sedimentarias, entre las cuales se destacan tobas andesíticas cristalizadas y litificadas, así como tobas finas de textura sacaroide asociadas a delgados estratos de calizas.

Estas tobas reúnen condiciones físicas y químicas que las hacen elegibles para la fabricación de cementos puzolánicos. Nuestros primeros estudios orientados hacia la utilización de estas tobas como adiciones activas en los cementos portland, fueron iniciados en el año 1980, gracias al Programa de Cooperación Dominico-Alemania. A partir de esa fecha se ha seguido trabajando, y hemos llegado inclusive a hacer pruebas de molienda y mezclas en los molinos de la Fábrica Dominicana de Cemento con excelentes resultados aquí incluidos.

GEOLOGIA

GEOLOGIA GENERAL

La zona Imbert-Puerto Plata, está constituida fundamentalmente por tobas, piroclastos, gabros y serpentinitas que se asocian dentro de lo que se ha denominado como el complejo de Puerto Plata.

La tobas y piroclastos, pertenecientes a las formaciones Imbert y Los Caños, afloran al norte del municipio de Imbert y se extienden hasta el área norte de Loma La Moñúa. Los gabros y serpentinitas, por su parte, afloran al oeste y suroeste de la bahía de Maimón, cubriendo los cerros de Gran Diablo y la Ojaldra, así como la Loma El Guaconejo.

Para los fines de este estudio, las unidades más importantes son las tobas y piroclastos de las formaciones Los Caños e Imbert que datan del Cretácico Superior al Eoceno Inferior.

LITOLOGIA

FORMACION LOS CAÑOS

La Formación Los Caños, fue descrita por F. Nagle (1966) y consta de flujos andesíticos y tobas, con espilitas y keratófros próximo a la base.

Los análisis microscópicos realizados por Nagle, le permitieron subdividir esta formación en 5 unidades.

- 1.- Tobas andesíticas cristalizadas y litificadas
- 2.- Flujos de andesita hornbléndica
- 3.- Espilitas
- 4.- Andesitas feldespáticas
- 5.- Flujos de andesita piroxénica

Las rocas tobáceas han sido las más fuertemente afectadas por el intemperismo de la zona, encontrándose que la variedad más común, que es la toba vítrica andesítica, está caracterizada por fragmentos de plagioclasas emplazados en una matriz desvitrificada y transformada en clorita, calcita y magnetita.

En los taludes de la carretera Navarrete-Puerto Plata, se observan algunos cortes donde las tobas exhiben muy buena estratificación y coloraciones que van desde el crema claro hasta el marrón oscuro, incluyendo el verde.

La base de esta formación no está muy bien expuesta, pero a partir de los afloramientos se presume que yace sobre un basamento de peridotita serpentínizada.

Aunque en la mayoría de los casos, estas tobas poseen altos valores de sílice, su gran consistencia no permite que sean consideradas como las mejores para su utilización en la elaboración de cemento portland puzolánico.



Vista de un corte realizado en las puzolanas de La Atravesada.

FORMACION IMBERT

La Formación Imbert, también descrita por F. Nagle (1966), consta de tobas calcáreas de grano fino, muy bien estratificadas y gradadas ascendentemente a tobas vítricas dacíticas y andesíticas. En esta formación se encuentran interestratos de pedernal radiolárico color verde, así como delgados estratos de caliza afanítica blanca.

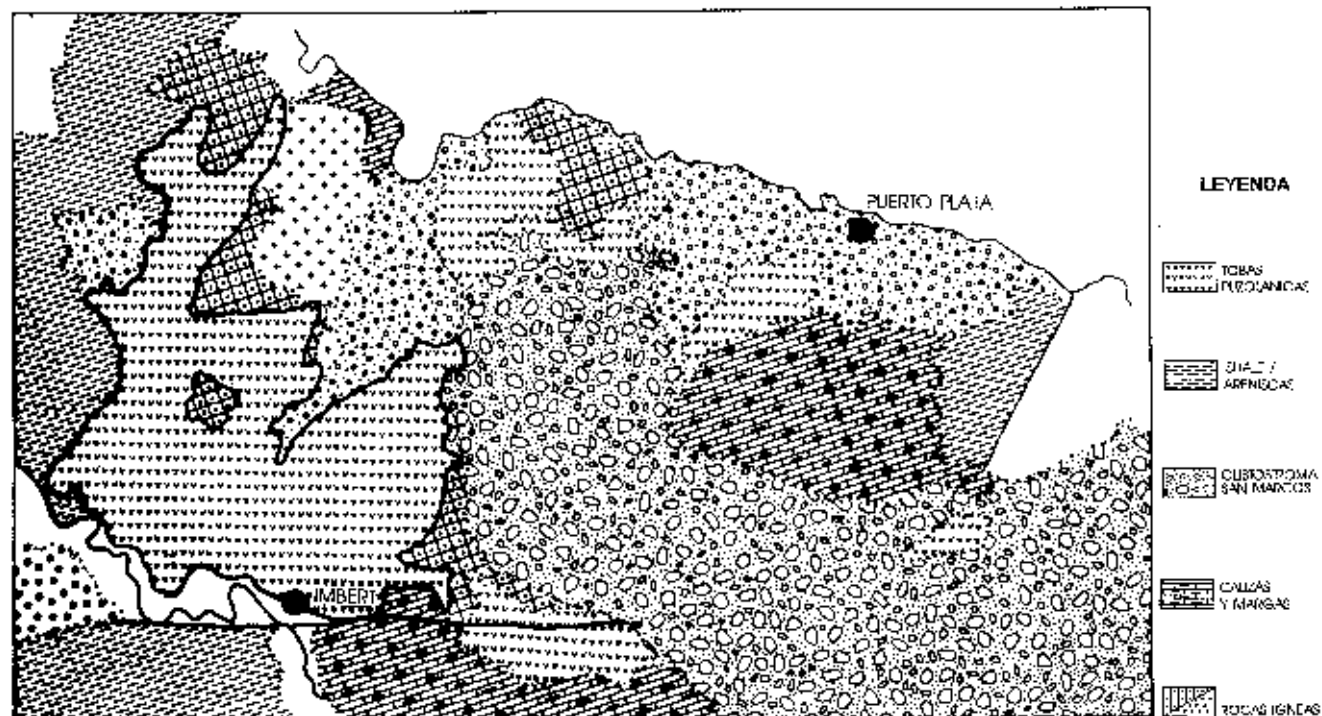
Estas rocas tobáceas afloran al norte y al noroeste del municipio de Imbert, encontrándose que las tobas calcáreas se presentan próximo a la base de la sección estratigráfica conocida, siendo densas, de grano fino, color gris claro a oscuro, compactas y estratificadas en capas finas a medias. Más del 50% de la roca está integrado por fragmentos cristalinos, principalmente plagioclasas y fragmentos líticos. El restante porcentaje lo constituye una matriz de calcita. Los fragmentos de cuarzo representan entre el 10 y el 15 % del total de fragmentos cristalinos de estas tobas.

Las tobas de la Formación Imbert son de grano fino, gradadas y menos alteradas en la porción inferior de la sección. El tamaño de grano en las tobas calcáreas gradadas va desde 0.3 mm. hasta polvo. La capa basal de cada secuencia de gradación es más oscura que el resto de las capas, debido principalmente a la presencia de polvo de pirita (FeS_2) y al reemplazamiento parcial de conchas de foraminíferos por pirita. Estas capas basales son mucho más ricas en restos de foraminíferos que las otras láminas.

Las tobas vítricas no son fosilíferas, ni gradadas, pero son de grano fino y tienen apariencia de calizas blancas.

La Formación Imbert, sobreyace discordantemente la Formación Los Caños, y su edad se estima que es Paleoceno - Eoceno Inferior.

MAPA DE LOCALIZACION DE PUZOLANAS



FUENTE: COOPERACION MINERA DOMINICO-ALEMANA

0 5 10 15 Km

En los cortes de El Alto de la Atravesada, se observan tobas blancas de textura sacaróide, muy friables e intemperizadas, que pertenecen a la Formación Imbert, y que se asocian con delgadas capas de calizas blancas y blandas.

Muchas muestras han sido colectadas para análisis químicos cuantitativos, análisis físicos y difracción de rayos X, determinándose que por su composición química y su molidurabilidad, las tobas de la Formación Imbert son las más adecuadas para la fabricación del cemento portland puzolánico, ya que con ellas se puede obtener un blaine superior a los $4000 \text{ cm}^2/\text{gr.}$, y una sumatoria de sílice y alúmina por encima del 70%.

ESTUDIO GEOQUIMICO

Un adecuado programa de muestreo de puzolanas, fue desarrollado en todos aquellos afloramientos que por sus características topográficas y proximidad a la principal vía de acceso, pudiesen enmarcarse dentro de los objetivos de este proyecto.

La principal zona de muestreo, fue la conocida con el nombre de "El Alto de la Atravesada", pues es la zona de contacto entre las tobas de la Formación Los Caños y las tobas de la Formación Imbert, además de que topográficamente es la más adecuada para el desarrollo de bancos que permitan una eficiente explotación de las canteras de puzolanas.

Otras zonas de muestreo fueron "Los Tejada" y "Barba Rucia", pues en estas zonas hay afloramientos tobáceos a lo largo de los taludes que llimitan la carretera Navarrete-Puerto Plata. La zona de la Colorada no fue considerada, ya que esta zona no es más que un pequeño valle muy poblado y drenado por el arroyo Los Cayucos, razón por la cual sería muy difícil el desarrollo de canteras.

Todas las muestras colectadas fueron sometidas a análisis químicos cuantitativos para sílice, alúmina, cal, óxido férrico, magnesia, pérdida por ignición y en algunos casos álcalis.

ZONA LA ATRAVESADA

Esta zona, localizada a unos 3 kilómetros al norte del cruce de Imbert, es la que exhibe el mayor relieve topográfico dentro de los afloramientos de tobas puzolánicas. Aquí se observan tobas blancas de textura sacarolde que fueron cortadas por los taludes de la carretera y piroclastos oscuros que conforman el alto relieve.

Hasta ahora esta es la zona mejor conocida de toda la región, pues los prominentes cortes observados en la carretera, fueron lo suficientemente atractivos como para obligarnos, en el año 1980, a concentrar aquí gran parte de las actividades de muestreo.

Dado el hecho, que la sílice, la alúmina y la pérdida por ignición son los parámetros básicos en las tobas puzolánicas, entramos a considerar la distribución de estos elementos en la zona de La Atravesada.

SILICE

La sílice es el principal componente químico de las puzolanas, ya sean estas naturales o artificiales, razón por la cual es de suma importancia determinar los contenidos de SiO_2 en las zonas de interés, ya que esto nos permite preseleccionar áreas y descartar aquellas que no cumplan con el mínimo requerido.

Siempre es recomendable que el contenido de sílice esté por encima del 50% , pero mejor aún si sobrepasa el nivel del 60%, pues es aconsejable utilizar puzolanas cuya sumatoria de sílice y alúmina esté cercana al 80%.

La sílice proviene principalmente de las tobas vítricas de la Formación Imbert, de la matriz vítrica de la Formación Los Caños y de las delgadas capas de chert radlolárico, debido a que las pruebas de difracción de rayos X realizadas a tres diferentes muestras de puzolanas indican que menos del 10% de la sílice total está en forma de cuarzo.

El máximo valor encontrado en La Atravesada fue de 70% de SiO_2 , mientras que el mínimo fue de apenas 36%, en un estrato calcáreo.

CONTENIDO DE SÍLICE DE LA ZONA DE LA ATRAVESADA			
MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.	LITOLOGIA	% SiO ₂
PI-1	06.70/87.95	Toba sacaroide color crema	58
PI-2	06.70/87.92	Toba gris a café con arcilla	44
PI-3	06.65/87.96	Toba sacaroide blanca y blanda	64
PI-4	06.65/87.93	Toba compacta color crema	36
PI-5	07.60/88.55	Toba sacaroide gris y blanda	65
PI-6	07.68/88.40	Toba sacaroide gris y blanda	64
PI-18	07.00/87.80	Tobas/piroclastos	68
PI-19	07.05/87.90	Toba café silicificada	62
PI-20	07.10/88.00	Toba café/piroclastos	70
PI-21	07.07/88.10	Toba café/piroclastos	62
PI-22	07.25/88.02	Tobas Los Caños	59
PI-23	07.40/88.08	Piroclastos finos	59
PI-24	07.62/87.94	Piroclastos finos	44
PI-25	07.62/88.18	Toba gris	67
PI-26	07.70/88.10	Toba crema suave	70
PI-27	07.80/88.14	Toba algo compacta	66
PI-28	07.97/88.24	Toba gris silicificada	70
PI-29	08.12/88.42	Toba crema silicificada	70
Promedio			61

El análisis estadístico de estas 18 muestras nos dice que el valor medio para sílice es de 61%, con una desviación estándar de 9.96%. Esta desviación estándar es muy alta e indica que hay una gran variación en los contenidos de sílice razón por la cual debemos ser selectivos al definir las áreas a explotar, y además mantener un riguroso control de los frentes de minado a través de continuos análisis del material. No obstante, las curvas de distribución de SiO₂ nos sugieren que en el área inmediatamente al sur de la carretera no hay grandes cambios en el contenido de este elemento químico.



Tobas silicificadas color verdoso con interestratos de tobas intemperizadas color marrón.

De todas formas, la actividad de explotación deberá estar seguida de la correspondiente homogenización para garantizar un producto de calidad.

ALUMINA

La alúmina es el segundo componente químico en importancia dentro de las puzolanas, pues ella junto a la sílice definen básicamente la puzolana a utilizar.

La alúmina de estas tobas puzolánicas se presenta en forma de plagioclasas (albita-anortita) como se ve en el análisis de difracción de rayos X.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN MUESTRAS DE PUZOLANAS			
XRD	PI-1	PI-2	PI-4
Calcita	16%	25%	46%
Cuarzo	<5%	<10%	<5%
Plagioclasa	<10%	>10%	<5%
Pirofilita	-	≈10%	≈10%
ANÁLISIS QUÍMICO APROXIMADO			
SiO ₂ %	>50	>40	>30
CaCO ₃	16	25	46
Al ₂ O ₃	≈11	≈16	≈10
K	3.6	2.8	1.3
Fe	1.6	2.8	0.9
MgO	<2	<2	<3
S	0.01	0.02	0.02
REALIZADO EN FALCONBRIDGE POR HANS GRAF			
24 / 03 / 1984			

Esto determina que los valores de Al₂O₃ de La Atravesada sean relativamente bajos, aunque adecuados para fines del cemento portland puzolánico.

En la siguiente tabla vemos la distribución de alúmina para las muestras colectadas en esta zona.

Distribución de alúmina para las muestras colectadas en esta zona			
MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.	LITOLOGIA	% Al ₂ O ₃
PI-1	06.70/87.95	Toba sacaroides color crema	9
PI-2	06.70/87.92	Toba gris a café con arcilla	11
PI-3	06.65/87.96	Toba sacaroides blanca y blanda	9
PI-4	06.65/87.93	Toba compacta color crema	4
PI-5	07.60/88.55	Toba sacaroides gris y blanda	9
PI-6	07.68/88.40	Toba sacaroides gris y blanda	12
PI-18	07.00/87.80	Tobas/piroclastos	10
PI-19	07.05/87.90	Toba café silicificada	12
PI-20	07.10/88.00	Toba café/piroclastos	11
PI-21	07.07/88.10	Toba café/piroclastos	11
PI-22	07.25/88.02	Tobas Los Caños	13
PI-23	07.40/88.08	Piroclastos finos	14
PI-24	07.62/87.94	Piroclastos finos	9
PI-25	07.62/88.18	Toba gris	11
PI-26	07.70/88.10	Toba crema suave	12
PI-27	07.80/88.14	Toba algo compacta	12
PI-28	07.97/88.24	Toba gris silicificada	10
PI-29	08.12/88.42	Toba crema silicificada	12
Promedio			10.61

El valor promedio de estas 18 muestras es de 10.61% de Al₂O₃ y la desviación estándar es de 2.14%, sin embargo, si excluimos la muestra No. PI-4, que apenas contiene 4% de alúmina, tendremos que la media sería de 11% con una desviación de 1.46%. Conforme a su composición química, se ve que la muestra No. PI-4, estaba extraordinariamente contaminada con caliza, debido a la interestratificación de capas calizas dentro de las tobas sacaroides de la Formación Imbert. Las curvas de distribución de alúmina en La Atravesada muestran variaciones desde el 9% hasta el 14%, concentrándose los máximos valores en la parte céntrica de la zona.

PERDIDA POR IGNICION

El hecho de que entre las puzolanas aparezcan delgados estratos de calizas, hace que los valores de pérdida por ignición luzcan ligeramente altos, pues los valores fluctúan entre 7% y 19%, sin incluir la muestra No. PI-4, eminentemente calcárea, que indicó un 25% de pérdida al fuego, por lo que esta muestra debe ser descartada para los fines de las puzolanas, ya que se requieren valores de P.P.I. inferiores al 12% para que ello no afecte el cemento a producir.

PERDIDA POR IGNICION DE LAS MUESTRAS COLECTADAS EN LA ATRAVESADA			
MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.	LITOLOGIA	% P. P. I.
PI-1	06.70/87.95	Toba sacaroide color crema	13
PI-2	06.70/87.92	Toba gris a café con arcilla	18
PI-3	06.65/87.96	Toba sacaroide blanca y blanda	11
PI-4	06.65/87.93	Toba compacta color crema	25
PI-5	07.60/88.55	Toba sacaroide gris y blanda	9
PI-6	07.68/88.40	Toba sacaroide gris y blanda	12
PI-18	07.00/87.80	Tobas/piroclastos	11
PI-19	07.05/87.90	Toba café silicificada	15
PI-20	07.10/88.00	Toba café/piroclastos	10
PI-21	07.07/88.10	Toba café/piroclastos	12
PI-22	07.25/88.02	Tobas Los Caños	15
PI-23	07.40/88.08	Piroclastos finos	12
PI-24	07.62/87.94	Piroclastos finos	19
PI-25	07.62/88.18	Toba gris	13
PI-26	07.70/88.10	Toba crema suave	14
PI-27	07.80/88.14	Toba algo compacta	15
PI-28	07.97/88.24	Toba gris silicificada	7
PI-29	08.12/88.42	Toba crema silicificada	13
Promedio			13.56

En la curvas de distribución de la pérdida por ignición se aprecia que los afloramientos cercanos a la carretera, son los que poseen los más bajos valores en pérdida por ignición, y por consiguiente los más adecuados para la fabricación del cemento portland puzolánico.

MAGNESIA

La magnesia (MgO) es un elemento químico que debe ser muy bien controlado en los cementos, pues cuando excede del 6%, el porcentaje excedente, en presencia de agua, puede transformarse en hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$, el cual desarrolla un volumen mayor que el del MgO, lo que genera grietas de expansión en el cemento.

VALORES DE MAGNESIA ENCONTRADOS EN LA ZONA DE LA ATRAVESADA			
MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.	LITEOLOGIA	% MgO
PI-1	06.70/87.95	Toba sacaroide color crema	1.63
PI-2	06.70/87.92	Toba gris a café con arcilla	3.22
PI-3	06.65/87.96	Toba sacaroide blanca y blanda	----
PI-4	06.65/87.93	Toba compacta color crema	----
PI-5	07.60/88.55	Toba sacaroide gris y blanda	2.84
PI-6	07.68/88.40	Toba sacaroide gris y blanda	1.10
PI-18	07.00/87.80	Tobas/piroclastos	1.80
PI-19	07.05/87.90	Toba café silicificada	1.70
PI-20	07.10/88.00	Toba café/piroclastos	2.00
PI-22	07.25/88.02	Toba Los Caños	2.10
PI-23	07.40/88.08	Piroclastos finos	2.60
PI-24	07.62/87.94	Piroclastos finos	3.80
PI-25	07.62/88.18	Toba gris	1.50
PI-26	07.70/88.10	Toba crema suave	1.90
PI-27	07.80/88.14	Toba algo compacta	2.30
PI-28	07.97/88.24	Toba gris silicificada	1.30
PI-29	08.12/88.42	Toba crema silicificada	1.80
Promedio			1.86

Como se ve, el contenido de MgO de estas puzolanas no afectaría la calidad del cemento a producir.

ZONA DE BARBA RUCIA

Esta zona está localizada inmediatamente al sur de la bahía de Malmón y en ella aparecen pequeños afloramientos tobáceos que bordean la base occidental de la Loma San Cristóbal.

Aquí fueron colectadas las muestras Nos. PI-8, PI-9, PI-10, PI-11, PI-12 y PI-13 tomadas a lo largo de los taludes de la carretera.

VALORES DE SILICE EN BARBA RUCIA			
MUESTRA	COORDENADAS (UTM)	LITOLOGÍA	% SiO ₂
PI-8	14.90/93.40	Toba clara	54.00
PI-9-A	14.30/93.05	Toba gris	60.00
PI-9-B	14.30/93.05	Toba gris	62.00
PI-10	14.50/93.00	Toba gris silicificada	64.00
PI-11-A	14.20/92.85	Toba crema a gris/piroclastos	66.00
PI-11-B	14.20/92.85	Toba crema a gris/piroclastos	58.00
PI-11-C	14.20/92.85	Toba crema a gris/piroclastos	62.00
PI-12	14.05/92.60	Piroclastos/toba gris	58.00
PI-13-A	13.70/92.60	Toba gris/piroclastos	55.00
PI-13-B	13.70/91.90	Toba café quebradiza	49.00
Promedio:			58.80

Este valor promedio de 58.80% de SiO₂, es ligeramente inferior al promedio obtenido en la zona de La Atravesada, que fue de 61%, sin embargo, podría ser adecuado si los restantes componentes químicos estuviesen en las proporciones requeridas.

ZONA DE BARBARUCIA			
VALORES DE ALUMINA Y OXIDO FERRICO			
MUESTRA	COORDENADAS UTM	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃
PI-8	14.90/93.40	15.20	4.50
PI-9-A	14.30/93.05	12.10	2.80
PI-9-B	14.30/93.05	12.60	2.70
PI-10	14.50/93.00	11.70	2.40
PI-11-A	14.20/92.85	10.80	2.50
PI-11-B	14.20/92.85	11.70	3.30
PI-11-C	14.20/92.85	12.90	2.30
PI-12	14.05/92.60	13.20	6.40
PI-13-A	13.70/92.60	12.20	5.30
PI-13-B	13.70/91.90	12.40	5.00
Promedio		12.48	3.72

El promedio de alúmina es superior al de la zona de La Atravesada, por lo que se equilibran las sumatorias de $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ en ambas zonas, llegando estas sumatorias al 71%.

Lo que parece ser un problema con los afloramientos de tobas de la zona de Barba Rucia, son los valores de pérdida por ignición, pues conforme a los resultados de laboratorio estos están ligeramente altos, como se ve en la siguiente tabla:

ZONA DE BARBA RUCIA			
VALORES DE MAGNESIA Y PERDIDA POR IGNICION			
MUESTRA	COORDENADAS U.T.M.	% P.P.I.	% MgO
PI-8	14.90/93.40	11.33	2.40
PI-9-A	14.30/93.05	14.59	2.40
PI-9-B	14.30/93.05	12.23	1.90
PI-10	14.50/93.00	13.73	2.50
PI-11-A	14.20/92.85	13.67	2.40
PI-11-B	14.20/92.85	15.77	2.70
PI-11-C	14.20/92.85	15.05	2.00
PI-12	14.05/92.60	11.92	4.40
PI-13-A	13.70/92.60	13.67	3.60
PI-13-B	13.70/91.90	16.48	4.20
Promedio:		13.84	2.85

De estos resultados podemos concluir, que las tobas puzolánicas de La Atravesada reúnen mejores características químicas que las de Barba Rucia, además de que los volúmenes disponibles en La Atravesada, son extraordinariamente superiores a los existentes al sur de la bahía de Maimón.

ANÁLISIS QUÍMICOS DE TOBAS PUZOLANICAS							
MOUESTRA	LITOLOGIA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P.P.I.
PI-1	Toba sacaroidé crema	58.25	8.96	3.34	12.49	1.63	12.59
PI-2	Toba gris a café	44.25	11.47	6.88	14.94	3.22	17.55
PI-3	Toba sacaroidé blanda	63.60	8.63	6.37	6.64	0.00	10.62
PI-4	Toba compacta crema	35.85	3.12	4.83	28.45	0.00	25.01
PI-5	Toba sacaroidé blanda	64.70	9.38	4.72	6.62	2.84	8.89
PI-6	Toba sacaroidé blanda	64.00	12.20	2.00	3.40	1.10	12.14
PI-7	Piroclastos / arcilla	60.00	13.60	8.20	6.50	1.50	7.81
PI-8	Toba clara	54.00	15.20	4.50	8.40	2.40	11.33
PI-9	Toba gris	60.00	12.10	2.80	4.40	2.40	14.59
PI-9B	Toba gris	62.00	12.60	2.70	3.90	1.90	12.23
PI-10	Toba gris silicificada	64.00	11.70	2.40	3.50	2.50	13.73
PI-11A	Toba crema piroclástica	66.00	10.80	2.50	4.10	2.40	13.67
PI-11B	Toba crema piroclástica	58.00	11.70	3.30	8.60	2.70	15.77
PI-11C	Toba crema piroclástica	62.00	12.90	2.30	4.50	2.00	15.05
PI-12	Piroclastos / toba gris	58.00	13.20	6.40	4.00	4.40	11.92
PI-13A	Toba gris / piroclastos	55.00	12.20	5.30	9.60	3.60	13.67
PI-13B	Toba café quebradiza	49.00	12.40	5.00	13.80	4.20	16.48
PI-14	Piroclastos / toba verde	61.00	13.10	3.80	6.90	2.60	10.40
PI-15A	Toba silicificada	64.00	12.50	4.40	4.80	3.50	9.70
PI-15B	Toba azul y café	68.00	12.90	3.90	3.70	2.50	8.87
PI-16A	Tobas azul y café	60.00	13.60	7.60	4.00	3.40	10.00
PI-16B	Tobas / piroclastos	58.00	13.70	8.00	4.00	3.60	10.33
PI-16C	Tobas / piroclastos	56.00	14.80	6.60	4.50	3.80	9.91
PI-16D	Piroclastos	46.00	16.10	6.20	17.50	3.80	11.97
PI-17	Tobas color café	59.00	13.70	6.40	6.40	4.60	10.43
PI-18	Tobas / piroclastos	68.00	9.50	3.80	3.70	1.80	10.54
PI-19	Toba café silicificada	62.00	12.40	4.10	3.90	1.70	14.69
PI-20	Tobas café / piroclastos	70.00	10.60	3.40	3.90	2.00	10.26
PI-21	Tobas café / piroclastos	62.00	10.70	4.90	4.10	2.00	11.73
PI-22	Tobas Los Caños	59.00	12.70	4.60	10.10	2.10	15.47
PI-23	Piroclastos finos	59.00	14.10	5.40	7.90	2.60	12.10
PI-24	Piroclastos finos	44.00	8.90	4.20	31.50	3.80	19.30
PI-25A	Toba silicificada	66.00	10.20	1.20	6.30	1.50	14.60
PI-25B	Tobas gris	68.00	10.80	2.60	4.20	1.70	11.38
PI-26	Toba crema suave	70.00	11.70	2.00	4.70	1.90	14.46
PI-27	Toba algo compacta	66.00	12.20	3.00	5.30	2.30	14.73
PI-28	Toba gris silicificada	70.00	10.20	1.80	6.00	1.30	6.71
PI-29	Toba crema silicificada	70.00	11.80	1.60	6.10	1.80	12.90

VALORES EXPRESADOS EN PORCIENTO

VENTAJAS DEL CEMENTO PUZOLANICO

La sustitución parcial del clínker del cemento portland, por puzolana activa (por lo menos 20%), reduce sustancialmente el calor de hidratación del cemento, especialmente a corto plazo, pues el calor liberado por la reacción puzolánica es a largo plazo, por lo que no producen sensibles elevaciones de la temperatura del hormigón, con lo que disminuyen los riesgos de fisuración por contracciones debidas a choques térmicos.

El cemento puzolánico bloquea la reacción de los álcalis con los agregados de sílice amorfa (pedernal, calcedonia, etc.), tan extendidos en las regiones Sur y Suroeste de la República Dominicana, evitando con esto reacciones expansivas ácidos- álcalis.

A corto plazo, las resistencias del cemento puzolánico son menores que las del cemento portland, pero a plazo medio las igualan, mientras que ya a los 28 días las superan considerablemente. Esto es debido a que la puzolana no actúa a corto plazo, mientras que a plazo medio actúa mejor, en la medida en que usamos un clínker de mejor calidad. Por eso es importante controlar la calidad del clínker.

El cemento puzolánico mejora la plasticidad del hormigón y disminuye la posibilidad de segregación y exudación de la lechada.

La resistencia a la tracción suele ser mayor con cemento puzolánico que con cemento portland, de igual categoría y a largos plazos.

La retracción inicial de secado, tiende a ser algo mayor en el cemento puzolánico, pero la tendencia a la fisuración es menor que en los portland, debido a su menor contracción térmica y a su mayor capacidad de fluencia bajo carga, antes de la rotura.

La permeabilidad de los hormigones puzolánicos es menor que la de los portland, especialmente a edades avanzadas.

El cemento puzolánico es más resistente a los sulfatos y a las aguas agresivas, especialmente aquellas cargadas de ácido carbónico, siempre que se logre disminuir la presencia del silicato tricálcico.

VENTAJAS PARA LA REPUBLICA DOMINICANA

- Ahorro energético, ya que la puzolana no requiere calcinación.

- Incremento de la producción a corto plazo, entre un 20% y un 30% y/o disminución de las importaciones del clínker. (Una tonelada de clínker importado cuesta hoy día entre 35 y 38 dólares).

- Mayor calidad de las grandes obras en masa. Conforme a las especificaciones de los supervisores de las presas de Jigüey y Aguacate, éstas debieron construirse con un cemento portland puzolánico con 25% a 30% de puzolanas, de forma tal que se obtuvieran resistencias mínimas a la compresión de 140 kgs/cm^2 a los 28 días y de 210 kg/cm^2 al año.

PRUEBAS FISICAS 1987

Decenas de muestras de tobas puzolánicas han sido analizadas químicamente para determinar los diferentes elementos constituyentes. Sin embargo, presentaremos aquí sólo aquellas muestras que han sido mezcladas en diferentes proporciones con el cemento portland.

RESULTADOS PRUEBAS QUIMICAS						
Muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	PP.E%
Puzolana 1	58.25	8.96	3.34	12.49	1.63	12.59
Puzolana 3	63.60	8.63	6.37	6.54	0.00	10.62
Puzolana 5	64.70	9.38	4.72	6.62	2.84	8.89

La cal de todas estas muestras es consecuencia de la presencia de calca en las tobas de textura sacarolde. Con estas muestras hemos preparado morteros, que sometidos a las correspondientes pruebas físicas han dado los siguientes resultados.

CARACTERISTICAS FISICAS				
Tipo de cemento	% Puz.	No. Puz.	Fraguado Inicial	Fraguado Final
Cemento Portland		(A)	2h-40 min	3h-10 min
Cemento Puzolánico	(15%)	(1)	2h-15 min	3h-05 min
Cemento Puzolánico	(15%)	(3)	2h-25 min	3h-40 min
Cemento Portland		(B)	2h-00 min	2h-40 min
Cemento Puzolánico	(15%)	(5)	1h-45 min	3h-25 min
Cemento Portland		(C)	2h-05 min	3h-05 min
Cemento Puzolánico	(20%)	(1)	2h-10 min	3h-05 min
Cemento Puzolánico	(20%)	(3)	2h-30 min	3h-45 min
Cemento Puzolánico	(20%)	(5)	3h-00 min	4h-05 min
Cemento Portland		(D)	1h-58 min	3h-05 min
Cemento Puzolánico	(25%)	(1)	2h-35 min	3h-25 min
Cemento Puzolánico	(25%)	(3)	2h-05 min	3h-10 min
Cemento Puzolánico	(25%)	(5)	2h-25 min	4h-00 min
Cemento Portland		(E)	1h-58 min	3h-45 min
Cemento Puzolánico	(30%)	(1)	2h-20 min	3h-45 min
Cemento Puzolánico	(30%)	(3)	2h-10 min	3h-15 min
Cemento Puzolánico	(30%)	(5)	2h-15 min	3h-40 min
Cemento Portland		(F1)	1h-55 min	3h-05 min
Cemento Puzolánico	(35%)	(1)	2h-25 min	3h-45 min
Cemento Portland		(F2)	2h-10 min	3h-20 min
Cemento Puzolánico	(35%)	(3)	2h-30 min	3h-55 min
Cemento Portland		(F3)	2h-25 min	4h-05 min
Cemento Puzolánico	(35%)	(5)	2h-40 min	4h-15 min
Cemento Portland		(G)	2h-40 min	3h-35 min
Cemento Puzolánico	(40%)	(1)	3h-20 min	5h-35 min
Cemento Portland		(G2)	2h-05 min	3h-45 min
Cemento Puzolánico	(40%)	(3)	3h-05 min	5h-05 min
Cemento Portland		(G3)	2h-25 min	3h-40 min
Cemento Puzolánico	(40%)	(5)	2h-45 min	5h-15 min

De estos resultados se observa que la puzolana No.5, produce un fraguado final de mayor tiempo que el cemento portland y mayor que las puzolanas Nos. (1) y (3).

Para mezclas de 25% de puzolana, la puzolana No.5 tiene un fraguado que excede al portland en un 30% del tiempo, es decir, de 3 horas y 05 minutos (portland), sube a 4 horas (puzolánico No.5).

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

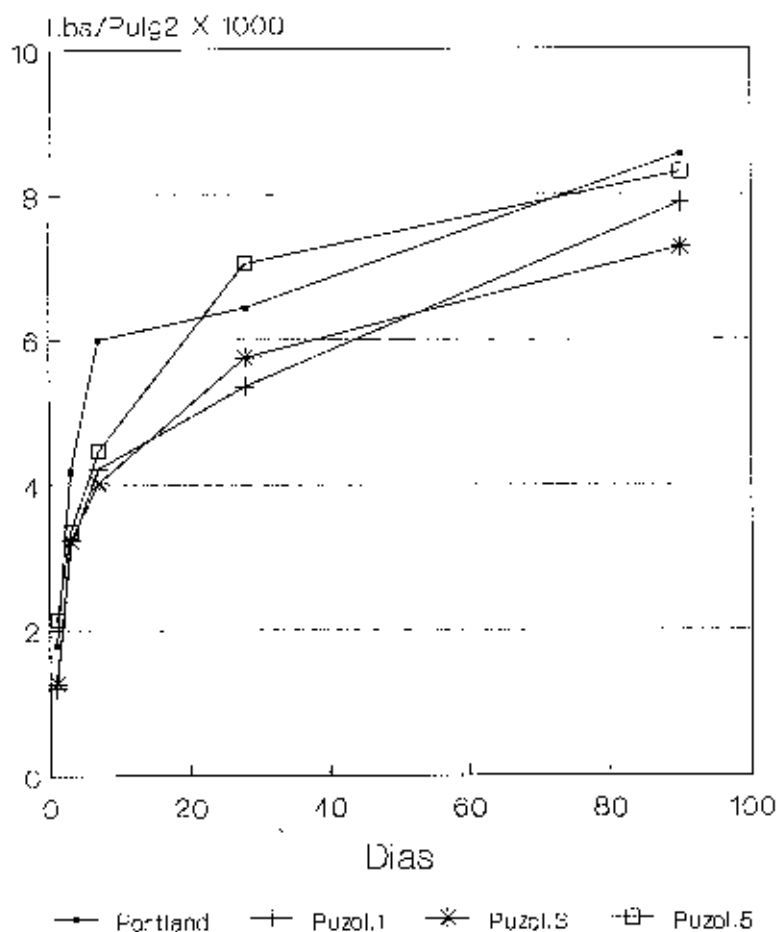
El cemento puzolánico tipo IP según la norma A.S.T.M. C 595-74 requiere las siguientes resistencias:

	3 días	7 días	28 días
Lbs. / pulg ²	1200	2100	3500
Kg / cm ²	96	178	315

Los resultados obtenidos a la fecha con morteros de cementos de diferentes finuras se presentan en la siguiente tabla expresada en libras/pulg² (P.S.L).

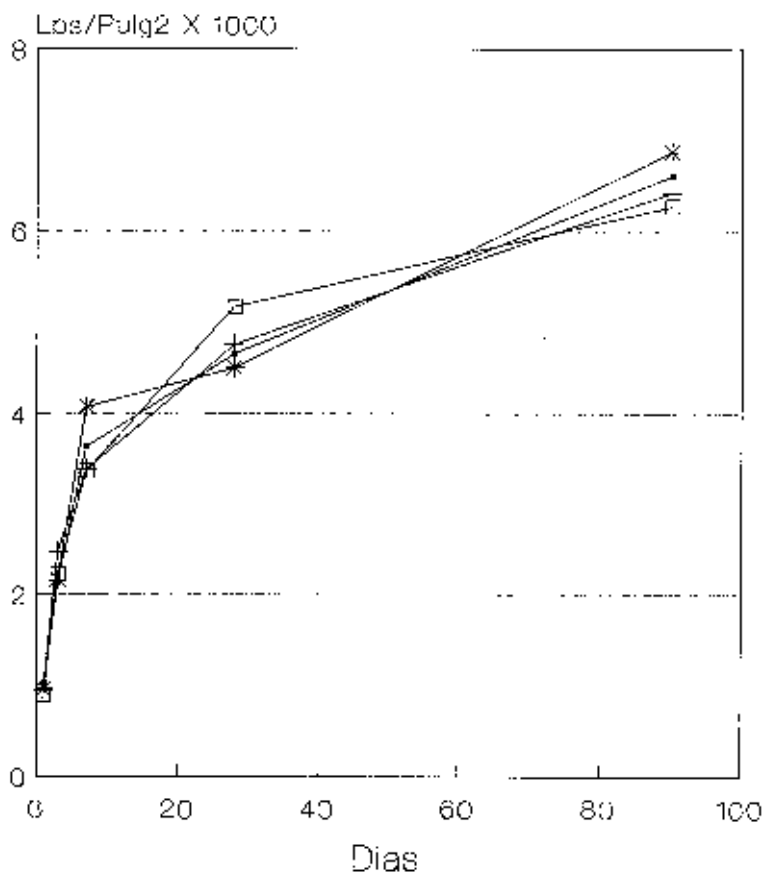
		7 días	28 días	90 días
		Libras	Libras	Libras
Cemento Portland	(A)	1783	4183	6000
Cemento Puzolánico	(1)15%	1200	3150	4225
Cemento Puzolánico	(1)15%	1270	3233	4025
Cemento Portland	(B)	2583	4725	5150
Cemento Puzolánico	(5)15%	2133	3354	4467
Cemento Portland	(C)	1025	2117	3632
Cemento Puzolánico	(1)20%	957	2473	3375
Cemento Puzolánico	(3)20%	967	2158	4067
Cemento Puzolánico	(5)20%	893	2207	3358
Cemento Portland	(D)	950	2294	2473
Cemento Puzolánico	(1)25%	730	1793	2647
Cemento Puzolánico	(3)25%	535	1771	2263
Cemento Puzolánico	(5)25%	842	1792	2283
Cemento Portland	(E)	950	2294	2473
Cemento Puzolánico	(1)30%	800	1723	2600
Cemento Puzolánico	(3)30%	592	1298	2000
Cemento Puzolánico	(5)30%	637	1227	2067
Cemento Portland	(F)	725	1853	2950
Cemento Puzolánico	(1)35%	465	1102	1648
Cemento Puzolánico	(3)35%	492	1170	1683
Cemento Puzolánico	(5)35%	386	1392	1623
Cemento Portland	(G)	852	2083	2167
Cemento Puzolánico	(1)40%	375	800	1275
Cemento Puzolánico	(3)40%	402	893	1575
Cemento Puzolánico	(5)40%	290	825	1198

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CEMENTO PUZOLANICO CON 15% DE PUZOLANA



RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS/PULG2

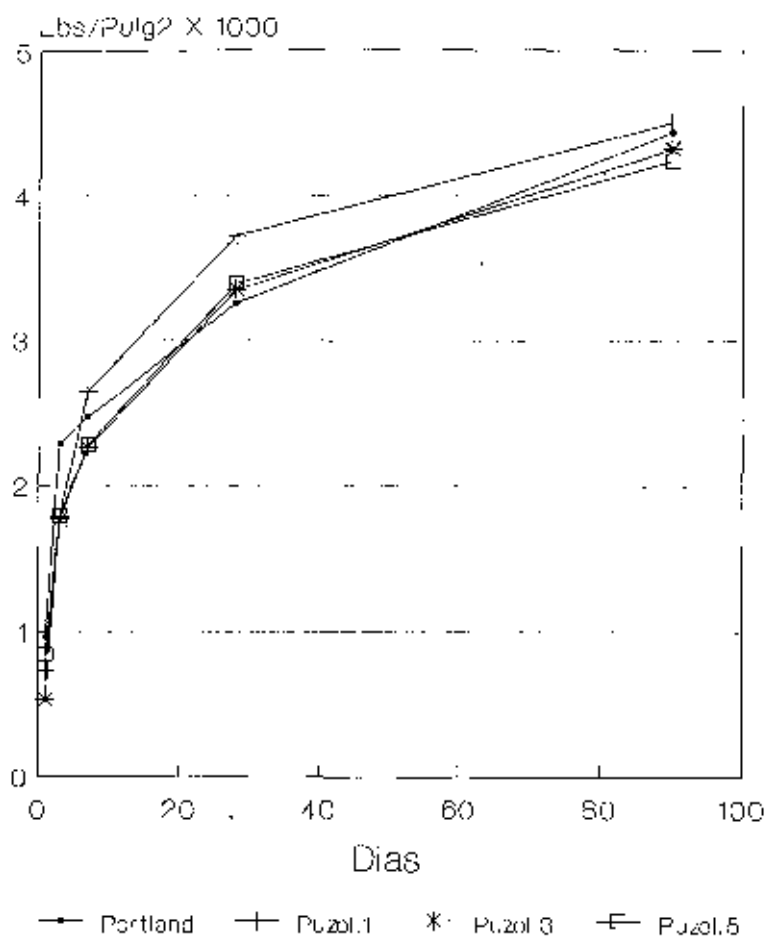
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CEMENTO PUZOLANICO CON 20% DE PUZOLANA



□ Portland + Puzol.1 * Puzol.3 △ Puzol.5

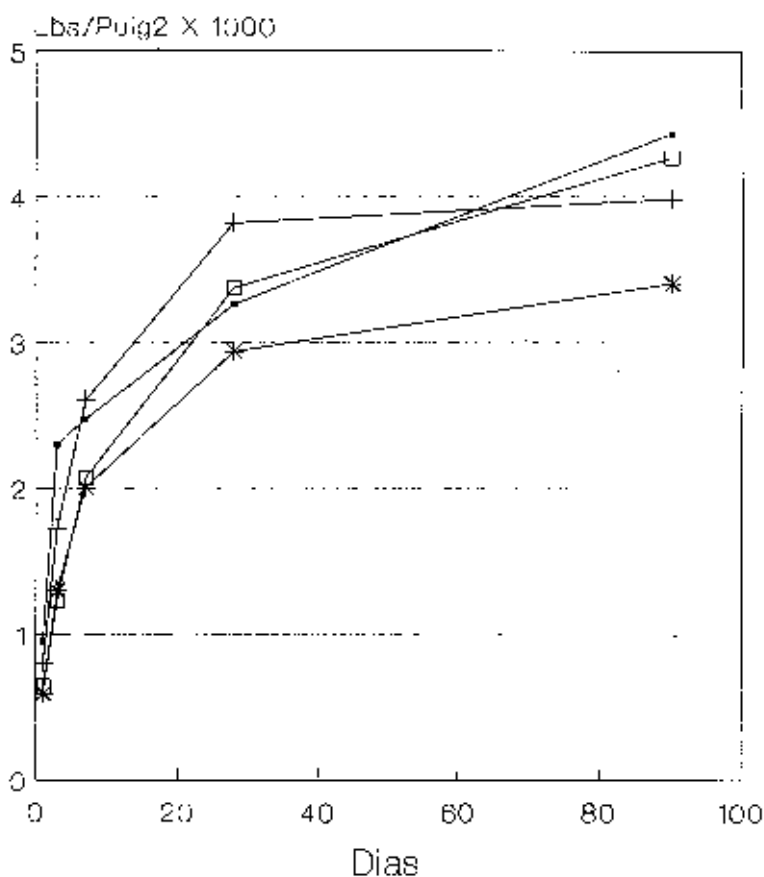
RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS/PULG2

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CEMENTO PUZOLANICO CON 25% DE PUZOLANA



RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS/PULG²

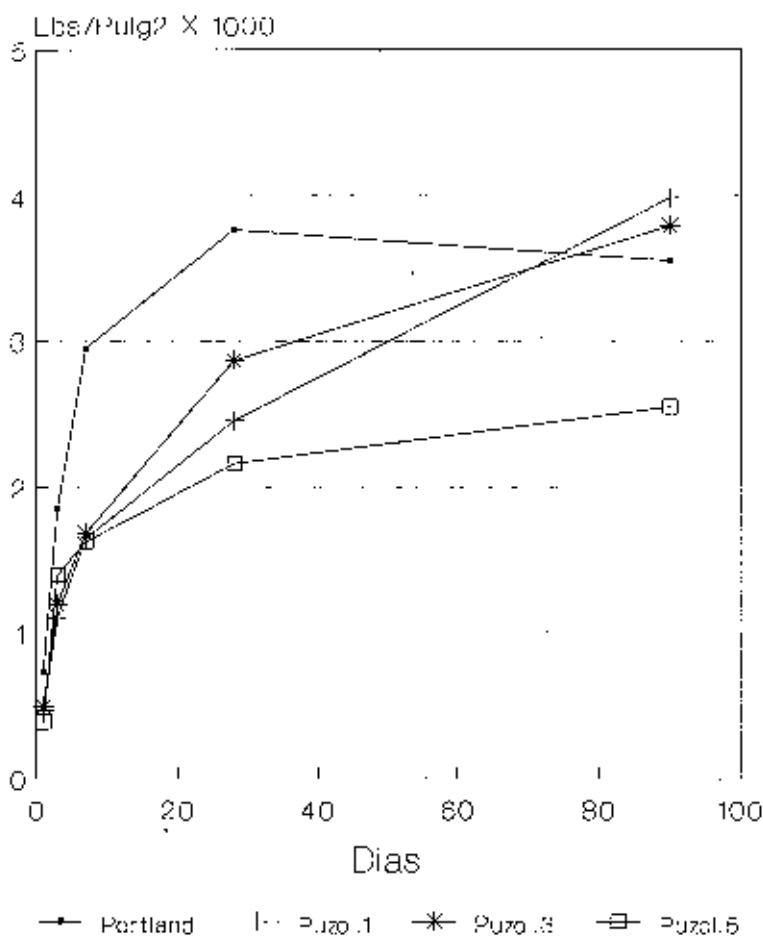
RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE GEMENTO PUZOLANICO CON 30% DE PUZOLANA



—●— Port and —+— Puzol.1 —*— Puzol.3 —□— Puzol.5

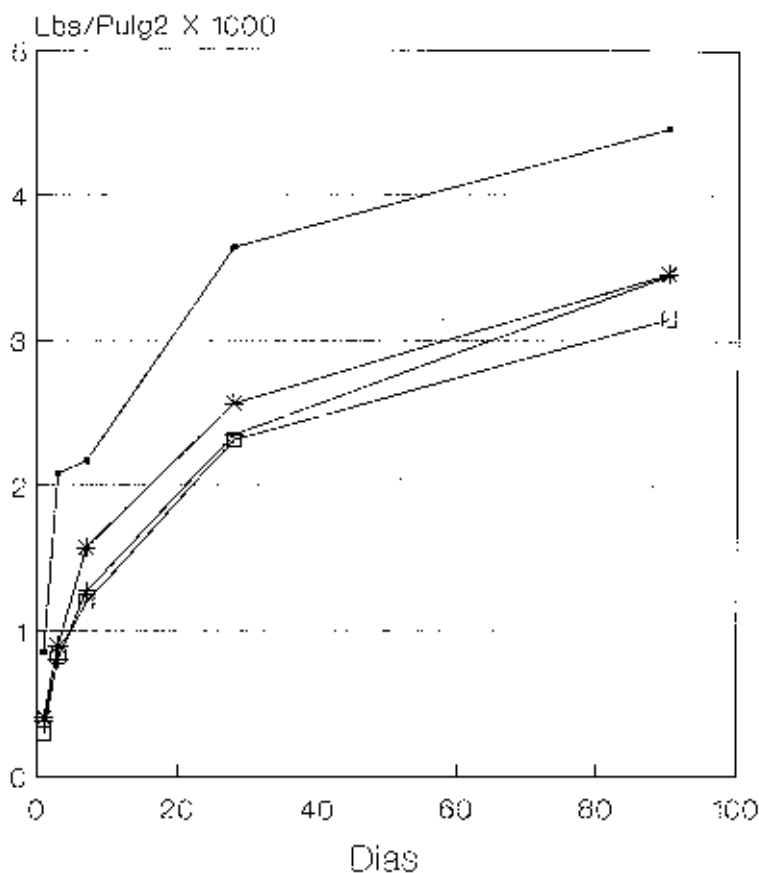
RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS/PULG2

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CEMENTO PUZOLANICO CON 35% DE PUZOLANA



RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS./PULG²

RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE CEMENTO PUZOLANICO CON 40% DE PUZOLANA



—●— Portland | Puzol. 1 * Puzol. 3 —□— Puzol. 5

RESISTENCIA EXPRESADA EN LBS/PULG2

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PUZOLÁNICO EN RELACION AL PORTLAND											
Tipo de Cemento	Fraguado			Resistencia de Cubos							
	Fineza		Blaine	Consist.	Inicial	Final	Libs. / pul. ²				
	200	325	Cm ² /g	Normal	Gillmore	Gillmore	1 Día	3 Días	7 Días	28 Días	90 Días
Puzolana 1											
Cemento portland	87.60	74.80	3676	22.0	2°-05'	3°-05'	1025	2117	3632	4650	6607
Cemento Puzolánico	88.60	74.40	3940	23.69	2°-10'	3°-05'	957	2473	3375	4750	6425
Puzolana 3											
Cemento portland	87.60	74.80	3676	22.0	2°-05'	3°-05'	1025	2117	3632	4650	6607
Cemento Puzolánico	87.40	79.40	3633	24.77	2°-30'	3°-45'	967	2158	4067	4500	6875
Puzolana 5											
Cemento portland	87.60	74.80	3676	22.0	2°-05'	3°-05'	1025	2117	3632	4650	6607
Cemento Puzolánico	89.00	80.20	5106	24.15	3°-00'	4°-05'	893	2207	3358	5167	6267
Las mezclas fueron preparadas con 80% de Cemento Puro y 20% de Puzolana											

En la gráfica de resistencia a la compresión simple para cubos de cemento puzolánico (20% de puzolana), se observa que el comportamiento durante la primera semana es muy similar al del cemento portland, lo que indica que podemos producir un cemento puzolánico con adición de 20% de puzolanas y obtener, a corto plazo, las mismas resistencias del cemento portland gris. Además, ya vimos en la tabla correspondiente al fraguado, que tanto el fraguado inicial como el fraguado final del cemento puzolánico (20%) (1) eran iguales a los del cemento portland.

Las pruebas para 35% y 40% deben ser repetidas, pues los resultados son buenos en relación al portland, pero los resultados de ese portland están muy bajos, por lo que hay que repetir los ensayos con portland de mayor finura.

MINADO

Las operaciones de minado, como es natural, deberán realizarse a cielo abierto mediante el sistema de bancos. Debido a la inconsistencia del material, los bancos no deben sobrepasar los 5 metros de altura, y así mantener la operación dentro de niveles de seguridad operacional.

El uso de explosivos no es necesario dentro de las tobas de la Formación Imbert, ya que estas son suaves y fácilmente disgregables, por lo que un cargador frontal puede desarrollar la labor de extracción y carguío hasta la volqueta.

Se requiere de un tractor para el acondicionamiento de la base de cada banco, así como para la preparación de las rampas de acceso hacia los diferentes niveles de bancos. Este tractor mantendrá en condiciones óptimas el área de carguío de las volquetas.

VOLUMEN NECESARIO

La producción mensual de la E.D.C. es del orden de las 400,000 fundas de 42.5 kilogramos cada una.

$$\begin{aligned} 400,000 \times 42.5 \text{ kg.} &= 17,000,000 \text{ kgs.} \\ &= 17,000 \text{ toneladas} \end{aligned}$$

La relación de mezcla para cemento portland puzolánico, será de 75% de cemento portland y 25% de puzolana.

El 75% de portland proviene de 71.25% de clinker y 3.75% de yeso.

Por tanto, la alimentación en la molienda será de:

71.25%	Clinker
25.00%	Puzolana
3.75%	Yeso

Para la relación 75:25 a partir de las 17,000 toneladas mensuales de cemento portland, necesitamos 5670 toneladas mensuales de tobas puzolánicas.

La nueva producción mensual de la Fábrica Dominicana de Cemento será de 22,670 toneladas de cemento portland puzolánico, equivalente a 533,412 fundas mensuales.

Naturalmente que esto podría variar en función de las necesidades del mercado local y producir 60 - 70% de cemento portland puzolánico y 30-40% de cemento portland gris tipo I.

COSTOS DE EXTRACCION

El volumen de puzolana necesario para la F.D.C., es de 5670 toneladas mensuales, equivalentes a 1350 toneladas semanales. Los costos aproximados de extracción y carguío para estos volúmenes, se presentan a continuación:

CONSIDERACIONES GENERALES

- 1.- Que el cargador frontal de la F.D.C. vale RD\$250,000.00
- 2.- Que el tractor de la F.D.C. vale RD\$250,000.00

A)TRACTOR 82-20B

Depreciación... (RD\$250,000.00/10,000 hr).....	RD\$25.00/hr
Reparaciones generales.....	15.88/hr
Combustible... (3 Gal/hr X RD\$2.50/gal).....	7.50/hr
Servicios..... (Aceites, grasas, piezas, etc.).....	3.81/hr
Operador..... (RD\$900.00/mes/176hr/mes).....	5.11/hr
TOTAL.....	RD\$57.30/hr
Costo de movilizaciones = $\frac{RD\$57.30/hr}{39\text{ton./hr}}$ = RD\$1.47/ton	

B) CARGADOR FRONTAL 2.5 Yd³

$$2.5 \text{ Yardas cúbicas} = 2.5 \times 0.7646 \text{ mt}^3 = 1.91 \text{ mt}^3$$

$$\text{Capacidad de producción} = 379 \text{ yd}^3/\text{hr. en excavación de puzolana}$$

$$= 379 \times 0.7646 \text{ mt}^3 = 290 \text{ mt}^3/\text{hr}$$

$$= 290 \times 1.5 \text{ ton/mt}^3 = 435 \text{ ton/hr}$$

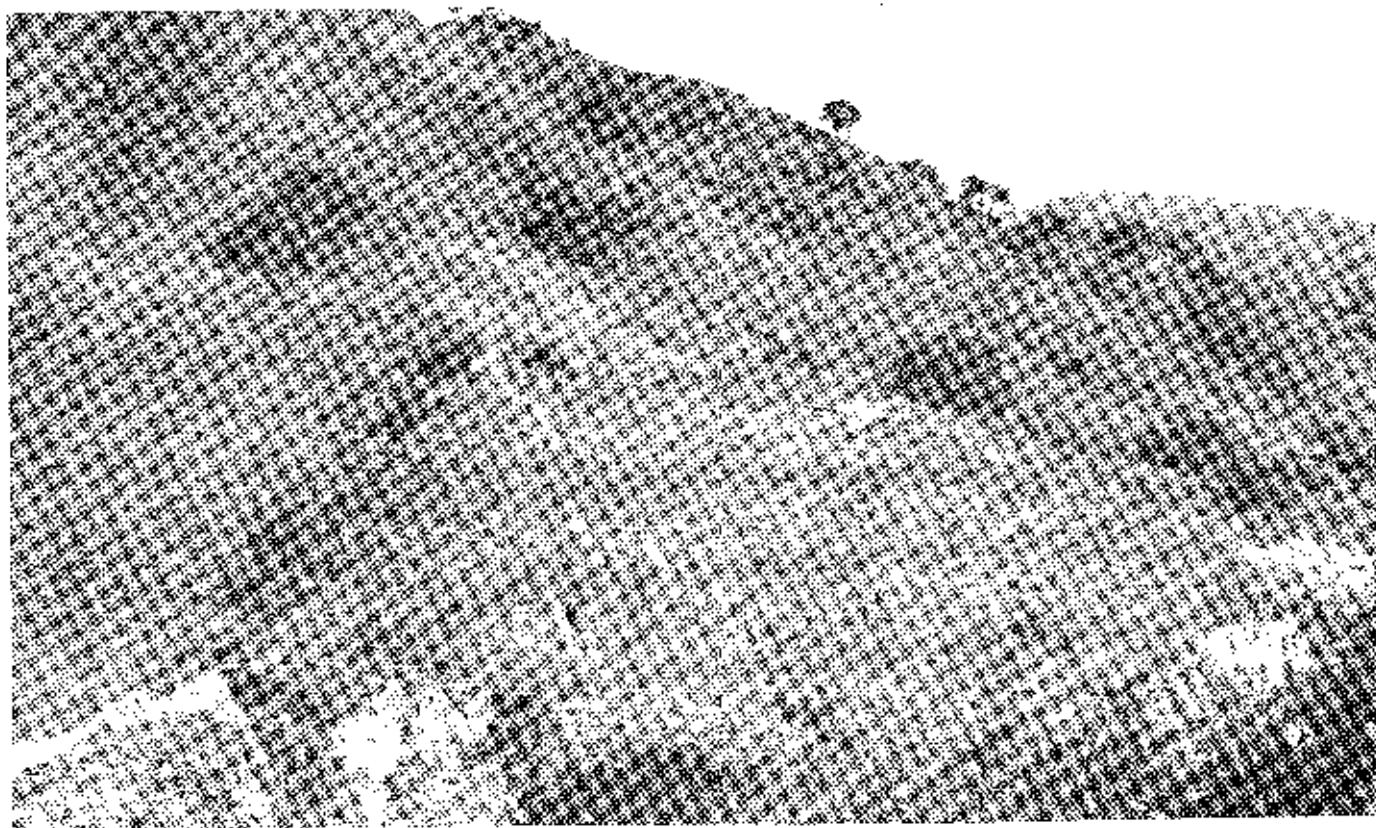
Para la producción contemplada sólo se requieren 39 ton/hr., en consecuencia este equipo estará sub-utilizado lo que aumenta sus costos unitarios.

COSTOS OPERACIONALES

Depreciación.....(RD\$250,000.00/10,000hr.).....	RD\$25.00/hr
Reemplazamiento de gomas.....	1.46/hr
Reparación de gomas.....	0.9/hr
Reparaciones generales.....	5.33/hr
Combustible (1.3 gal/hr X RD\$2.50/gal.).....	3.25/hr
Costos de servicios, (aceite, grasas).... 1/3 Comb.....	1.08/hr
Operador, (RD\$900.00/mes/176hr/mes).....	5.11/hr
	RD\$41.42/hr

$$\text{Costo de Carguio} = \frac{\text{RD\$41.42/hr}}{39 \text{ ton/hr}} = \text{RD\$1.06/ton}$$

Nota: Tanto el tractor como el cargador frontal estarán en receso las 2/3 partes del tiempo, a la espera del regreso de las volquetas.



Vista de algunos cerros constituidos por tobas puzolánicas.

C) SUPERVISION

● Un Ingeniero jefe de canteras.....	RD\$2.700.00/mes
● Un Auxiliar de canteras.....	1.000.00/mes
● Viáticos.....	1.200.00/mes
	Total RD\$4.900.00/mes
RD\$4.900/mes/5670/ ton/mes=RD\$0,86/ton.	
Los costos totales de extracción y cargajo serán:	
RD\$1,47 + 1,06 * 0,86= RD\$3,39/ton.	

Nota: Esos eran los costos para mayo de 1988 fecha de la conferencia, sin embargo, en la actualidad los costos serían: RD\$2.23 + 1.70 + 1.94 = RD\$5.87/ton.

TRANSPORTE

La F.D.C. requiere 5,670 toneladas mensuales de puzolana, equivalentes a 1,350 toneladas semanales. Si al inicio del programa no se dispone de una barcaza para el transporte, la puzolana podría ser transportada en volquetas de 20 toneladas métricas cada una.

Transportando este material en volquetas de 20 toneladas cada una, se requieren 68 viajes semanales.

Estos 68 viajes semanales implicarían altos costos operacionales, si se realizan a través de la ruta Imbert-Santo Domingo, la cual es de 205 kilómetros aproximadamente. La puzolana transportada para prueba, tuvo un costo de unos RD\$130.00/ton. ya que se contrató una firma transportista privada, y como es natural estas firmas tienen amplios márgenes de beneficios.

El yeso que se transporta desde Barahona hasta el patio de la Fábrica Dominicana de Cemento tiene un costo de flete de aproximadamente RD\$60.00/ton., y la distancia de transporte supera en 20 kilómetros a la ruta Imbert-Santo Domingo.

Si el transporte de puzolana se realiza mediante la utilización de barcaza, tenemos lo siguiente:

El tramo Imbert-Puerto Plata, puede ser cubierto con 3 volquetas a razón de 5 viajes diarios cada una.

TRANSPORTE IMBERT - PUERTO PLATA

VOLQUETAS

Tiempo de carguio	= 5 minutos
Tiempo de viaje ida y vuelta	= 60 minutos
Tiempo de descarga en el puerto	= 15 minutos
Tiempo total	= 80 minutos
Tiempo de descanso del operador	= 5 minutos por hora
Tiempo efectivo de operación	= 55 minutos por hora
Capacidad de la volqueta	= 20 Ton. métricas

En 80 minutos carga.....20.00 ton

En 385 minutos carga...96.25 ton. = 96.25 ton/día/volqueta

Capacidad de transporte..... = 96.25 ton/día/volqueta
en la ruta Imbert-Puerto Plata.

Considerando RD\$130.00/ton. en una distancia de 205 kilómetros, tenemos que el costo unitario para el flete de la puzolana sería de $RD\$130.00/205 = RD\$0.63/ton/km.$, es decir, 63 centavos por tonelada, por cada kilómetro de transporte.

El costo de transporte de yeso desde Las Salinas hasta Santo Domingo, es de RD\$60.00/ton en unos 225 kilómetros de longitud, por lo que el costo unitario sería de $60/225 = 0.27$, es decir, 27 centavos por tonelada por kilómetro, que es mucho más razonable que el anterior de 0.63 por lo que debemos trabajar con un factor para el flete de la puzolana, el cual supere el flete del yeso en un 25% de la diferencia entre el flete de la puzolana de prueba y el flete del yeso.

$$\frac{0.63 - 0.27}{4} = 0.09$$

luego RD\$ 0.27 + RD\$ 0.09 = RD\$ 0.36/ton/km
 RD\$0.36/ton/km. x 19 kilómetros = RD\$6.84/Ton
 en la ruta Imbert-Puerto Plata

Nota: Ese costo de RD\$0.36/ton/km calculado en mayo de 1988, equivaldría ahora en 1994 a RD\$0.50/ton/km. = RD\$9.50/ton.

TRANSPORTE PUERTO PLATA - SANTO DOMINGO

Para esta actividad, la Fábrica Dominicana de Cemento requiere de una barcaza con capacidad mínima de 3,000 toneladas métricas, la cual, con apenas 2 viajes mensuales, pueda satisfacer los requerimientos de la empresa. Partiendo del hecho de que hace poco una empresa privada ofertó transportar yeso desde Barahona hasta Santo Domingo, a razón de RD\$35.00/ton., podríamos estimar, que si la F.D.C. adquiere una barcaza, transportaría la puzolana desde Puerto Plata hasta Santo Domingo, con un costo no superior a los RD\$40.00/ton., ya que aunque la distancia es mucho mayor, esta diferencia en distancia sería compensada con la eliminación del margen de beneficios que obtendría el transportista privado.

De todo esto obtenemos que el costo de una tonelada de puzolana puesta en la F.D.C. sería el siguiente:

Extracción y carguo	RD\$ 3.39/ton.
Transporte Imbert - Puerto Plata (volquetas)	RD\$ 6.84/ton.
Transporte Puerto Plata - Sto. Dgo. (barcaza)	RD\$40.00/ton.
Total	RD\$50.23/ton

El total podría subir unos 5 pesos más, en caso de que sea preciso pagar los RD\$0.63 por tonelada por kilómetro que se pagaron por el transporte de la puzolana de prueba, aunque creemos que este precio está muy alto en relación al transporte del yeso.

Si la F.D.C. decide transportar la puzolana por vía terrestre hasta Santo Domingo, no deberá pagar más de RD\$0.36/ton. por kilómetro, por lo que el transporte Imbert- Santo Domingo costará:

$$\text{RD\$}0.36/\text{ton}/\text{km.} \times 205 \text{ kilómetros} = \text{RD\$}73.80/\text{ton}$$

De ahí que una tonelada de puzolana, puesta en la F.D.C. mediante vía terrestre costará:

Extracción y carguo	RD\$ 3.39/ton.
Transporte Imbert-Santo Domingo	RD\$73.80/ton.
Total	RD\$77.19/ton

Es decir, que por la vía terrestre, el transporte de la puzolana se encarece en alrededor de un 58%, si lo comparamos con el transporte marítimo (barcazas).



COSTOS PUZOLANAS & COSTOS CLINKER

Actualmente (1988) una tonelada métrica de clinker importado desde Honduras, cuesta US\$33.35 C.I.F. Puerto de Haina = RD\$211.77/ton. (US\$1.00=RD\$6.35).

El transporte desde Haina hasta el patio de la F.D.C., cuesta alrededor de RD\$13.00/ton. lo que totaliza RD\$224.77/ton. de clinker colocado en la F.D.C.

Esto implica, que para una mezcla de 75% de cemento portland y 25% de puzolana, la nueva producción de la fábrica será de 22,670 toneladas por mes, equivalentes a 533,412 fundas mensuales.

Los costos mensuales de materia prima serían:

a) Cemento portland gris tipo I

21540 ton. clinker x RD\$224.77/ton. = RD\$4,841,545. 80
 1130 ton. yeso x RD\$95.00 / ton = RD\$ 107,350.00
RD\$4,948,895.80

b) Cemento portland puzolánico (25% puzolana)

16,150 ton. clinker x RD\$224.77/ton. = RD\$ 3,630,035.50
 850ton. yeso x RD\$ 95.00/ton. = RD\$ 80,750.00
 5,670ton. puzolana x RD\$50.23/ton = RD\$ 284,804.10
RD\$ 3,995,589.60

El ahorro mensual sería de:

RD\$4,948,895.80 - RD\$3,995,589.60 = RD\$953,306.20/mes

El ahorro por funda producida sería de:

RD\$953,306.20/mes/ 533,412 fundas/mes = RD\$1.79/funda.

CONCLUSIONES

1.- Las puzolanas de Imbert, han demostrado que son lo suficientemente reactivas frente al cemento Portland, por lo que son excelentes para la utilización en la fabricación de cemento portland Puzolánico.

2.- Las puzolanas pueden mezclarse con el cemento portland, en una proporción de 20% de puzolana y 80% de portland, o en una proporción de 25% de puzolana y 75% de portland, obteniéndose elevadas resistencias en relación al portland gris tipo I.

3.- Porcentajes mayores de puzolanas pueden utilizarse para cemento de carreteras, zapatas, etc.

4.- El transporte de las puzolanas deberá realizarse por vía marítima (barcazas) para con ello disminuir considerablemente los costos de transporte desde Imbert hasta Santo Domingo.

5.- El ahorro mensual aportado por las puzolanas representa una disminución de RD\$1.79 en el costo de la materia prima utilizada para cada funda de cemento, a precios de 1988 y RD\$3.79 a precios de 1993.

6.- Partiendo de la producción de la Fábrica Dominicana de Cemento, la utilización de un 25% de puzolanas permitiría incrementar la producción mensual en 133,412 fundas y ahorrarle a la empresa RD\$953,306.20 cada mes, equivalentes a RD\$11,439,674.00 por año, a precios de 1988 y RD\$ 2,021,035.00 mensuales a precios de 1994.

GEOLOGIA DE LAS PRESAS DE CHACUEY Y MAGUACA

Conferencia Presentada en la V Jornada de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, CODIA, 20 noviembre de 1987. Santo Domingo.

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

PRESA DE CHACUEY

LOCALIZACION

La Presa de Chacuey es una pequeña presa localizada sobre la elevación 34.20 m.s.n.m. en el río Chacuey a una distancia de 6 kilómetros en dirección S 34° W del municipio de Las Matas de Santa Cruz, en la región Noroeste de la República Dominicana.

El centro de esta obra tiene una altura aproximada de 24 metros (desde la base, de cota 34.20 m.s.n.m., hasta la corona, de cota 58.20 m.s.n.m.), y está definido por las coordenadas 2,33,035mE y 21,71,495m N del Sistema U.T.M. correspondiente a la hoja topográfica de Dajabón. La longitud total de la corona de la presa alcanza los 160 metros, y su orientación es N 27° 05' 44"E.

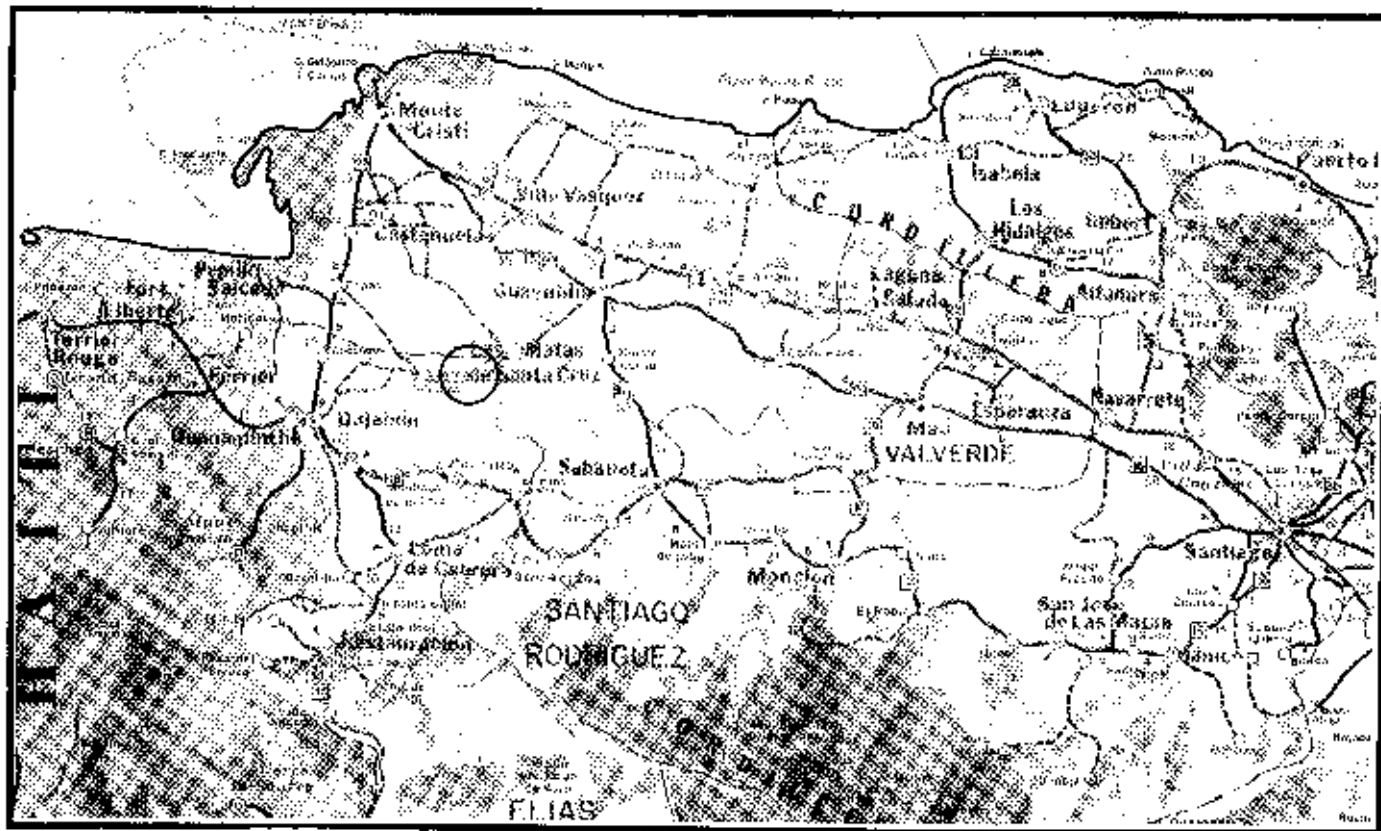
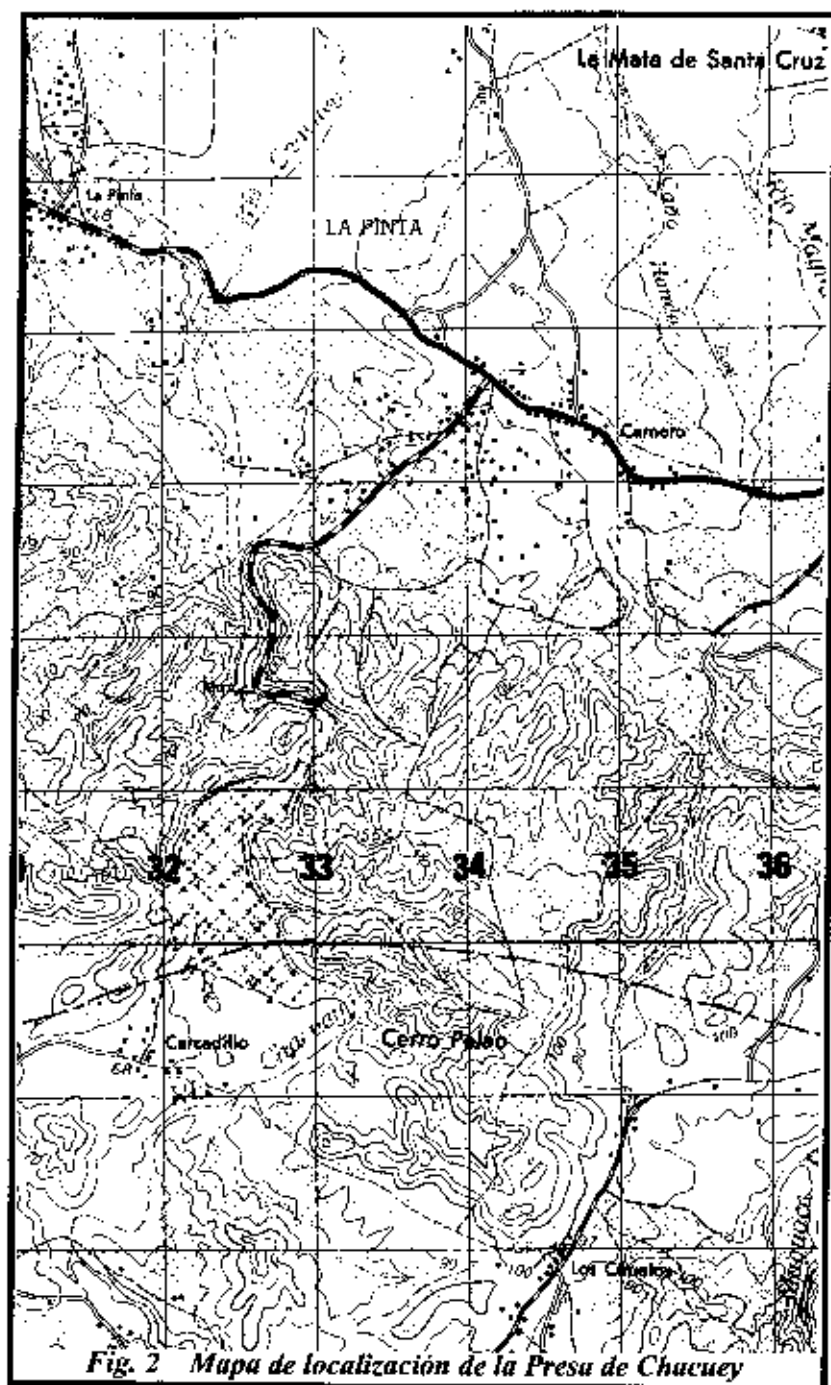


Fig. 1 Mapu de localización general de las Presas de Chacuey y Maguaca.



ANTECEDENTES

La Presa de Chacuey fue construída en el período 1977-1978 para proveer alrededor de 4,000,000 de metros cúbicos de agua para la irrigación de los predios agrícolas de la región. El embalse fue llenado en el año 1979, almacenando un considerable volumen de agua en el verano de 1980, sin embargo, filtración excesiva en la fundación, así como otras evidencias de Inestabilidad, motivaron el vaciado del embalse, permaneciendo así desde el año 1980 hasta la actualidad, aunque en este período de 6 años se han registrado múltiples fluctuaciones en el nivel.

GEOLOGIA GENERAL

Diferentes unidades calcáreas, asociadas a unidades clásticas no consolidadas constituyen el basamento y el área de influencia de la Presa de Chacuey.

Las diferentes unidades calcáreas pueden describirse como margas calizas fosilíferas, arcillas calcáreas limosas y calizas margosas fosilíferas miocénicas.

Las unidades clásticas se limitan a pequeños depósitos aluviales antiguos, algunas veces muy ricos en óxido férrico, depositados en áreas de sedimentación de antiguos cauces del río, así como un extendido manto de arenas asociado con interestratos de areniscas medianamente cementadas por carbonato de calcio, que subyace el cuerpo de margas calizas fosilíferas, aunque aflora en el talud vertical contiguo al estribo izquierdo y en los cortes realizados para la construcción del vertedero.

Estas unidades, especialmente las margas calizas, las calizas margosas y las arenas asociadas con areniscas, pertenecen a la Formación Gurabo, del Mioceno Medio, lo cual puede ser confirmado por la clasificación y correlación de los diferentes fósiles encontrados en estas unidades, entre los cuales podemos citar *Terebra trasqualis* Sowerby, *Phacoides domíngensis* Dall y otros típicos de esta formación.

En el área cartografiada geológicamente, han sido encontrados rasgos significativos de fallas, y trazas que permiten suponer la presencia de algunas dislocaciones estructurales, además, la correlación estratigráfica entre el estribo derecho y el estribo izquierdo nos hace suponer un ligero desplazamiento vertical del bloque izquierdo con relación al derecho. Esto se observa también al confeccionar una sección longitudinal a través del eje de la presa, utilizando la información litológica actual y los sondeos ejecutados en el año 1975.

En esa misma sección, se aprecia con toda claridad que la presa fue fundada sobre un gran espesor aluvial, generado por diferentes paleocauces que indican un desplazamiento lateral del cauce del río Chacuey en sentido sur-norte. Este depósito aluvial tiene un grueso espesor de gravas en su base, lo que sumado a las arenas sueltas de ambos márgenes define una sección de gran permeabilidad por debajo de la presa.

GEOLOGIA DE LA PRESA

LITOLOGIA

Depósitos Aluviales

Varios depósitos aluviales pueden encontrarse entre el estribo izquierdo de la Presa de Chacuey y el vertedero de la obra.

El principal depósito observado es el que se encuentra aguas arriba del estribo izquierdo, específicamente entre este estribo y la entrada del túnel de desagüe. Su longitud es de 65 metros y su ancho promedio es de unos 25 metros.

Los elementos constituyentes de este depósito son gravas de medianas a gruesas, subredondeadas y de color rojizo, asociadas a lentes arenosos, que varían de amarillos a rojos, y a pequeñas porciones de suelo laterítico, posiblemente transportado desde aguas arriba, siendo la razón fundamental para la coloración rojiza de todo este depósito aluvial.

El área de emplazamiento de este depósito aluvial es de pendiente suave, constituyendo, inclusive, una pequeña terraza que se sitúa en las proximidades del límite actual de la cabeza del embalse.

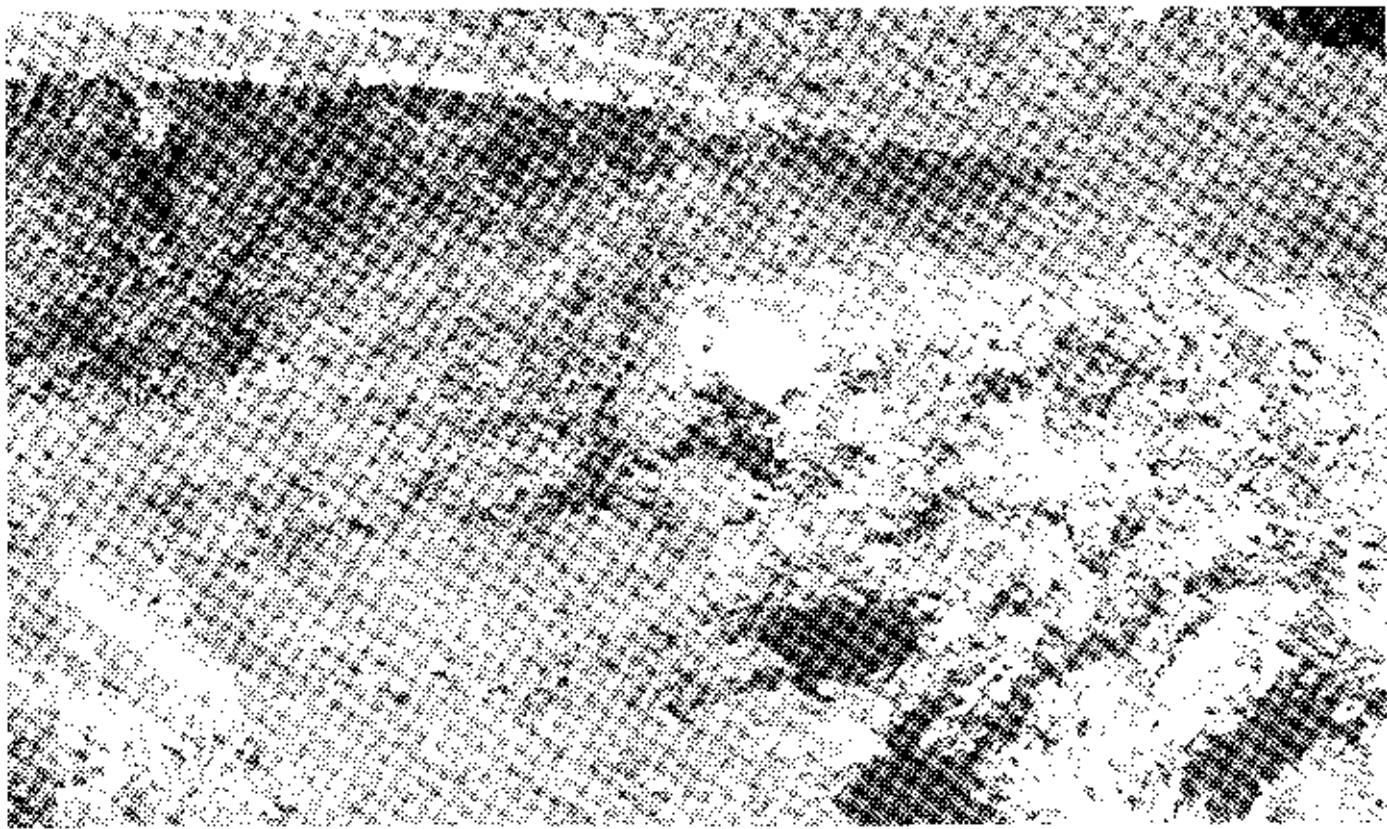
El sondeo SH-4, realizado en enero de 1975, fue situado sobre este depósito, observándose en el registro, que los primeros tres pies corresponden a un caliche arenoso amarillento, los cinco pies subsiguientes corresponden a arenas finas a gruesas con ligera proporción arcillosa y a partir de aquí se cortaron 13 pies de gravas mezcladas con arenas y arcillas. Este sondeo, de 33 pies, indica que los primeros 21 pies son de aluviones y los restantes 12 pies penetraron el manto arenoso que subyace las margas calizas del área.

Otros sondeos emplazados a lo largo del eje de la presa y que cortaron gruesos depósitos aluviales fueron SH-1, SH-2 Y SH-3, aunque el SH-1 y el SH-2 fueron los que atravesaron un mayor espesor aluvial, tal como puede observarse en la sección longitudinal (fig.5).

Indudablemente que estos dos sondeos, SH-1 y SH-2 fueron emplazados en antiguos paleocauces, diferentes y de grandes espesores, 49 pies y 27 pies respectivamente, aunque el SH-1 tenía una inclinación de 45°, por lo que atravesó el paleocauce en forma diagonal. Esta conclusión se desprende de la observación del registro litológico del Sondeo SH-3, situado sobre el cauce actual del río y entre los dos sondeos antes descritos. Este sondeo sólo cortó 2 metros (6.56 pies) de aluvión, por lo que se concluye que las márgenes norte y sur del actual cauce del río Chacuey, en el área de la cerrada, son viejos cauces donde los aluviones alcanzaron una profundidad que es 5 a 6 veces superior a la profundidad alcanzada en el cauce actual de aluviones recientes.

Otros dos pequeños depósitos aluviales se registran a lo largo del camino que conduce desde el estribo izquierdo hacia el vertedero. Estos depósitos están constituidos esencialmente por gravas medianas y arenas finas de color crema que se sitúan por encima del extenso manto de arena y en contacto lateral con las margas callzas, en lo que pudieron ser antiguas terrazas de erosión.

La presencia de margas suaves en los alrededores, hace que dentro de estos pequeños depósitos aluviales se aprecien ligeros contenidos de elementos arcillosos, que contribuyen significativamente a la coloración cremosa exhibida, en contraposición con la coloración fuertemente rojiza del depósito aluvial que aflora entre el estribo izquierdo y la entrada del túnel de desagüe de la presa.



Contacto entre el aluvión y los depósitos margosos aguas arriba del estribo izquierdo de la Presa Chacuey

El espesor de estos dos pequeños depósitos es muy reducido, y aunque tienen aspecto lenticular, el espesor promedio oscila entre 1 y 2 metros aproximadamente, por lo que no son tan significativos como el primero descrito.

MARGAS CALIZAS FOSILIFERAS

Toda la margen norte de la cabeza de la presa, así como la porción superficial del área comprendida entre el estribo izquierdo y el vertedero, están constituidas por margas calizas fosilíferas, medianamente consolidadas y de color variable entre crema y amarillento.

Dentro de estas margas se aprecian grandes y medianos bloques de caliza margosa y caliza arenosa con múltiples huecos producto de disolución diferencial.

Esta disolución diferencial, aparentemente no fue lo suficientemente amplia como para formar áreas de carstificación bastante significativas, aunque en los cortes realizados para la construcción del vertedero se observan algunos huecos de varios decímetros de diámetro que están parcialmente rellenos por material laterítico desplazado desde niveles superiores. De igual modo, un informe del Ing. Geólogo Manuel Esteras, preparado durante la construcción de la presa, 6 de febrero de 1978, reporta varios niveles de carstificación en el estribo derecho, entre las cotas 44 y 54 m.s.n.m., los cuales, según él, afectan la presa. No obstante, estos niveles de carstificación no son visibles hoy día por haber sido cubiertos por el relleno de la presa; observándose sólo los del área del vertedero, aunque los más importantes de allí, también han sido cubiertos por las paredes verticales del vertedero en cuestión.



Contacto entre margas y arenas en el estribo izquierdo de la Presa de Chacuey.

El espesor de esta unidad es muy variable; en el sondeo SH-5, localizado en el estribo izquierdo, el espesor cortado fue de 6.5 metros, en el sondeo SH-2, localizado entre el estribo izquierdo y el vertedero, fueron cortados unos 15 metros de margas calizas; en la excavación realizada para construir el vertedero se cortaron 22 metros, mientras que en el estribo derecho, el espesor total cortado, antes de llegar a las arenas, fue de 35 metros, espesor que es bastante considerable en relación al espesor del manto de arenas y en relación a los depósitos aluviales.

Estos espesores también nos permiten concluir, que la extensa terraza comprendida entre el vertedero y el estribo izquierdo es el producto de un amplio proceso de erosión, el cual eliminó más de 20 metros verticales de estas margas. Tal aseveración fue planteada antes, cuando describimos los pequeños depósitos aluviales relacionados con esta unidad.

ARENAS GRISES

En un corte vertical producto de erosión, existente aguas abajo del estribo izquierdo de la Presa de Chacuey, existe un grueso manto de arenas finas completamente sueltas y de color gris verdusco, el cual subyace las margas calizas fosilíferas antes descritas y sobreyace un grueso y extenso depósito de arcillas limosas.

La porción más blanda de este manto está en su base, ya que en su parte superior se asocia a delgados estratos de areniscas medianamente consolidadas por su contenido de carbonato de calcio, parte del cual procede de restos de pequeñas conchas fosilíferas y de la lixiviación del carbonato cálcico contenido en las margas suprayacentes.



Arenas con interestratos de arenisca en el estribo izquierdo de la Presa de Chacuey.

Estas areniscas varían de espesor entre 3 y 10 centímetros y su extensión lateral se hace muy discontinua a medida que nos acercamos a su tope, es decir, a la zona de transición entre arenas y margas, además, allí hay múltiples fragmentos de corales subredondeados que se intercalan con arenas y areniscas.

Dos sondeos ejecutados en este estribo izquierdo, el SH-4 y el SH-5, cortaron 7 metros de arenas cada uno, con lo que se establece que el espesor de esta unidad es de 7 metros aproximadamente. Este espesor se confirma con el registro litológico del sondeo S-4, situado al oeste del estribo izquierdo. De la misma forma, los sondeos, S-1, S-2 y S-3, emplazados entre el estribo izquierdo y el vertedero registran un espesor similar.

En el área del vertedero, estas arenas pueden observarse en las márgenes norte y sur de la excavación, evidenciándose que hay una marcada diferencia de nivel entre estas dos márgenes, lo que sólo es justificable por una falla local que se orienta a lo largo de la quebrada donde se realizó la excavación. La orientación de la estratificación en esta área es N 75° W, con una inclinación aparente de 5° hacia el sur, contrario a lo observado en otros puntos, por lo que se justifica aún más la existencia de una dislocación a lo largo del vertedero.

Actualmente no es posible ver los afloramientos de este manto arenoso en el estribo derecho de la presa, ya que la presencia de una pequeña falla perpendicular al eje de la presa, hace que estas arenas descansen en el estribo derecho en un nivel inferior al que poseen en el estribo izquierdo, es decir, están más profundas en el estribo derecho, lo que no es correlacionable con el buzamiento de 5° hacia el norte exhibido en esta área.

Los sondeos S-5 y S-6, posicionados en este estribo derecho, también cortaron alrededor de 7 metros de arenas por debajo de las margas, con lo que podemos asumir que el espesor de esta unidad es muy uniforme, por lo menos dentro del área investigada.

Aunque los afloramientos de esta unidad no son visibles en el estribo derecho de la presa, son realmente llamativos a unos 250 metros aguas abajo de este estribo, donde se presentan como arenas amarillas muy finas, con manchas grises y marrones y alto contenido de fósiles.

En este lugar las arenas están débilmente consolidadas y se tornan muy rojizas hacia el tope, gracias al óxido férrico distribuido en épocas pasadas. Los diferentes estratos perfectamente separables, tienen una orientación general de N 10° E con una inclinación aparente de 5° hacia el este, es decir, hacia la presa, mientras que aguas arriba de la presa se puede medir un buzamiento, también aparente, de 5° hacia el noreste, por lo que el buzamiento real en toda esta área está orientado hacia el noreste.

ARCILLAS MARGOSAS LIMO-ARENOSAS

Aguas abajo del estribo izquierdo de la presa, especialmente en el área suroeste de la salida del túnel de desagüe, aflora un cuerpo de arcillas margosas, algo limosas y de color gris amarillento, que hasta ahora habían sido descritas como margas.

En esta unidad subyace el manto arenoso previamente descrito y ha sido penetrado prácticamente por todos los sondeos ejecutados en la etapa de investigación de la presa.

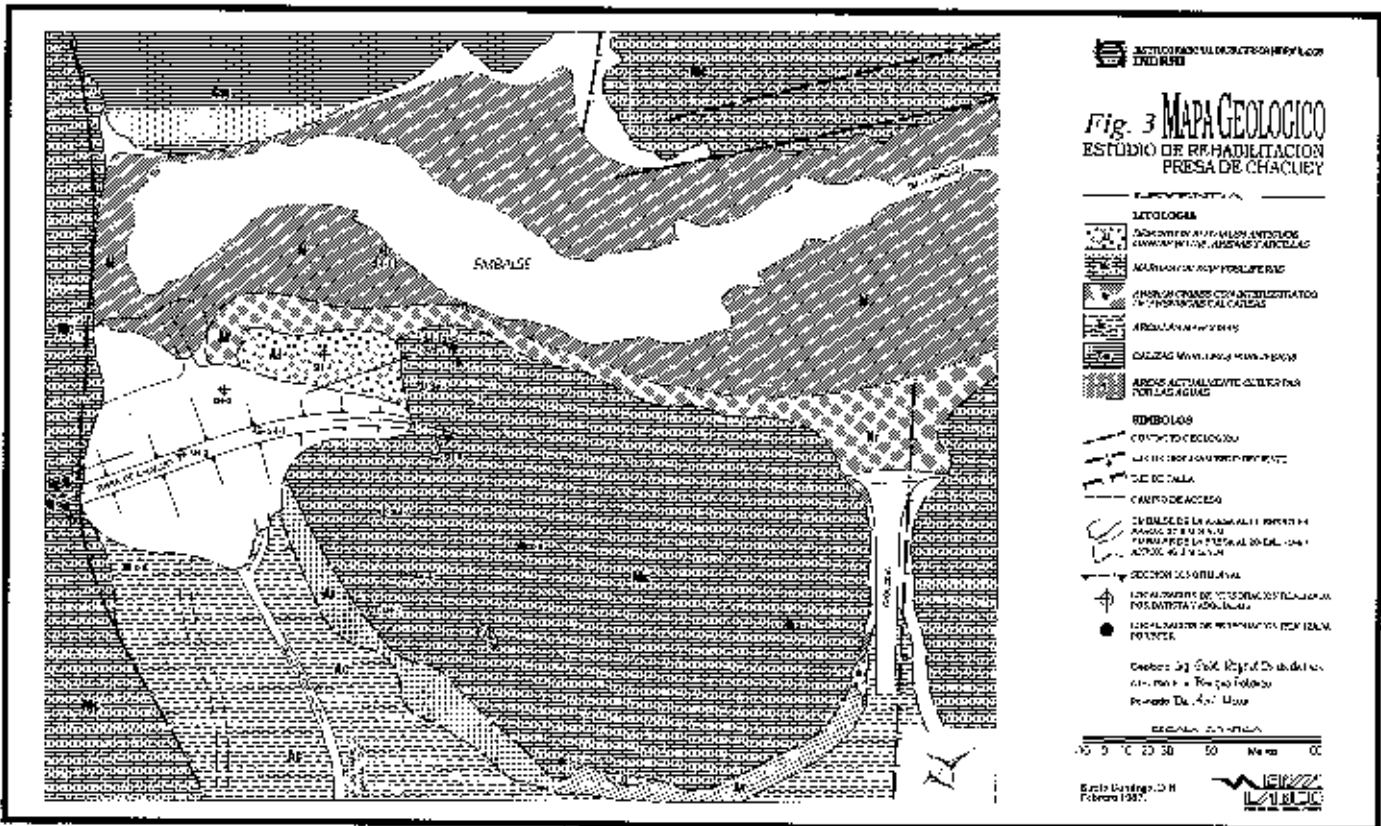
El sondeo SH-2 la define como arcilla compacta gris con caliche y restos marinos, mientras que el sondeo SH-3 la describe como arcilla compacta gris, asociada con lutitas hacia el tope, y arcilla gris arenosa con restos marinos hacia la base. El sondeo SH-5 la clasifica como lutita gris arcillosa con restos marinos.

Analizando estas descripciones, conociendo los hábitos de los perforistas en cuanto a descripciones litológicas se refiere, y observando detenidamente el afloramiento que subyace las arenas en el estribo izquierdo de la presa, es fácil llegar a la conclusión de que estamos ante un grueso manto de arcillas margosas limo-arenosas, que al igual que las demás unidades, está asociado a conchas de diferentes especies fósiles.

Esta unidad arcillosa, constituye lo que en realidad sería el verdadero basamento del sitio de presa, pues aunque en ambos estribos está por debajo del cuerpo de arenas finas no consolidadas; en el área del cauce actual, además de aflorar en los alrededores de la salida del túnel, esta por debajo de un espesor aluvial de 2m, y en las márgenes, por debajo de un espesor aluvial mayor.

Adicionalmente, es una unidad depositada en medio marino, pues las gravas y arenas suprayacentes llegaron hasta aquí producto del arrastre de la corriente fluvial del río Chacuey.

En la actualidad, esta unidad arcillosa es visible aguas abajo del estribo izquierdo, y en la base del cerro que se interpone entre la presa y el vertedero, aunque el informe del Ing. Esteras, fechado al 6 de febrero de 1978, describe 2 metros de arcillas con algo de arena gruesa y fragmentos de conchas por debajo del cuerpo de arenas, así como 2 metros de lutitas arenosas, ocultas en ese momento por la base construida de la presa, y sólo visibles en la excavación del cuenco de amortiguación del aliviadero. En los cortes paralelos a este cuenco, aún son visibles estas arcillas margosas limo-arenosas.



Los sondeos S-1 hasta S-6, definen esta unidad como marga arenosa fosilífera muy fina y de color verdoso, intercalada con marga dura con fósiles mal conservados y algunos rodados; sin embargo, la clasificación litológica anterior es la más aceptable a la luz de los afloramientos.

CALIZAS MARGOSAS FOSILIFERAS

Un alto cerro situado a unos 150 metros al suroeste del eje de la presa, está constituido por calizas margosas altamente fosilíferas, que presentan alta porosidad y múltiples huecos de diferentes tamaños producto de disolución diferencial.

Desde el punto de vista litológico, este afloramiento calizo no tiene importancia alguna sobre los problemas de la presa, ya que se localiza aguas arriba de la cabeza del embalse, no obstante, la importancia podría estar en que un gran deslizamiento de rocas producido frente al vertedero, pero en la margen opuesta del embalse, pudo generarse en años recientes sobre este tipo de roca, después de la subida del embalse.

PALEONTOLOGIA

Varias muestras de fósiles en muy buen estado, especialmente gasterópodos y lamelibranquios, fueron colectados por nosotros y posteriormente clasificados con la colaboración del Profesor Eugenio de Js. Marcano, quien por años se ha dedicado a la paleontología dominicana, incluyendo una gran parte de la región Noroeste. Los fósiles encontrados fueron:

- *Terebra inaequalis* Sowerby (Var. *Tirabuzón*)
- *Phacoides dominicensis* Dall
- *Cypraea* Sp.
- *Phalium moniliferum*
- *Pecten exentrius* Gabb
- *Venericardia cerrogordensis* Maury?

Todos estos fósiles fueron colectados dentro de las arenas y margas que afloran en las inmediaciones de la Presa de Chacuey, y pertenecen a la Formación Gurabo del Mioceno Medio.

TECTONICA

La observación detenida de los diferentes escarpes localizados en el área de la presa, junto a la correlación estratigráfica de las unidades, los registros litológicos de sondeos y finalmente el análisis de las fotografías aéreas, nos permite definir las principales características tectónicas existentes en la zona cartografiada.

De ahí se desprende la existencia de una falla normal, perpendicular al eje de la presa, la cual define el fuerte talud sobre el cual está emplazado el estribo derecho de la presa.

Esta falla también puede ser deducida a partir de la sección longitudinal (fig. 5) a través del eje de la presa, donde se distingue claramente, que el manto de arena cortado en los sondeos SH-4, SH-5 y S-4 no corresponde en elevación con el mismo manto cortado en los sondeos S-5 y S-6.

En adición a lo anterior, el afloramiento de arenas que existe en el talud vertical del estribo izquierdo, y tiene un suave buzamiento por debajo de los 5°, no es visible en el estribo derecho, lo que marca un definido contraste que revela un desplazamiento vertical relativo entre los bloques que sustentan ambos estribos.

Conforme a la fotointerpretación estructural, esta falla tiene una longitud total de 600 metros, longitud que excede el área cartografiada, razón por la cual parte de la misma queda fuera del mapa geológico.

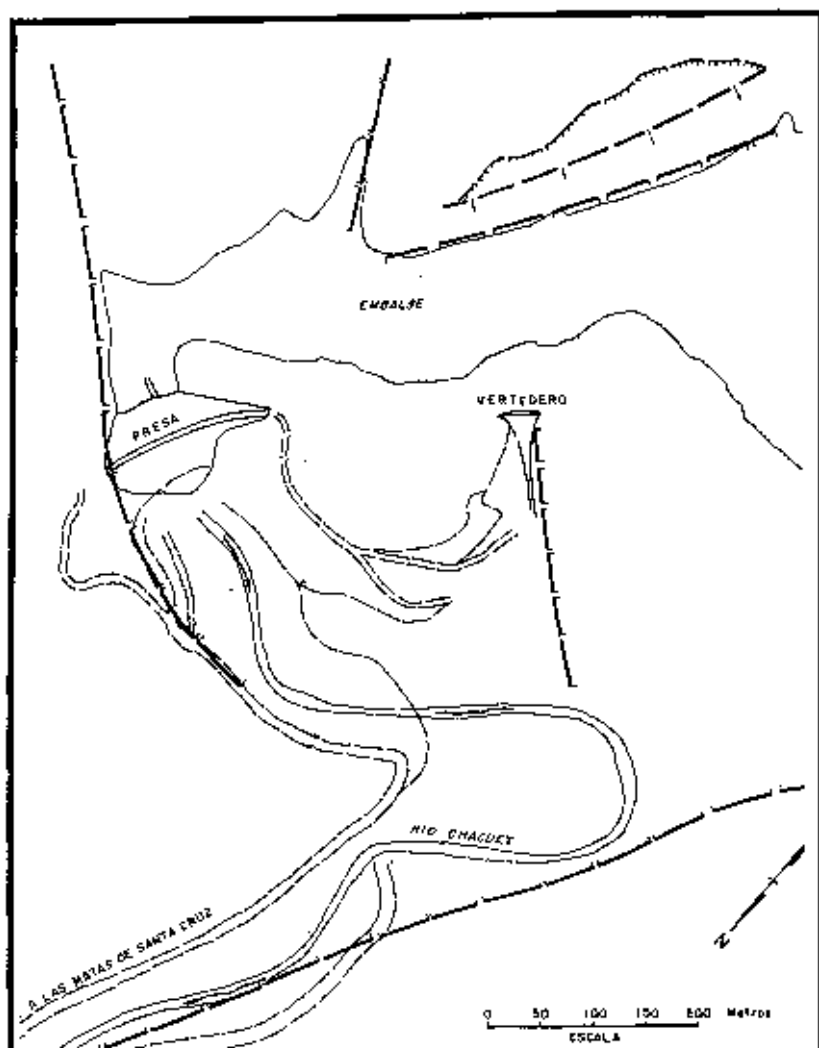


FIG. 4 MAPA TECTÓNICO GENERAL DE LA PRESA DE CHACUEY

LEYENDA



Falla normal



Eje de deslizamiento reciente



Zona de deslizamiento



Caminos



Límites del embalse

Febrero, 1987

Otra falla normal registrada en el área, es la que corre a lo largo de la pequeña cañada donde fue construido el vertedero de la presa. Esta falla es deducible a partir del marcado lineamiento presentado por las curvas de nivel que definen la quebrada que existía antes de la construcción de la obra. A esto se suma la diferencia de nivel mostrada por el manto de arenas expuesto en ambos márgenes del corte, lo que contrasta sobremanera con el registro litológico del sondeo S-1. Finalmente, la fotografía aérea exhibe un claro y perfecto lineamiento a lo largo de esta cañada, que no deja lugar a dudas respecto a la existencia de una falla de aproximadamente 300 metros de largo y orientación S 45° E.

Por último, frente a la entrada del vertedero, pero en la margen opuesta del embalse, existe una línea de falla con orientación aproximada N 35° E, la cual separa los cerros adyacentes del área del embalse. Es prácticamente seguro que la debilidad estructural creada por esta falla sea la razón fundamental de la existencia de un gran deslizamiento paralelo a la falla y que tuvo su origen a partir del llenado del embalse, pues este gran deslizamiento no es visible en las fotografías aéreas previas a la construcción de la presa, pero sí es perfectamente apreciable en las fotografías aéreas tomadas a principios del año 1984 cuando el embalse se encontraba prácticamente vacío, luego del llenado y posterior vaciado producido en el año 1980.

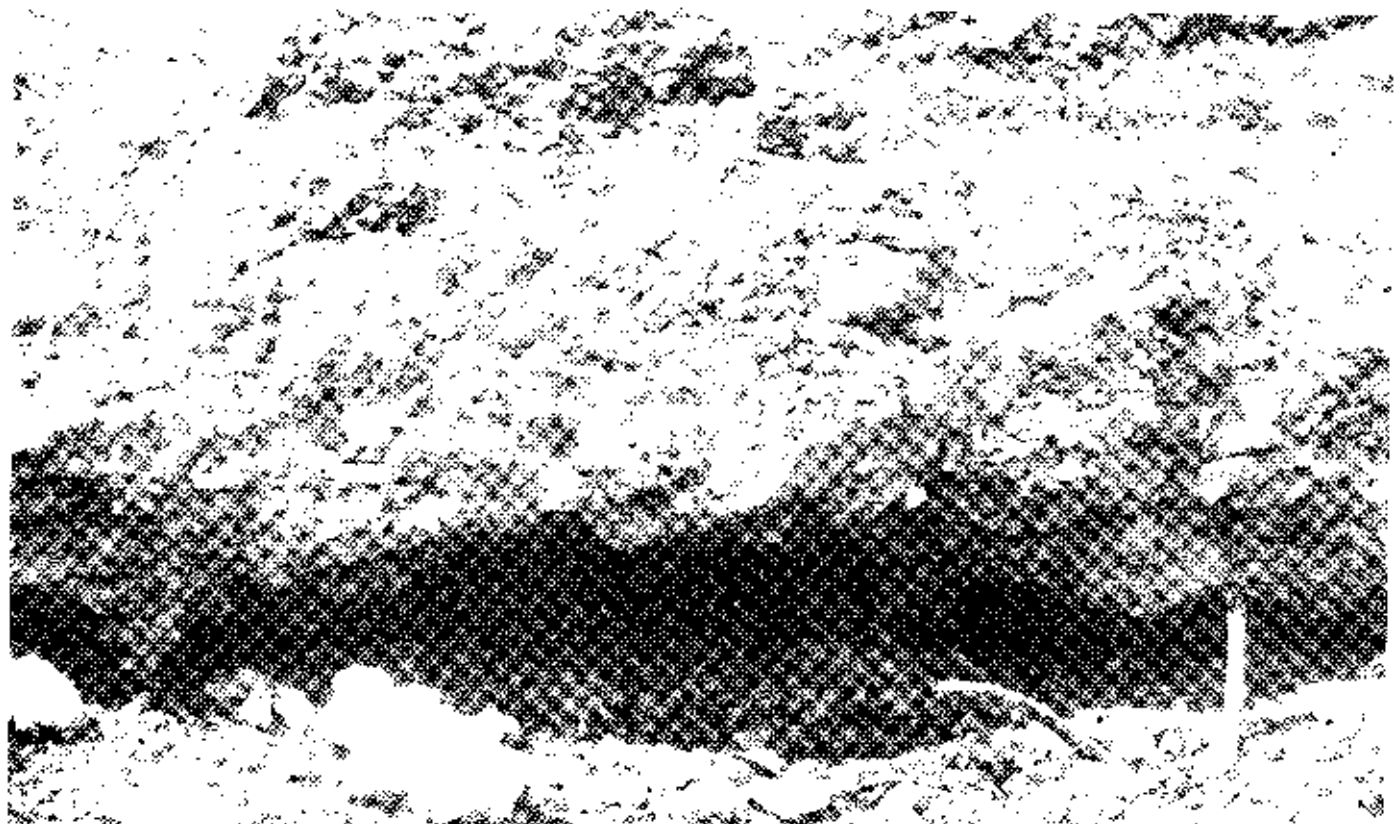
HIDROGEOLOGIA

Conforme a los antecedentes y a las informaciones de que se dispone, las filtraciones excesivas observadas al momento del llenado del embalse de la presa, se produjeron en la fundación y en el estribo izquierdo.

Indudablemente que el grueso depósito aluvial expuesto aguas arriba del estribo izquierdo de la presa, dada su alta transmisibilidad, funciona como un gran colector en momentos de llenado del embalse, permitiendo que estas aguas colectadas fluyan por el cuerpo de la presa, a través del lecho gravoso-arenoso allí existente y por el estribo izquierdo, a través de las gravas y arenas de origen aluvial que se comunican con las arenas de origen marino que subyacen las margas calizas.

La penetración de importantes volúmenes de agua a través de este cuerpo aluvial rojizo, se evidencia con el desarrollo de cavidades de infiltración próximo al área de contacto entre el aluvión y un pequeño cuerpo de margas calizas.

Los registros de los sondeos SH-1, SH-2, SH-3 y SH-4 permiten confeccionar una sección longitudinal (A-B), donde se aprecia con toda claridad, la secuencia clásica que se extiende desde el cauce hasta el estribo izquierdo, y que constituye la sección a través de la cual se producen las filtraciones a la hora de que el nivel del embalse cubre por completo el depósito aluvial aguas arriba del estribo izquierdo.



Cavidad próximo al contacto entre aluvión y margas compactas aguas arriba del estribo izquierdo de la Presa de Chacuey.

La correlación de la sección longitudinal A-B, que representa la configuración litológica existente antes de construir la presa, con la sección longitudinal C-D, que representa las unidades litoestratigráficas subyacentes al cuerpo de la presa, nos demuestra que el saneamiento de las gravas, arenas y arcillas de origen aluvial fue realizado en forma parcial, por lo cual hoy día existe un importante cuerpo aluvial bajo la estructura del túnel de desagüe de fondo, así como también próximo al tope del estribo izquierdo y en la margen derecha del cauce del río.

Esta sección estratigráfica ha sido apoyada en los registros litológicos de los sondeos, CE, CD, CT, CCW, CB, y CA, realizados por OFITECO entre los meses de mayo y agosto de 1980, posterior a la construcción de la presa.

Las gravas y arenas de estos tres cuerpos aluviales están en contacto directo con el espesor aluvial rojizo existente aguas arriba del estribo izquierdo de la presa, razón por la cual sirven como canales de conducción de las aguas que son colectadas por dicho espesor aluvial, cuando se eleva el nivel de las aguas del embalse.

Por otro lado, el manto arenoso de origen marino tiene valores de permeabilidad extremadamente variables, desde 4.5 unidades Lugeón en el sondeo S-4 hasta 92 U.L. en el sondeo S-5. Sin embargo, en el sondeo S-6, el cual fue emplazado muy próximo al S-5 la permeabilidad varía entre 4 y 8 unidades Lugeón. Tal situación puede ser originada por la localización del sondeo S-5 próximo al eje de falla que define el talud norte de la presa, razón por la cual las arenas allí encontradas están más disgregadas que las situadas en S-6.

Este mismo manto arenoso, que en épocas de subida del embalse funciona como drenaje parcial de las filtraciones que pasan por el estribo izquierdo, podría verse expuesto a un peligroso proceso de erosión regresiva, fruto de la ausencia de un agente cementante

ESTUDIO DE REHABILITACION PRESA DE CHACUEY

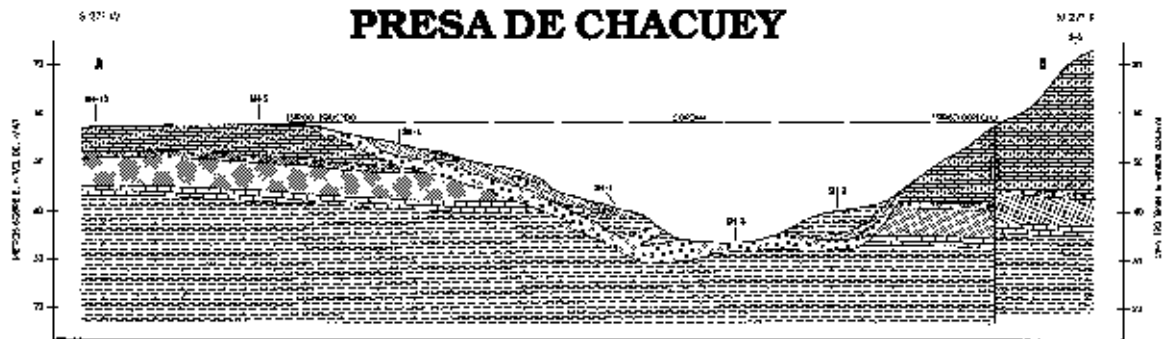
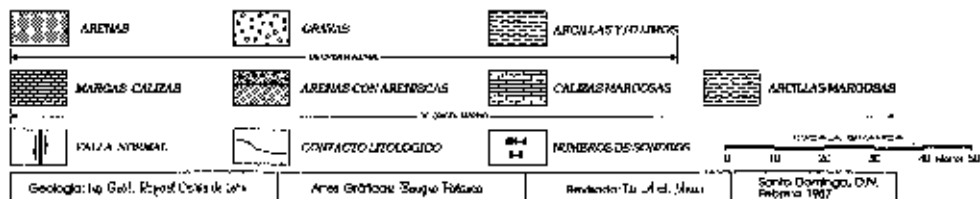


Fig. 5 SECCION GEOLOGICA LONGITUDINAL A TRAVES DE LA PRESA DE CHACUEY
(ANTES DE LA CONSTRUCCION)

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
INDRHI

LEYENDA



que dé consistencia a este cuerpo, pues estas arenas están completamente sueltas, salvo algunos estratos de areniscas que están paralelamente intercalados.

La calicata No. 7 (ver Fig. 7) situada en la base de estas arenas, evidenció la presencia de una grieta vertical ensanchada por erosión diferencial, lo que confirma la existencia de un flujo de aguas a través de estas arenas cuando sube el nivel del embalse.

La permeabilidad promedio encontrada en las margas calizas cortadas en los sondeos S-4, S-5 y S-6, por debajo de la cota 54 m.s.n.m. es de 61.3 unidades Lugeön, valor que es relativamente alto por los resultados de los ensayos realizados en el tramo superior del sondeo S-4, emplazado al oeste del estribo izquierdo, donde se encontraron 172 y 188 unidades Lugeön, en contraposición de 22 unidades Lugeön registradas en la base de esta unidad próximo al contacto con las arenas, que allí oscilaban entre 4.5 y 23 unidades Lugeön. (La unidad Lugeön es el consumo de agua en litros/minuto/metro lineal, para una presión de 10kg/cm^2).

Estos valores encontrados en el tope del sondeo S-4 pueden ser el producto de algún sistema de carstificación local medianamente desarrollado o parcialmente obstruido. De ahí que si eliminamos estos altos valores, tendríamos una permeabilidad promedio de 31.63 unidades Lugeön, valor que concuerda más con las características litológicas de estas margas calizas.

Las arcillas calcáreas situadas por debajo del manto de arenas, presentan características de muy baja permeabilidad, lo que se corresponde con el valor del estrato que subyace las arenas, el cual es de 13.32 unidades Lugeön, constituyendo el valor promedio más bajo registrado en los sondeos.

El agua que se encuentra en el

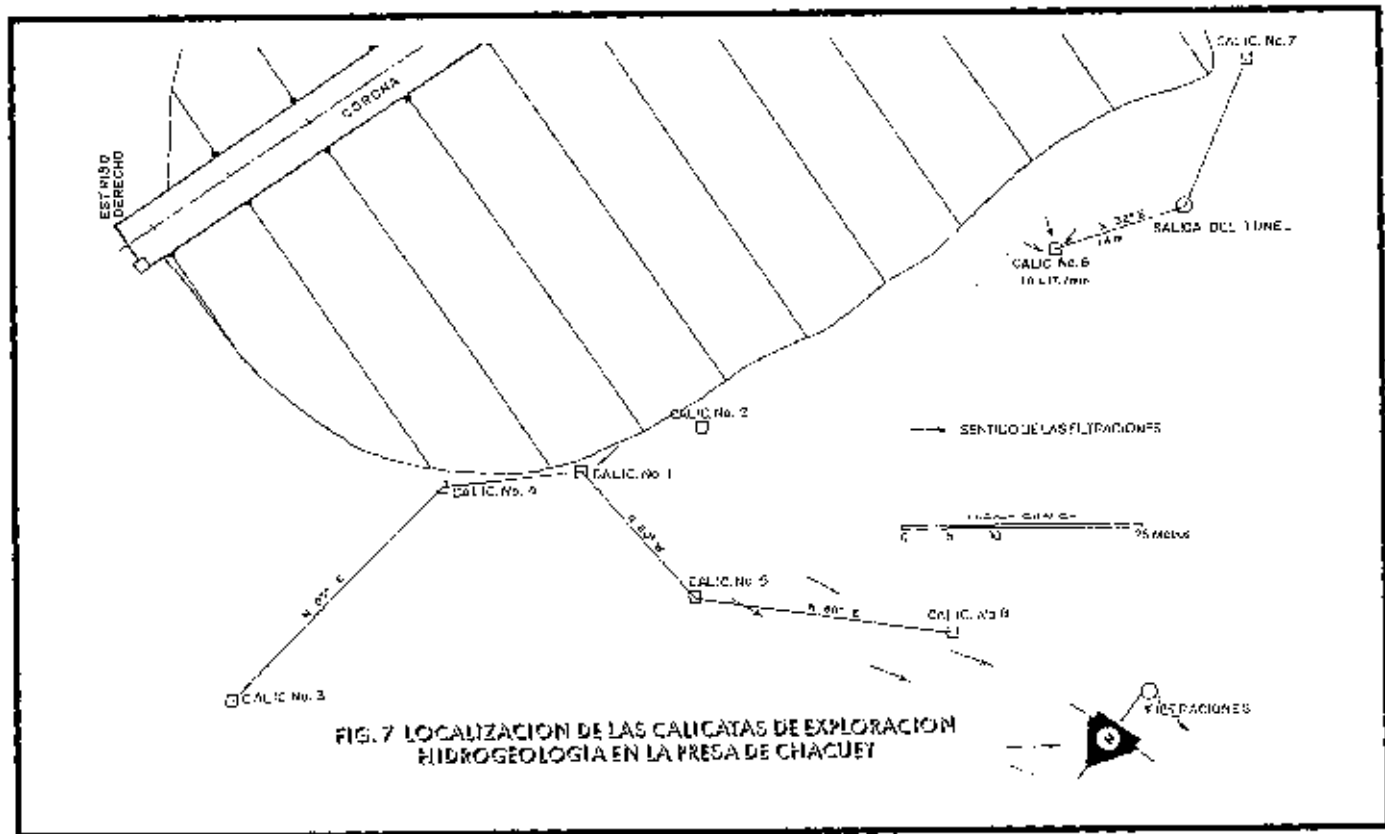
Todo esto nos permite establecer que los problemas básicos de filtraciones en la Presa de Chacuey son debido a un cuerpo aluvial situado aguas arriba del estribo izquierdo y a una gruesa sección clástica comprendida entre el cauce y el mismo estribo izquierdo, la cual subyace la fundación de la presa, tal como se aprecia en la sección longitudinal CD preparada con la información de sondeos realizados en el año 1980.

Sobre esta sección clástica, constituida principalmente por gravas, fue construido el túnel de desagüe, razón por la cual, bajo este túnel actualmente hay fuertes filtraciones que se manifiestan en la calicata No. 6 (ver Fig. 7) localizada a unos 14 metros al norte del eje del túnel.

Un aforo repetido de las filtraciones observadas en esta calicata, cuando el nivel del embalse era 44 m.s.n.m., demostró que 10 litros/minuto se escapaban por una reducida sección de gravas y arenas, lo que es bastante elevado si se compara con el bajo nivel del embalse y la pequeña sección de la calicata.

De igual manera, el manto arenoso existente por debajo del estribo derecho es una vía secundaria de filtraciones, pues al estar en contacto con las aguas del embalse en el área este del estribo derecho, capta parte de estas aguas, gracias a su porosidad y permeabilidad, y las conduce aguas abajo de la presa hasta un punto situado a 60 metros al oeste (aguas abajo) del talón de la presa, y a 51.5 metros de la salida del túnel en dirección N 37°W. Allí afloran arcillas margosas con alto contenido de arena fina, pudiendo observarse, en un escarpado talud, la existencia de pronunciadas estrías verticales fruto de la salida de filtraciones en épocas de subida del embalse.

Estas mismas filtraciones fueron confirmadas con los resultados de la calicata No. 1, situada en el pie aguas abajo de la presa y a una elevación de 40 m.s.n.m.




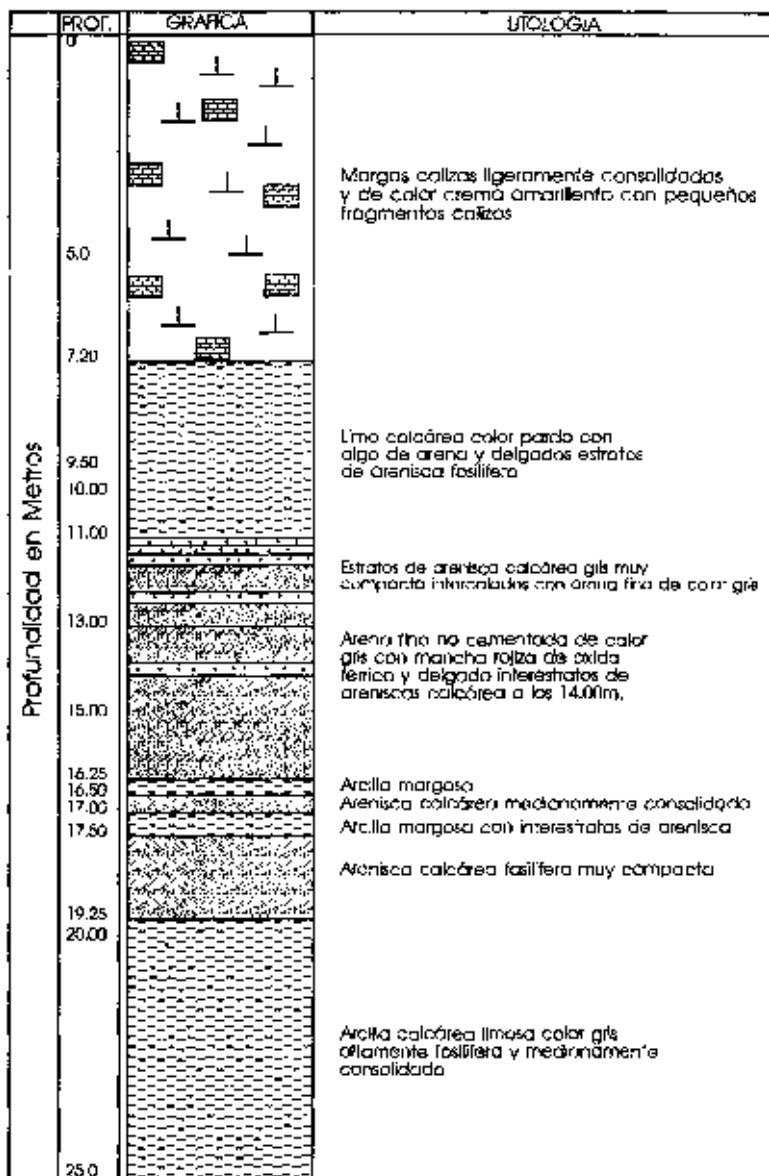
aproximadamente. En esta calicata se producen filtraciones cuando el nivel del embalse está por encima de los 44 m.s.n.m, llegándose a medir una acumulación de 0.18 metros cúbicos de agua; mientras que cuando el nivel está por debajo de esta cota sólo se registra una considerable humedad en las paredes de la excavación.

Aparentemente, las filtraciones del estribo derecho tienen una orientación aproximada S 82° W, que es la dirección que une el estribo derecho, la calicata No. 1 y el afloramiento de las filtraciones situado a 60 metros aguas abajo del pie de la presa.


En la calicata No. 3 fueron encontradas margas altamente impermeables, por lo que se descarta que por esa área fluyan aguas producto de filtraciones.

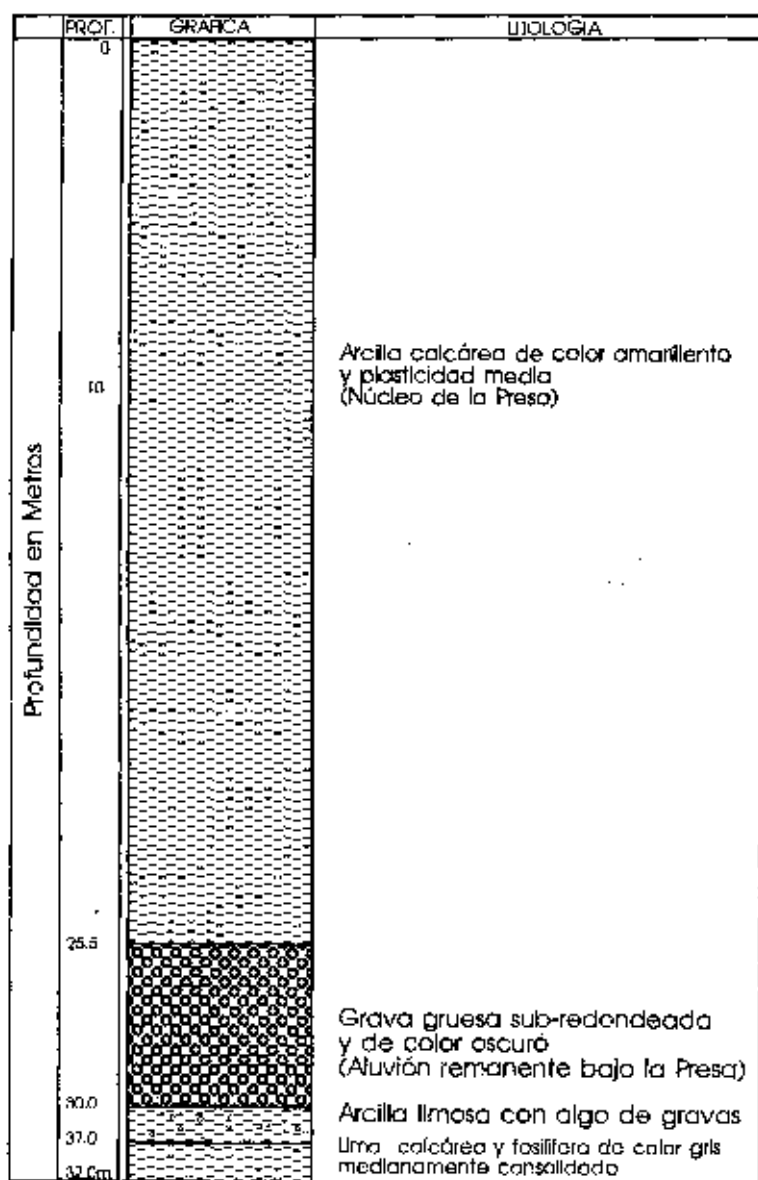
En el estribo izquierdo, este mismo manto arenoso, de aproximadamente 7 metros de espesor, funciona también como conducto secundario, ya que cuando está alto el nivel del embalse, toma parte de las aguas que se mueven a través de los aluviones vecinos, y las transporta, lentamente, aguas abajo del estribo.

	<p>PROYECTO PRESA DE CHACUEY</p> <p>Fig. 8 SONDEO No. 1</p> <p>Preparado Por: Ing. Geól. Osiris de León</p>
---	---



Sondeo de Investigación Localizado en la Corona de la Presa, 1987

	PROYECTO PRESA DE CHACUEY Fig. 9 SONDEO No. 2 Preparado Por: Ing. Geól. Osiris de León
---	--



Sondeo de Investigación Localizado en la Corona de la Presa, 1987

HIDROQUIMICA

El levantamiento hidroquímico efectuado en el embalse de la Presa de Chacuey tiene como finalidad determinar los factores que inciden en la variación de la concentración salina de las aguas en diferentes puntos del embalse, así como en diferentes épocas del año. El levantamiento consistió en un muestreo de las aguas conjuntamente con un muestreo de sedimentos.

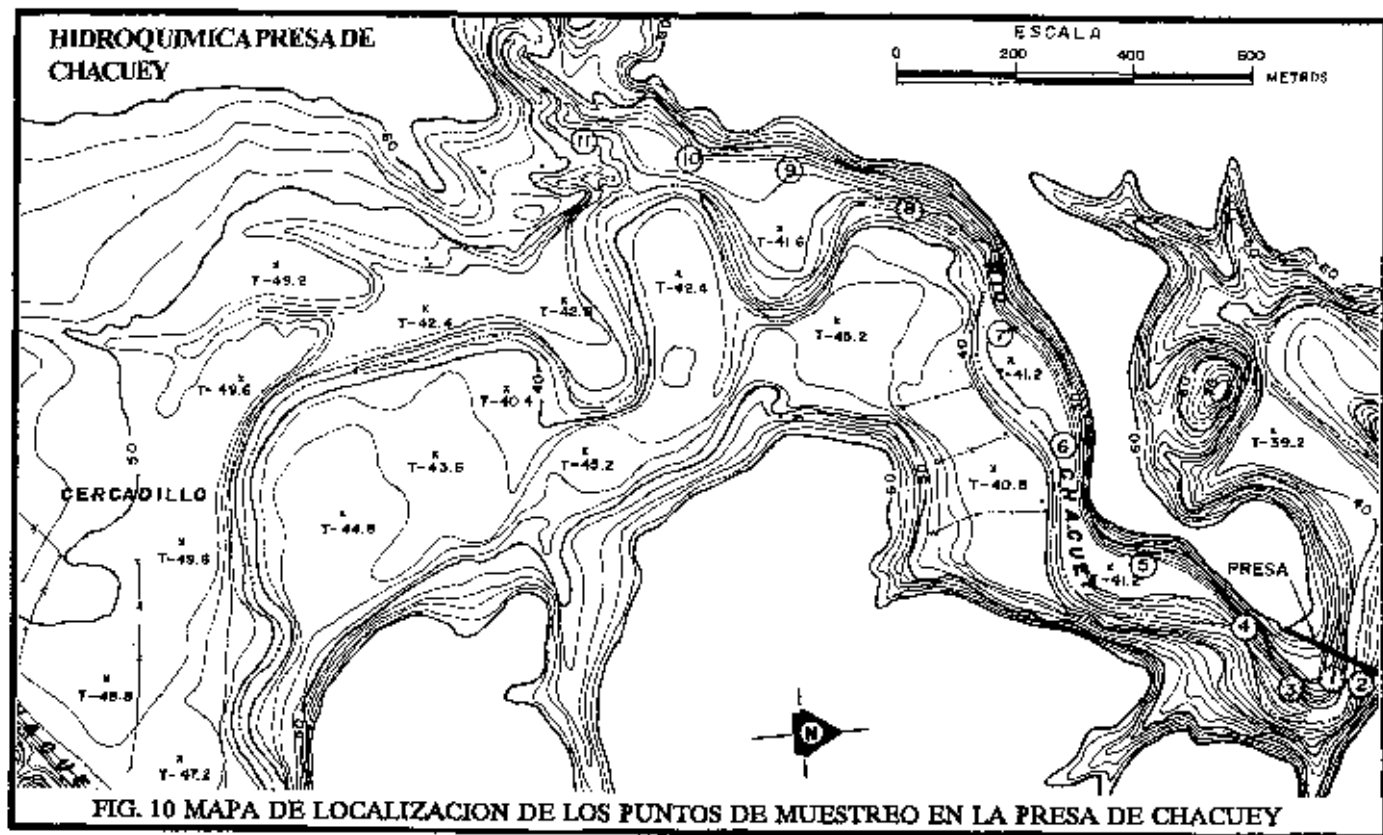
Ambos tipos de muestras fueron enviadas al laboratorio para la determinación de algunos parámetros físico-químicos.

Los puntos de muestreo se tomaron a lo largo de la margen izquierda del embalse y tendían a alejarse del muro de la presa. Estos puntos tenían una separación aproximada de 200 metros.

Originalmente se había programado la toma de muestras de ambas márgenes, razón por la cual la muestra CHA-2 corresponde a la margen derecha, de ahí que no será considerada en la representación gráfica de los resultados ofrecidos por los análisis del laboratorio.

Las muestras de sedimentos se recolectaron en los mismos puntos que las aguas y en los bordes del embalse. Es importante destacar que las muestras recolectadas sólo representan las condiciones reinantes al momento del muestreo.

Un total de once muestras de agua y la misma cantidad de muestras de sedimentos fueron colectadas en el programa de muestreo .



La ubicación exacta de los puntos de muestreo se presenta en la Figura 10. El análisis químico de las muestras de agua consistió en la determinación cuantitativa de la dureza (CaCO_3), el cloruro de sodio (NaCl); los sólidos disueltos y el pH. (Ver cuadro No.1) Mientras que a las muestras de sedimentos sólo se les determinó el contenido del cloruro.

Los datos se presentan en forma de tablas y diagramas de variación de la concentración con la distancia a lo largo del embalse. En las tablas los puntos de muestreo son identificados con el siguiente código: "MA" es muestra de agua, "MS" es muestra de sedimento, el número que sigue a las letras corresponde al punto de muestreo a lo largo del embalse y es el mismo que se presenta en el mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

CUADRO No.1				
ANÁLISIS QUÍMICOS DE MUESTRAS DE AGUA DE LA PRESA DE CHACUEY				
Muestras	pH	Sólidos Disueltos	Cloruro Sodio	Dureza
CHA- 1	7.85	392 p.p.m.	42.9 p.p.m.	170 p.p.m.
CHA- 2	7.85	341 p.p.m.	49.5 p.p.m.	170 p.p.m.
CHA- 3	7.90	350 p.p.m.	42.9 p.p.m.	162 p.p.m.
CHA- 4	7.85	318 p.p.m.	46.2 p.p.m.	172 p.p.m.
CHA- 5	7.90	315 p.p.m.	46.2 p.p.m.	172 p.p.m.
CHA- 6	8.00	315 p.p.m.	49.5 p.p.m.	170 p.p.m.
CHA- 7	7.85	318 p.p.m.	46.2 p.p.m.	174 p.p.m.
CHA- 8	7.95	326 p.p.m.	62.7 p.p.m.	178 p.p.m.
CHA- 9	7.95	327 p.p.m.	33.0 p.p.m.	182 p.p.m.
CHA-10	8.05	333 p.p.m.	46.2 p.p.m.	186 p.p.m.
CHA-11	8.05	359 p.p.m.	59.4 p.p.m.	194 p.p.m.

ANALISIS QUIMICOS DE AGUAS Y SEDIMENTOS DE LA PRESA DE CHACUEY

Los datos se presentan en forma de cuadros y diagramas de variación de la concentración de la distancia a lo largo del embalse. En los cuadros se presentan los datos que identifican los puntos muestreados con el siguiente código: "CHA" es muestra de agua, "CHS" es muestra de sedlmento. El número que se encuentra a continuación de las letras corresponde al punto de muestreo a lo largo del embalse y es el mismo que se presenta en el mapa de ublcación de los puntos de muestreo. (Figura 10).

VARIACION DE LOS PARAMETROS FISICO - QUIMICOS

pH

En general, los valores del pH determinados en las aguas presentan muy pocas fluctuaciones. En el cuadro No. 1 se observan valores mínimos de 7.85 y máximos de 8.05, con un valor promedio de 7.93, así mismo en la figura 11 podemos apreciar que el comportamiento de este parámetro es prácticamente constante y con alcalinidad definida en la totalidad de las muestras.

SOLIDOS DISUELTOS

El cuadro No.1 contiene los valores de los sólidos disueltos en las aguas, presentándose valores desde 292 ppm, con una media de 326.7 ppm.

La variación de los sólidos disueltos a lo largo del tramo investigado se muestra gráficamente en la figura 12. Se puede observar que en los primeros puntos hay grandes diferencias.

Fig. 11 pH EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE CHACUEY

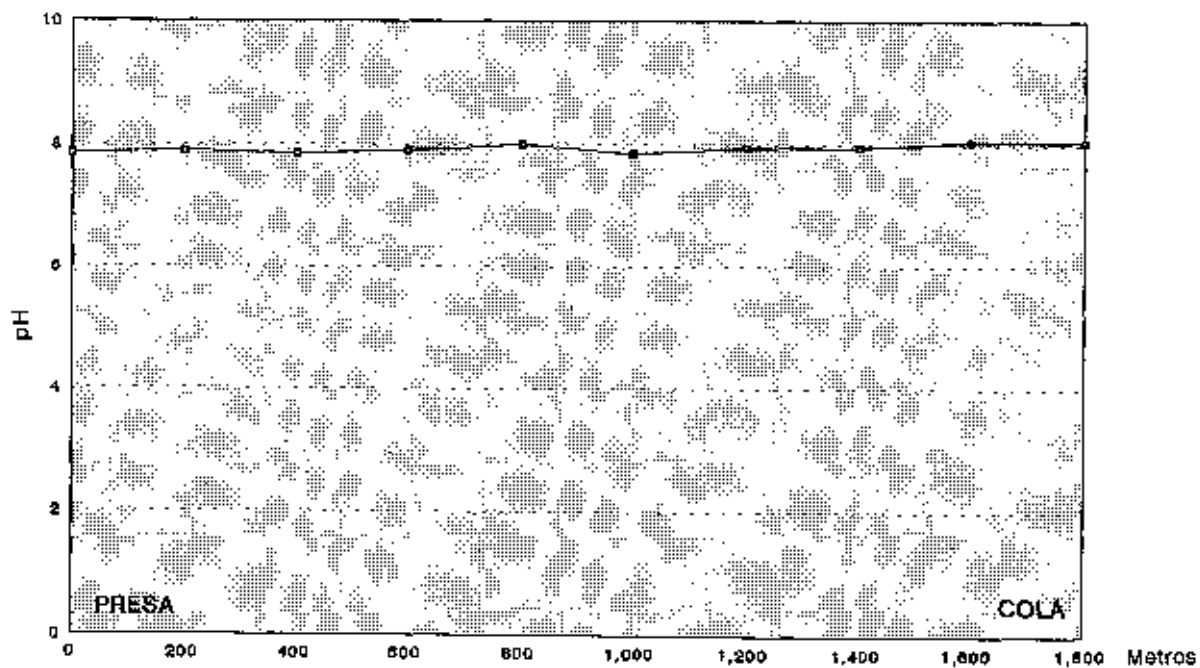
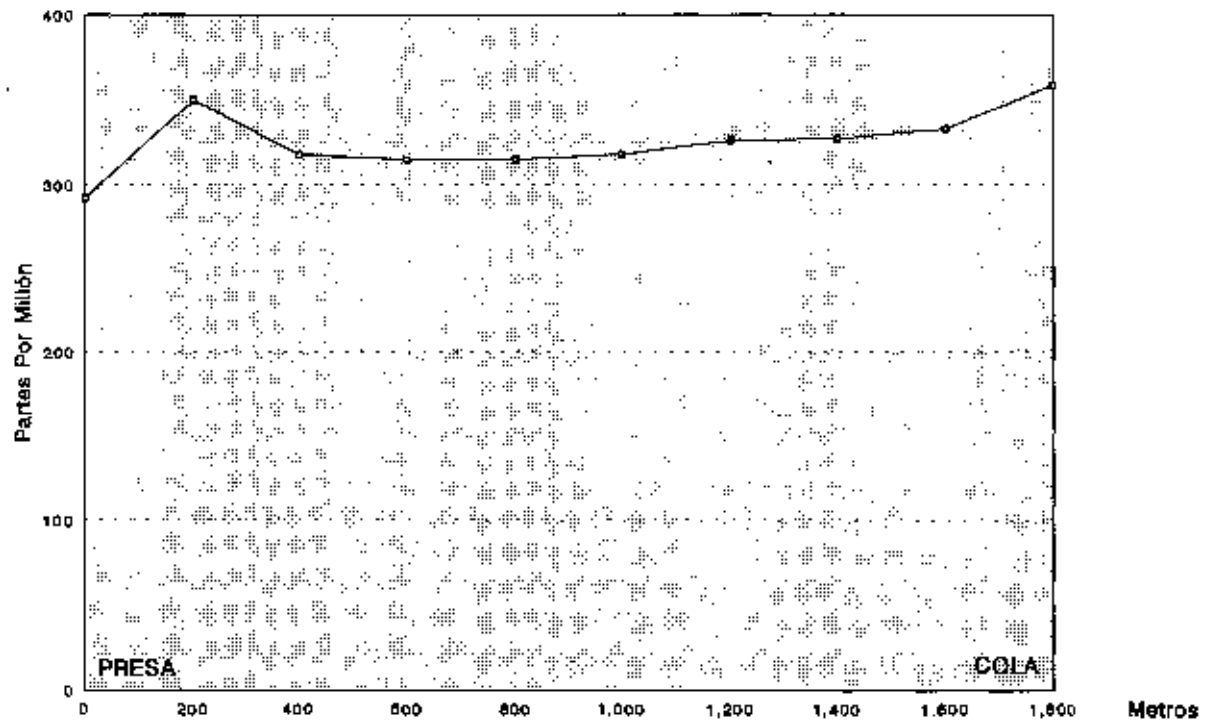


Fig.12 *CONTENIDO DE SOLIDOS DISUELTOS EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE CHACUEY*



Estos valores son consecuencia de la turbulencia que genera la dinámica de las aguas al salir por el desagüe. A partir del punto CHA-4 los valores no presentan variaciones significativas.

Aunque en los últimos puntos de muestreo (CHA-9, CHA-10 y CHA-11) los valores tienden a incrementarse como efecto del movimiento de las aguas que aporta el arroyo, próximo al cual se tomaron las últimas muestras.

SALINIDAD

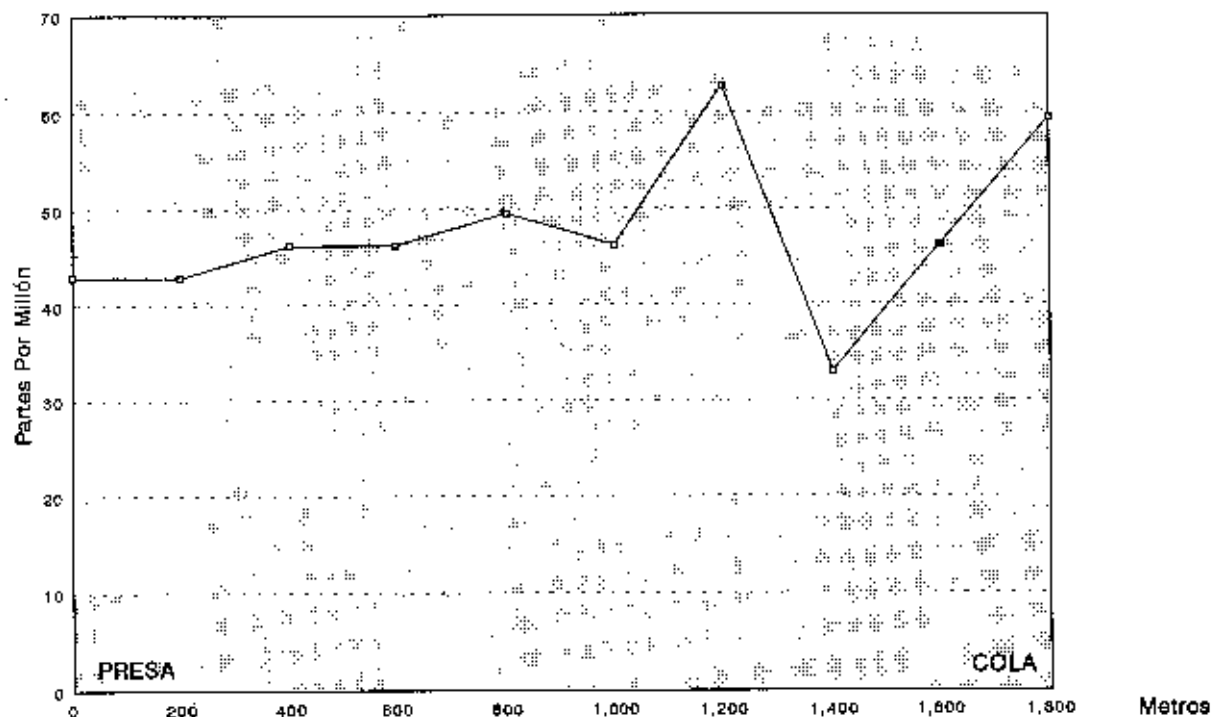
Cloruro de Sodio (NaCl)

Los valores del cloruro de sodio están comprendidos entre 42.9 ppm y 62.7 ppm, con una media de 47.7 ppm. La variación desordenada de los valores del cloruro de sodio ha originado una gráfica de comportamiento caótico. De todos modos, la tendencia es a incrementarse, con excepción del punto CHA-9. Sin embargo, el contenido de cloruro de sodio en las aguas no es de importancia, por lo menos en el momento del muestreo.

Dureza (CaCO₃)

Los resultados muestran valores para la dureza, que están comprendidos entre 162 ppm y 194 ppm, con una media de 176 ppm, lo cual es muy aceptable para lugares donde la litología contiene rocas carbonatadas.

Fig. 13 *CONTENIDO DE CLORURO DE SODIO EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE CHACUEY*



CLORURO EN LOS SEDIMENTOS

Los valores del cloruro en los sedimentos presentan mayor estabilidad que los valores del cloruro de sodio en las aguas. (Ver cuadro No.2).

Los valores están comprendidos entre 40 ppm y 1,560 ppm, con una media de 258 ppm. La muestra correspondiente al punto CHS-11 ofrece un resultado exorbitante, lo que ha generado que la media sea completamente elevada.

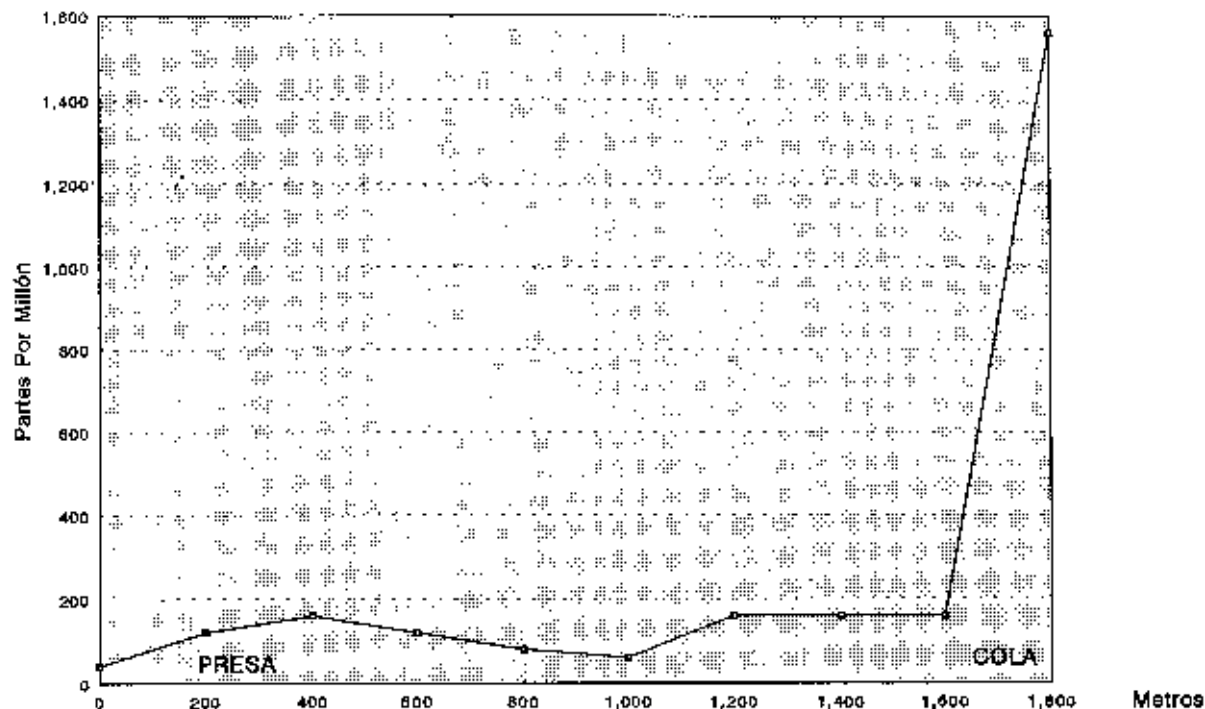
Al comparar el cloruro de sodio en las aguas (fig.13) con el cloruro de sodio en los sedimentos (fig.14) se aprecia que el máximo valor encontrado en las aguas está posicionado aguas abajo del punto que registró el máximo valor en los sedimentos, lo que indica que ambos picos son reales.

Cuadro No.2

CONTENIDO DE CLORUROS EN LOS SUELOS DE LA PRESA DE CHACUEY

MUESTRA	CLORUROS (Cl ⁻), ppm
CHS-01	40
CHS-02	60
CHS-03	120
CHS-04	160
CHS-05	120
CHS-06	80
CHS-07	60
CHS-08	160
CHS-09	160
CHS-10	160
CHS-11	1,560

Fig.14 CONTENIDO DE CLORUROS EN LOS SUELOS DE LA PRESA DE CHACUEY



CONCLUSIONES

1.- El depósito aluvial situado aguas arriba del estribo izquierdo, constituye la principal vía de filtraciones en la Presa de Chacuey.

2.- Las gravas y arenas de los paleocauces que subyacen la fundación de la presa hacen el papel de canales de conducción de las filtraciones producidas aguas arriba.

3.- Los depósitos clásticos depositados entre el cauce y el estribo izquierdo también son vías adecuadas para las filtraciones a través del estribo izquierdo.

4.- El manto arenoso del estribo izquierdo es un elemento secundario en los problemas de filtraciones, aunque las aguas que eventualmente podrían moverse a través de su estructura generarían erosión regresiva.

5.- Este mismo manto arenoso constituye un problema en la base del estribo derecho, pues la presencia allí de una falla perpendicular al eje de la presa, aumenta considerablemente su permeabilidad, y dada su inconsistencia podría erosionarse y colapsar el estribo.

6.- Los análisis químicos de las aguas del embalse de Chacuey muestran un carácter ligeramente alcalino, una dureza aceptable y un contenido de cloruro de sodio equivalente a la quinta parte del límite permisible; por lo que se clasifican como buenas.

PRESA DE MAGUACA

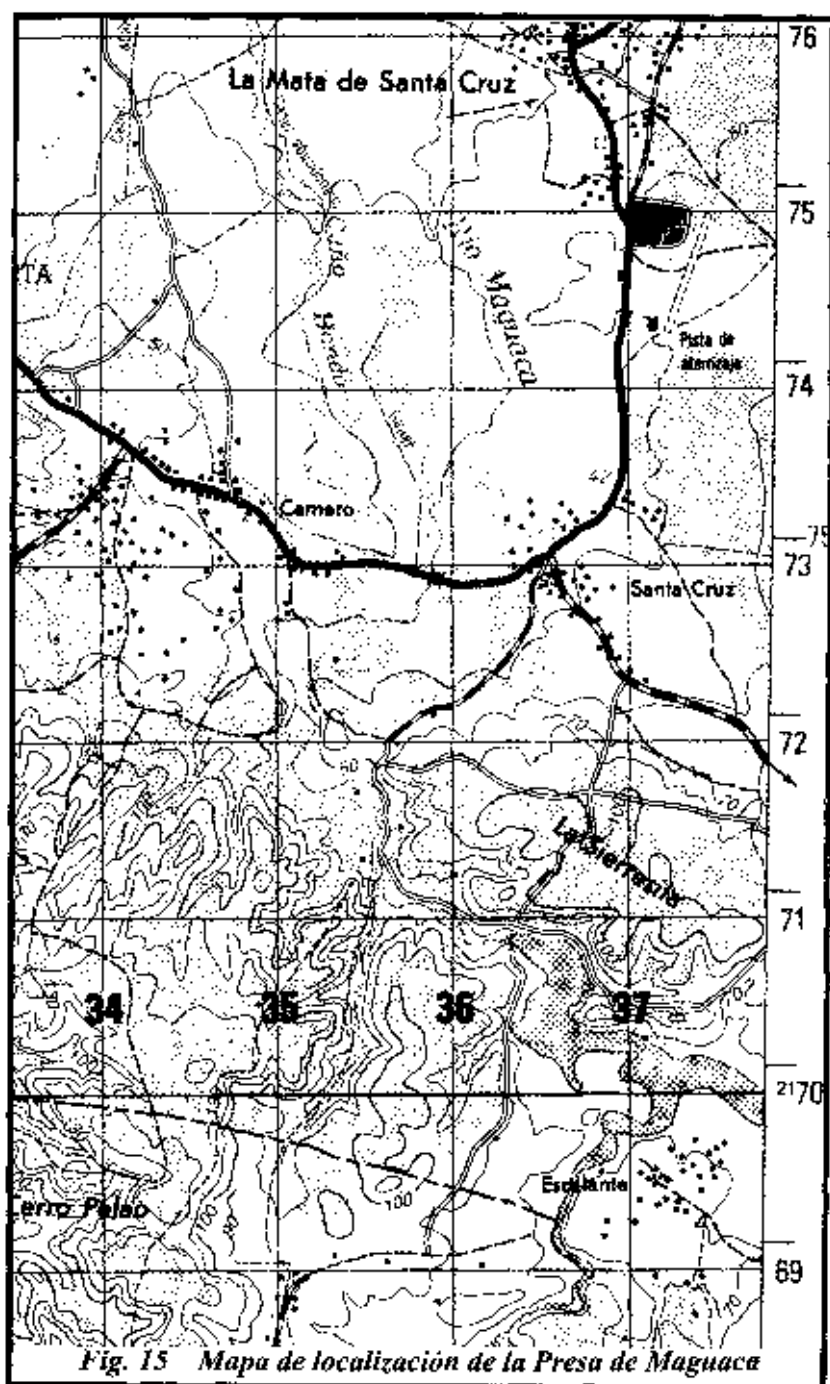
LOCALIZACION

La Presa de Maguaca está localizada sobre la elevación 37.90 m.s.n.m. del río Maguaca, a unos 5 kilómetros al sur del municipio de Las Matas de Santa Cruz, en la región Noroeste de la República Dominicana.

El centro del emplazamiento de la obra, de aproximadamente 23 metros de altura y 200 metros de longitud, está definido por las coordenadas 2,36,350mE y 21,70,850mN del sistema U.T.M.; con una orientación N 05° 18' 39" E. La elevación de la corona de esta presa es 60.90 m.s.n.m.

ANTECEDENTES

La Presa de Maguaca fue construida en el período 1977-1978 para almacenar 4,800,000 metros cúbicos de agua, destinados a la irrigación de las llanuras situadas aguas abajo de la obra. El embalse acumuló un volumen de agua bastante considerable en el año 1978, pero la presencia de filtraciones excesivas aguas abajo de ambos estribos, principalmente en el estribo derecho, y un proceso de erosión regresiva en el estribo izquierdo, obligaron al vaciado del embalse, de forma tal que la obra pudiera ser conservada hasta lograr corregir esas fugas. No obstante, la no corrección de las mismas ha impedido llenar de nuevo el embalse, el cual se mantiene prácticamente vacío desde 1978 hasta el presente, aunque con ciertas fluctuaciones en su nivel.



GEOLOGIA GENERAL

Margas, calizas margosas, arcillas margosas y pequeños depósitos aluviales caracterizan el área de emplazamiento de la Presa de Maguaca.

Todas estas unidades sedimentarias calcáreas forman parte de la Caliza Mao Adentro, la cual es un miembro superior de la Formación Gurabo perteneciente al Mioceno Medio.

La presencia de diversas especies de gasterópodos y lamelibranquios, así como de múltiples corales de tipo arrecifal caracterizan los estratos que afloran en el área.

Una falla normal de significativa importancia corre a lo largo de la margen derecha del río Maguaca, en el sitio de emplazamiento de la presa, la cual ha sido un factor importante en la configuración de un graben sobre el cual se sitúa la obra.

GEOLOGIA DE LA PRESA

LITOLOGIA

DEPOSITO ALUVIAL

Un pequeño depósito aluvial, acuñado hacia arriba en dirección oeste-este, aflora en el área central del corte realizado para la construcción del vertedero.

Este depósito ocupa la parte superior del corte, y su limitada extensión, así como su localización hacen que no se le tome muy en cuenta.

Los elementos constituyentes son clastos calizos y clastos ígneos envueltos en una matriz de arcilla margosa.



Vista parcial del embalse de la Presa de Maguaca.

ARCILLAS MARGOSAS

El descenso de nivel de la presa pone de manifiesto un extenso corte de arcillas margosas amarillentas existentes en la margen derecha de la cabeza del embalse, así como en el extremo oriental del pie de la ataguía, aunque en este último caso la extensión es considerablemente reducida y sólo se le observa cuando el nivel está por debajo de la elevación 45 m.s.n.m.

Estas arcillas están asociadas a delgados horizontes clásticos integrados por pequeños fragmentos calizos, marcando lo que se podría definir como diferentes períodos de sedimentación. Estos horizontes no exceden los 10 centímetros de espesor y su asociación con los gruesos espesores arcillosos hacen que no sean muy perceptibles, pudiendo describirse el afloramiento como una unidad arcillosa ligeramente consolidada.

El espesor exacto de esta unidad aún se desconoce, pero el corte observado indica que sobrepasa los 5 metros.

El pequeño afloramiento observado al pie de la ataguía está asociado con arenas finas, que al parecer se encuentran in situ, pero que eventualmente podrían ser remanentes de los trabajos de construcción realizados de 1977 a 1978.

MARGAS BLANDAS

La porción superior de los cerros situados en la margen derecha de la presa, así como el área de emplazamiento del vertedero, están constituidas por margas blancas, extremadamente blandas, que pueden ser completamente disgregadas con las manos.



PROYECTO PRESA DE MAGUACA

Fig. 16 SONDEO No. 1

Preparado Por: Ing. Geól. Osiris de León

PROF.	GRAFICA	LITOLOGIA
0		Margas medianamente consolidadas color crema amarillento con pequeñas fragmentos calizas
1		
5.50		Margas blandas color amarillento con alto contenido de fósiles y fragmentos de coquinas
6.50		Caliza altamente fosilifera (coquina) color amarillento, muy compacta y muy porosa
8.75		Coquina muy compacta y muy porosa
9.75		Margas blancas color amarillento
12.0		Caliza coralina muy porosa y fracturada con lentes de margas
16.25		Margas blandas color crema amarillento con pequeñas fragmentos de caliza coralina
17.0		Caliza coralina muy porosa y fracturada
17.50		Coquina amarillenta y porosa
19.0		Margas med. consolidadas y fracturadas
20.0		Margas fosilíferas consolidadas color amarillento y porosas
20.9		Margas blandas y amarillentas
22.0		Margas fosilíferas consolidadas con lentes de margas blandas
22.6		Margas blandas y amarillentas
23.0		Margas fosilíferas consolidadas y porosas
23.4		Caliza fosilifera muy porosa y algo fracturada
24.0		
25.0		Margas blandas color amarillento

Sondeo de Investigación Localizada en la Corona de la presa, 1967

El afloramiento más extenso dentro del área cartografiada es el de la margen derecha de la presa, el cual está separado de las unidades próximas por una línea de falla normal con dirección general N 80° E. Los cortes artificiales realizados en el sitio de construcción del campamento evidencian la suavidad de estos sedimentos calcáreos.

Hacia su base, esta unidad se va tornando en lo que prácticamente sería una arcilla margosa completamente blanda, mientras que hacia el tope se presenta una costra calcárea medianamente consolidada.

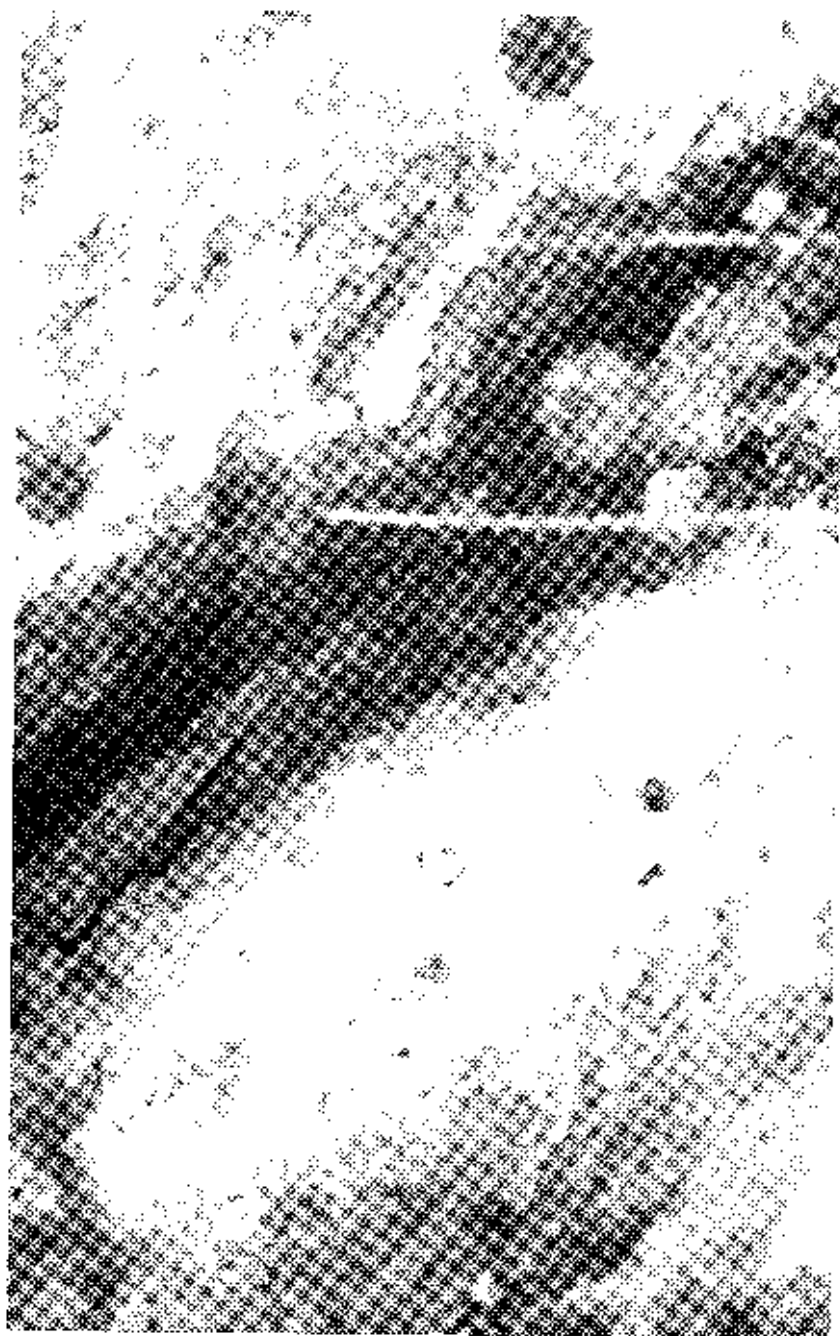
MARGAS CON BLOQUES CALIZOS

Entre las arcillas margosas y las margas blandas que afloran en la margen derecha de la presa, hay una pequeña área de transición, constituida por una asociación de margas y bloques de caliza coralina. La mayor parte de los medianos y grandes bloques de caliza arrecifal coralina han sido desprendidos desde el escarpe de falla, lo que se evidencia a medida que se asciende por el talud hasta llegar al escarpe.


Dado que esta unidad no es más que el producto de la mezcla de dos unidades allí presentes, se hace difícil establecer con precisión el límite inferior de la misma, por lo que su contacto con las arcillas margosas, por el momento, debe ser inferido.

CALIZAS MARGOSAS CORALINAS

A lo largo del principal escarpe de falla registrado en el área, y que se localiza en la margen derecha de la presa, es posible observar afloramientos cortados de caliza margosa coralina con grandes inclusiones de especies faunísticas y pequeñas a medianas cavidades de disolución.



Amplia fractura dentro de las margas calizas que afloran aguas arriba del estribo izquierdo.

	PROYECTO PRESA DE MAGUACA Fig. 17 SONDEO No. 2 Preparado Por: Ing. Geól. Osiris de León
---	--

Profundidad en Metros	PROF.	GRABCA	LITOLOGIA
	0		Arcilla calcárea color amarillento plasticidad media y consistencia muy firme, con algo de arena (CL) (relleno).
	9		Arcilla calcárea color amarillento plasticidad media y consistencia dura, con algo de arena (CL) (relleno).
	23.50		Grava gruesa sub-redondeada y de color oscuro
	26.70		Concreto
	24.95		No recuperada, posiblemente gravas
	27.45		Limo gris calcáreo y fósilífero medianamente consolidado
	30.0m		

Sondeo de Investigación Localizada en la Corona de la Presa, 1987

Esta unidad es muy heterogénea, y varía en composición desde margosa hasta ligeramente cristalina, lo que es razón para la presencia de las pequeñas cavidades de disolución.

De todas las unidades presentes en el área, la caliza margosa coralina es la más compacta, pero al mismo tiempo la más limitada en cuanto a extensión superficial, pues sólo aflora a lo largo del escarpe de falla, que es lo que ha permitido su exposición. En este mismo escarpe se evidencia que está por debajo del depósito de margas blandas y por encima de las margas medianamente compactas.

MARGAS MEDIANAMENTE COMPACTAS

El estribo derecho de la Presa de Maguaca, así como la margen izquierda de la cabeza del embalse, se caracterizan por la presencia de gruesos depósitos de margas blancas a amarillentas, medianamente compactas y sumamente fracturadas en algunas áreas.

En el área norte del estribo derecho de la presa, se observa que estas margas presentan bloques de caliza margosa coralina, los que sin lugar a dudas han sido desprendidos desde el escarpe de falla donde aflora esta caliza. Además de estos bloques, en algunos puntos hay acumulación de margas blandas, las que pudieron llegar hasta aquí producto de la erosión causada por las lluvias en la unidad denominada margas blandas.

No obstante, en los lugares donde no hay acumulación de bloques calizos ni margas blandas, se aprecia claramente que estas margas semi-compactas son muy homogéneas y completamente diferentes a las demás unidades litológicas.

ESTUDIO DE REHABILITACION PRESA DE MAGUACA

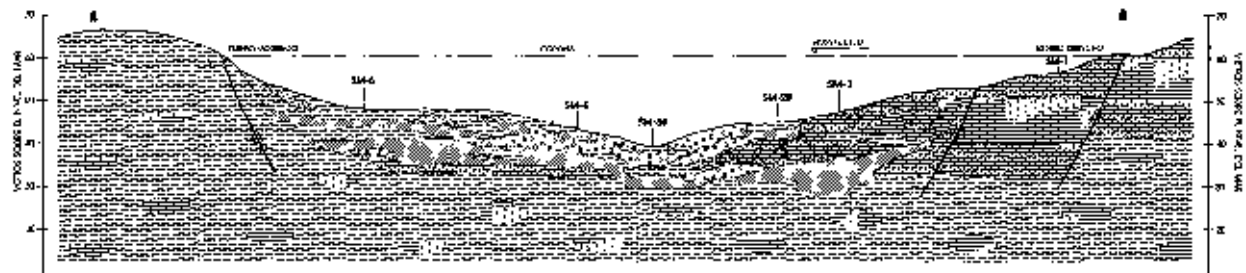
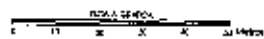


Fig. 19 SECCION GEOLOGICA LONGITUDINAL A TRAVES DE LA PRESA

(ANTES DE LA CONSTRUCCION)

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
INDRHI



Geología de: Sr. Rafael Rodríguez

Md. Enrique Berge-More

Ingeniero Dr. J. J. Martí

Santo Domingo, D.R.
Febrero 1967.

ESTUDIO DE REHABILITACION PRESA DE MAGUACA

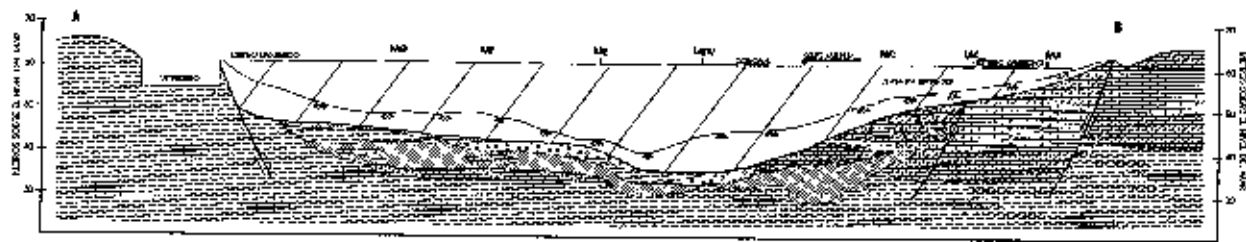


Fig. 20 SECCION GEOLOGICA LONGITUDINAL A TRAVES DE LA PRESA
(DESPUES DE LA CONSTRUCCION)

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS HIDRAULICOS
INDRHI



Geología Ing. R. M. Rivera Cordero de Lara

Arquitecto Ing. Augusto Rábago

Bombado de D. J. et. Mendi

Santa Cruz, agosto de 1967

Uno de los afloramientos típicos de esta unidad se observa en el área nororiental de la entrada del túnel de desagüe, donde estas margas están totalmente fracturadas en diferentes direcciones aunque predomina la orientación N 20° E.

Las muestras colectadas en el talud ubicado al norte del estribo derecho, indican la presencia de diferentes especies faunísticas, que permiten considerar esta unidad como muy rica en fósiles, al tiempo de ubicarla estratigráficamente dentro de la caliza Mao Adentro que es un miembro superior de la Formación Gurabo, perteneciente al Mioceno Medio.

TECTÓNICA

La Presa de Maguaca se halla emplazada sobre un bloque hundido (Graben) de 850 metros de largo (este-oeste) por 600 metros de ancho (norte-sur). (Ver fig.21)

Los límites norte y sur de este gran bloque hundido están constituidos por dos fallas normales de significativa importancia, especialmente la falla que pasa al norte del río Maguaca, ya que ella está a 165 metros del cauce y a 90 metros del tope del estribo derecho. Esta falla de 1,500 metros de largo ha generado, además, una zona de deslizamiento que se extiende desde su eje hasta el cauce del río, advirtiéndose de igual modo una falla secundaria cuyo eje se localiza a sólo 50 metros al norte del tope del estribo derecho, por lo que se desprende, que todo el área comprendida entre el cauce del río Maguaca y la línea escarpada que pasa a unos pocos metros al sur del campamento, es una zona de falla con orientación perpendicular al eje de la presa y sobre la cual se ha emplazado el estribo derecho de la presa.

Las zonas de fallas, especialmente las producidas en rocas sedimentarias blandas o poco compactas, son muy inestables y sufren asentamientos continuos, en vista de que las rocas o sedimentos no se encuentran exactamente in situ, sino que han sido movidas por fuerzas gravitacionales desde un nivel superior a otro más inferior.

Esto ocurre en el estribo derecho de la Presa de Maguaca, donde es posible observar una larga grieta de asentamiento que se sitúa entre el estribo y el talud margoso.

Aunque el eje principal de la grieta se orienta en dirección N 40° W, la misma exhibe una gran curvatura en la cabeza noreste del estribo, que la hace cambiar su dirección hacia el sur.

Otra pequeña falla, la cual no tiene mucha importancia, se sitúa a pocos metros al norte del vertedero de la presa, pero su longitud no excede los 80 metros.

La falla normal que limita por el lado sur al bloque hundido, está localizada a unos 435 metros al sur del cauce del río Maguaca, teniendo una longitud aproximada de 1,700 metros.

Aunque esta falla no influye de manera directa en lo que es la presa, influye indirectamente, pues es un elemento complementario en la definición del graben de 0.51 kilómetros cuadrados sobre el cual se ha emplazado la obra.

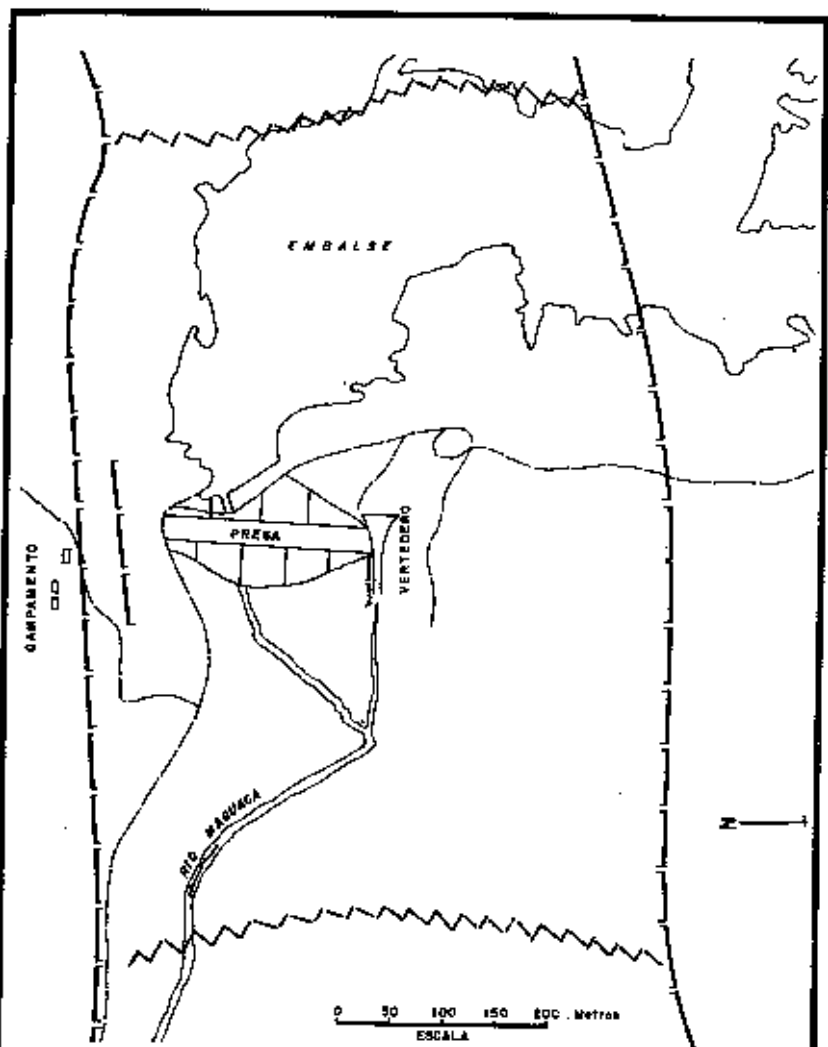
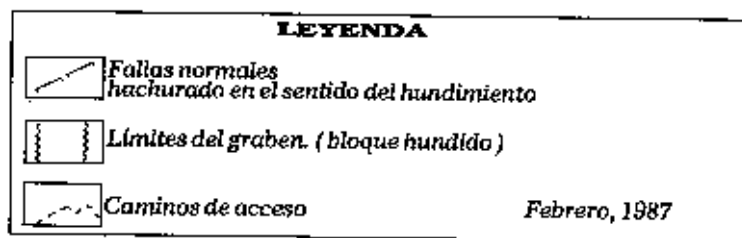


FIG. 21 MAPA TECTONICO GENERAL DE LA PRESA DE MAGUACA



HIDROGEOLOGIA

Desde el punto de vista hidrogeológico, tanto las margas blandas que afloran al norte de la presa y en el área del vertedero, como las arcillas margosas expuestas al norte de la cabeza del embalse y al pie de la atagüa, son unidades completamente impermeables producto del alto contenido de elementos arcillosos poco consolidados o casi Inconsolidados.

No igual ocurre con las margas medianamente compactas que afloran en el estribo derecho y al sur de la atagüa; pues estas, por su mayor compactación relativa, han sido menos resistentes a los efectos del fallamiento local y actualmente exhiben pequeñas fallas secundarias y múltiples diaclasas polidireccionales que al verse en contacto con el embalse sirven de canales de conducción de las aguas, las que se mueven principalmente a través de la zona de contacto entre el estribo derecho y la roca base.

En el extremo nororiental de la entrada del túnel de desagüe, puede apreciarse, cuando el nivel de la presa está por debajo de los 40 metros sobre el nivel del mar, que esta marga está sumamente fracturada y constituye la principal vía de escape de las aguas, las que emergen nuevamente aguas abajo del estribo derecho de la presa.

Este afloramiento de margas fracturadas tiene unos 30 metros de longitud, desde la entrada del túnel hacia el este.



Margas semi-consolidadas y bastante fracturadas localizadas en la margen noreste de la entrada del túnel.

Por otra parte, el afloramiento de margas medianamente compactas que se encuentra al sureste de la atagüa, no obstante estar sumamente fracturado en dirección N 80-85° E y estar dichas fracturas en contacto con el embalse, no constituye una zona de importantes filtraciones, pues inmediatamente al oeste se localizan las margas blandas antes descritas, las que son altamente impermeables, y reducirían al mínimo cualquier volumen de agua infiltrado, ya que producen un efecto de barrera hidrogeológica.

Finalmente, una trinchera ejecutada en un punto hasta ahora definido como sumidero, reveló la existencia de margas impermeables.

HIDROQUIMICA

El objetivo de la investigación hidroquímica en el embalse de Maguaca, es estudiar la variación de la concentración salina que se presenta en diferentes épocas del año. Para tales fines se ha realizado un estudio hidroquímico de las aguas de dicho embalse, acompañado de un estudio geoquímico de sedimentos, con el propósito de conocer la distribución y el comportamiento de los componentes de las aguas de esta presa.

Para cumplir con tal objetivo se llevó a cabo una recolección de muestras de aguas y de sedimentos.

Los puntos de muestreo a lo largo del embalse de Maguaca fueron orientados desde el muro hacia la cola. Estos puntos fueron seleccionados en base a un espaciamiento adecuado y a las posibilidades de acceso. Se tomaron muestras en ambos márgenes del embalse para así observar la posible influencia de los diferentes sedimentos calcáreos que conforman la litología, así como la influencia de los afluentes.

Las muestras de sedimentos se recogieron en los mismos puntos que las aguas y en los bordes del embalse. Es importante destacar que las muestras recolectadas sólo representan las condiciones reinantes al momento del muestreo.

La ubicación exacta de los puntos de muestreo se presenta en la figura 22 anexa.

El análisis químico de las muestras de agua consistió en la determinación cuantitativa de la dureza (CaCO_3); el cloruro de sodio (NaCl); sólidos disueltos y el pH, (Cuadro No.3) mientras que en los sedimentos se determinó el contenido de cloruro.

Los datos se presentan en forma de cuadros y diagramas de variación de la concentración con la distancia a lo largo del embalse. En las tablas los puntos de muestreo son identificados con el siguiente código: "MA" es muestra de agua, "MS" es muestra de sedimento, el número que sigue a las letras corresponde al punto de muestreo a lo largo del embalse y es el mismo que se presenta en el mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

VARIACION DE LOS PARAMETROS FISICO - QUIMICOS

pH

Se observa que el pH en el tramo estudiado varía en un intervalo de 7.05 a 7.80 con valor promedio de 7.35 y una dispersión de 0.2. En la figura 23 es posible notar la tendencia del comportamiento de este parámetro y puede verse que en las proximidades del muro de contención su comportamiento no presenta variaciones significativas, exhibiendo valores ligeramente alcalinos, aunque el punto MA-05 muestra un valor de 7.05 y el punto MA-09 presenta un valor de 7.10. Estos valores mínimos observados en la figura 23 son consecuencia del ácido húmico, producto de la descomposición de materia orgánica, como son los restos de árboles allí presentes. Como evidencia de este hecho tenemos la coloración oscura de las muestras que corresponden a estos puntos, característica del ácido húmico en solución.

CLORURO DE SODIO

Las aguas del embalse de Maguaca revelan un contenido de cloruro de sodio que varía entre 23 ppm y 102 ppm, observándose que la mayor concentración se localiza en el área contigua al muro, con un decrecimiento gradual hacia la cola de la presa (fig.22).

Esto es debido a que los valores del ión cloruro proceden del lavado de los sedimentos de origen marino, los que son ricos en cloruro de sodio. En cuanto a lo que se refiere al catión sodio, dada su determinación en combinación con el cloruro, consideramos que se trata también del lavado de sedimentos marinos y del cambio de base con las arcillas del mismo origen.

Fig.23 pH EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE MAGUACA

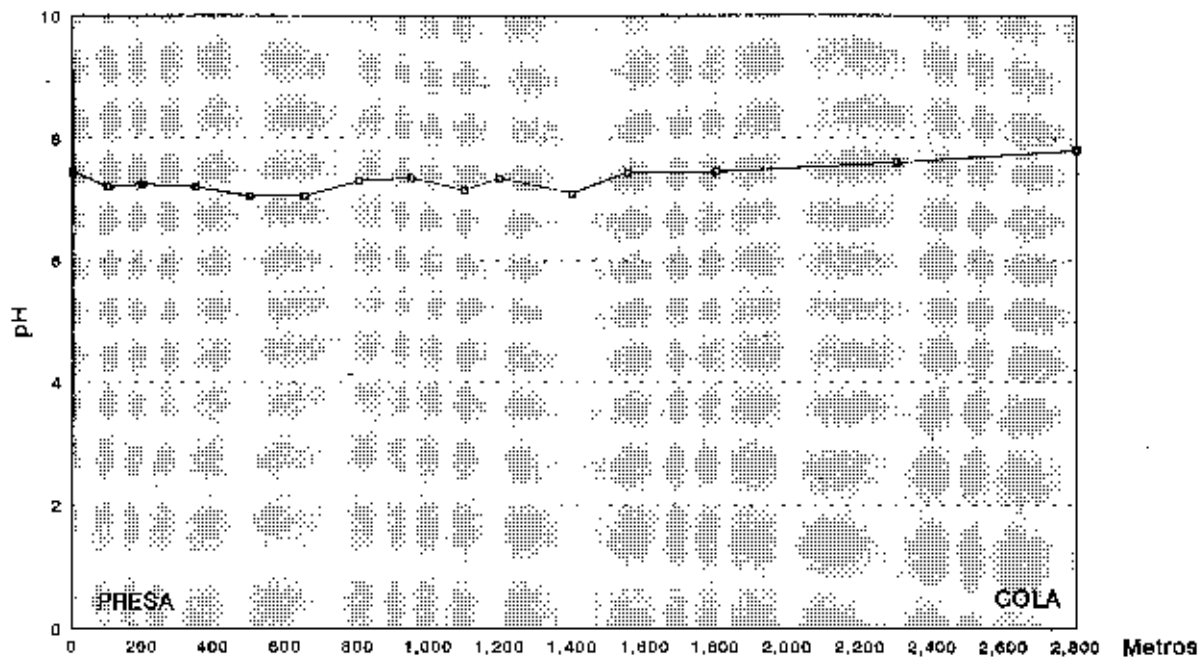
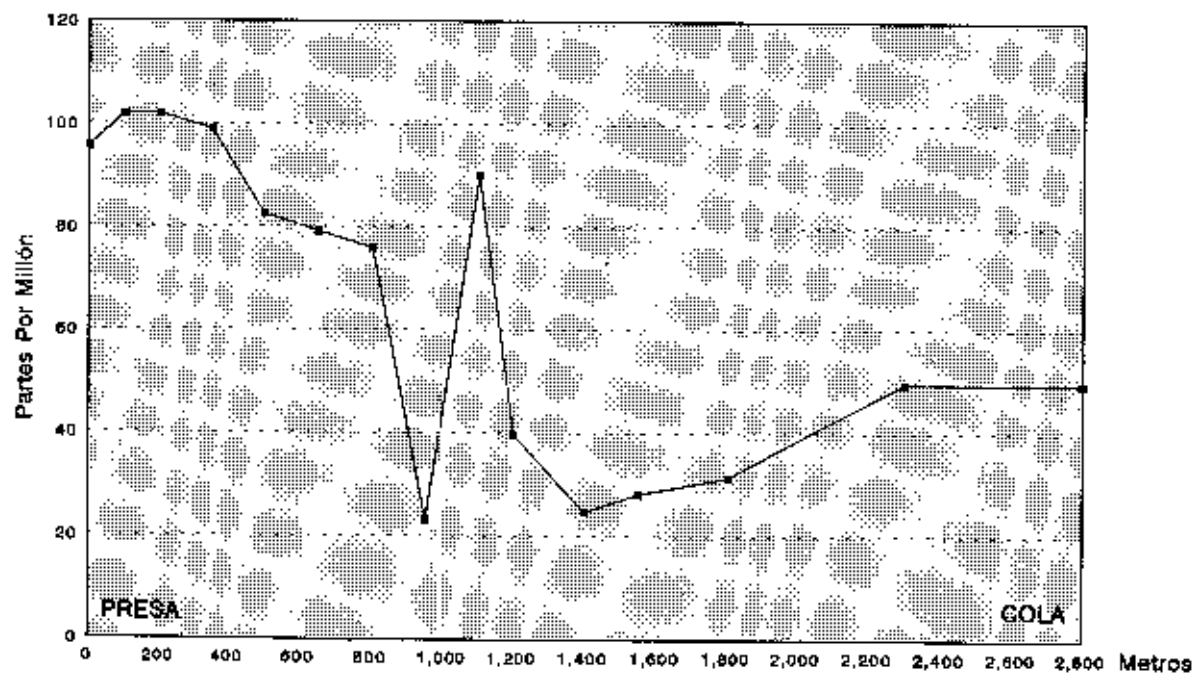


Fig.24 CONTENIDO CLORURO DE SODIO EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE MAGUACA

DUREZA (CaCO₃)

Esta característica físico-química de las muestras recolectadas varía en un intervalo que va desde 90 ppm a 154 ppm. (Ver cuadro No.3)

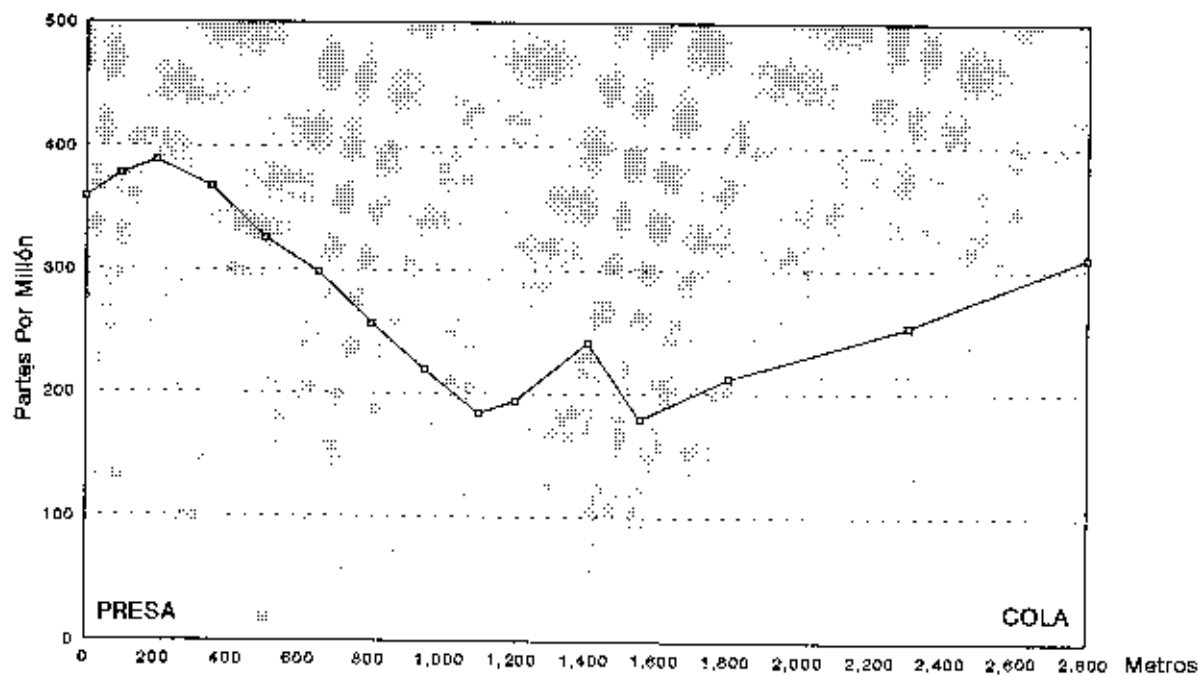
Las variaciones en los valores de este parámetro las asociamos a la mayor o menor proporción de disolución del carbonato de calcio contenido en los sedimentos calcáreos.

SOLIDOS DISUELTOS

El cuadro No.3 contiene la variación de sólidos disueltos en las aguas, presentando valores que van desde 163 ppm a 389 ppm. La variación de los sólidos disueltos a lo largo del tramo en estudio se muestra en la figura 25, en la que se observa que los valores más relevantes se presentan en la cercanía del muro y hasta el punto de muestreo MA-05. Estos valores disminuyen en el segmento comprendido entre los puntos MA-06 y MA-10 a partir de donde aumentan nuevamente. En términos generales los valores de los sólidos disueltos pueden considerarse bajos.

Esto es natural porque el muestreo ha sido realizado en una época en que las aguas tienen poca energía y por tanto poca capacidad de erosión. Además, el nivel del agua no se ha elevado lo suficiente, por lo que es de esperarse que el contenido de sólidos disueltos aumentará considerablemente en los períodos de lluvias.

Fig.25 *CONTENIDO SOLIDOS DISUELTOS EN LAS AGUAS DE LA PRESA DE MAGUACA*



SEDIMENTOS

El análisis de los sedimentos consistió en la determinación del contenido de cloruro en los mismos. Como se observa en el cuadro No.4 , la variación del cloruro en los sedlmentos, a lo largo del muestreo, oscila entre 40 ppm y 200 ppm.

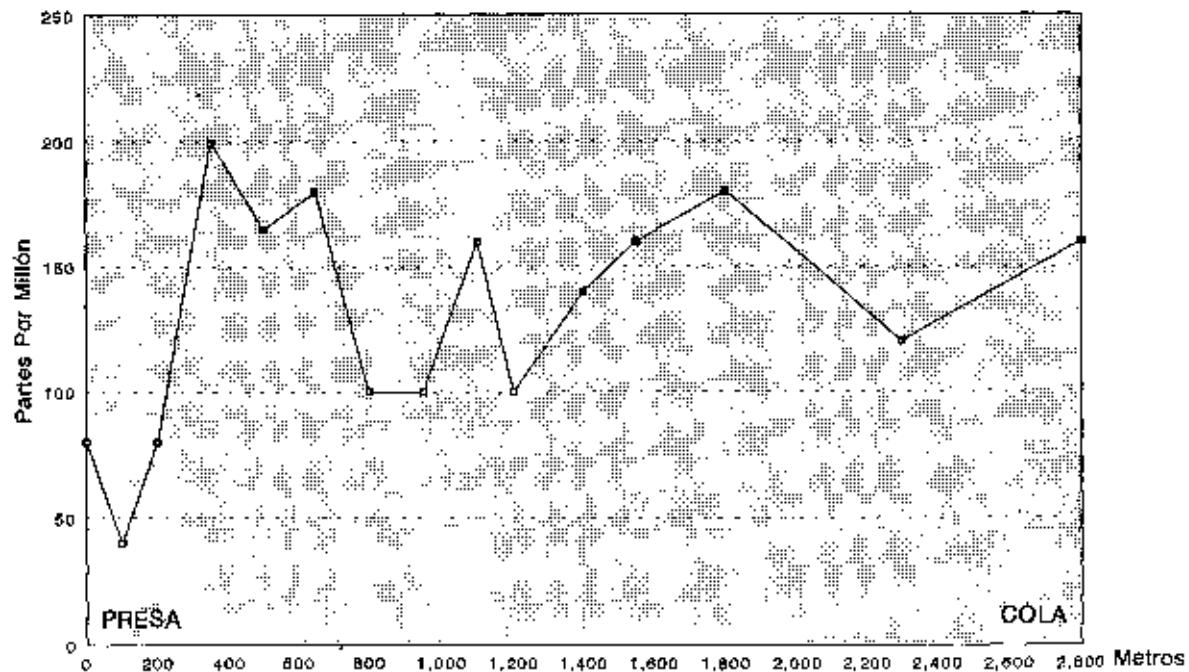
Si correlacionamos las gráficas del cloruro en las aguas y en los sedimentos, figuras 24 y 26 respectivamente, se puede visualizar que con excepción del punto de muestreo MA-04 que presenta el valor más alto, las citadas gráficas reflejan un comportamiento inverso.

Esto confirma lo expresado anteriormente de que el contenido de cloruro en las aguas es producto tanto del lavado de los sedimentos de origen marino, como del cambio de base con las arcillas del mismo origen.

BACTERIOLOGIA

El análisis bacteriológico de 10 muestras incubadas durante 72 hr., a 36 grados centígrados, demostró la existencia de crecimiento bacteriano, caracterizado por colonias de *Pseudomona aeruginosa*, por lo cual en la actualidad el agua de la Presa de Maguaca no es apta para el consumo doméstico.

Fig.26 CONTENIDO CLORUROS EN LOS SUELOS DE LA PRESA DE MAGUACA



(Cuadro No.3)

ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA DE LA PRESA DE MAGUACA				
Muestras	Sólidos Disueltos (ppm)	pH	NaCl, ppm	Dureza CaCO ₃ (ppm)
MA-01	359	7.45	95.7	136
MA-02	378	7.20	102.0	140
MA-03	389	7.25	102.0	140
MA-04	368	7.20	99.0	152
MA-05	326	7.05	82.5	126
MA-06	257	7.30	75.9	110
MA-07	219	7.35	23.1	98
MA-08	194	7.35	39.6	94.0
MA-09	241	7.10	24.7	128.0
MA-10	212	7.45	31.3	104.0
MA-11	254	7.60	49.5	120.0
MA-12	311	7.80	49.5	154.0
MA-13	373	7.40	102.0	140.0
MA-14	373	7.30	101.0	140.0
MA-15	368	7.40	99.0	140.0
MA-16	350	7.65	94.1	136.0
MA-17	298	7.05	79.2	124.0
MA-18	184	7.15	33.0	90.0
MA-19	184	7.15	33.0	92.0
MA-20	179	7.45	28.1	94.0
MA-21	163	7.65	24.7	88.0

(Cuadro No.4)

CONTENIDO DE CLORUROS EN LOS SUELOS DE LA PRESA DE MAGUACA

MUESTRA	CLORUROS (Cl⁻), ppm
MS-01	80
MS-02	40
MS-03	80
MS-04	200
MS-05	165
MS-06	100
MS-07	100
MS-08	100
MS-09	140
MS-10	180
MS-11	120
MS-12	160
MS-13	80
MS-14	60
MS-15	60
MS-16	140
MS-17	180
MS-18	160
MS-19	60
MS-20	160
MS-21	80

CONCLUSIONES

- 1.- El estribo derecho de la Presa de Maguaca está emplazado sobre una zona de falla, la cual ha producido grandes deslizamientos en el pasado geológico.
- 2.- Las margas medianamente compactas que afloran en el estribo derecho de la presa, han sido fuertemente afectadas por el fallamiento local.
- 3.- Las grietas que se encuentran sobre estas calizas, en el área nororiental de la entrada del túnel, constituyen la principal vía de fugas.
- 4.- La inestabilidad de la zona de falla produce grietas de asentamiento en áreas de sedimentos suaves.
- 5.- Es posible que parte de las filtraciones se estén produciendo a través de la cabeza norte de la presa por grietas originadas en asentamiento diferencial.
- 6.- Las arcillas margosas y margas blandas constituyen unidades prácticamente impermeables.
- 7.- Los pH medidos en las aguas de Maguaca están en un entorno de valores naturales, aunque en los puntos que citamos como excepción se refleja el contenido de materia orgánica.
- 8.- La dureza promedio de las aguas del embalse no puede ser preocupación, ya que su valor está por debajo del máximo permitido.
- 9.- Sin lugar a dudas, tanto el sodio y el cloruro, como otros cationes y aniones, pueden variar en su concentración debido a que las muestras fueron tomadas después de un corto período de lluvias.
- 10.- El crecimiento de colonias de *Pseudomonas aeruginosa* positiva hace que el agua de la Presa de Maguaca sea no apta para consumo doméstico.

GEOLOGIA DE LA SIERRA DE NEIBA REPUBLICA DOMINICANA

Conferencia presentada en Saint Croix, Islas Virgenes, el 10 de agosto de 1989 dentro del marco de la 12ª Conferencia Geológica del Caribe.

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

RESUMEN

La Sierra de Neiba, localizada en la región suroeste de la República Dominicana, está constituida por rocas sedimentarias calcáreas, principalmente calizas terciarias, que se asocian con rocas volcánicas básicas emplazadas en el Eoceno inferior.

Los flujos volcánicos, integrados fundamentalmente por basaltos, andesitas y piroclastos, datan de 52 millones de años atrás y están estrechamente relacionados con las calizas litográficas pedernalosas de las Formaciones Neiba y Plaisance las que fueron depositadas en el Eoceno.

La caliza litográfica de la Formación Plaisance, que es la base calcárea de la región, se encuentra en la vertiente noroeste de la sierra, mientras que las calizas cristalinas y margosas de la Formación Sombrero, que han sido posicionadas concordantemente sobre la Formación Neiba, afloran en la margen sur y en el extremo oriental del sistema montañoso de Neiba.

Las unidades clásticas de la región están representadas por las Formaciones Trinchera y Arroyo Blanco, del Oligoceno y Mioceno respectivamente, encontrándose que mientras Arroyo Blanco es rica en especies de macrofauna, las demás formaciones se caracterizan por la abundancia microfaunística.

La tectónica regional es extremadamente compleja, observándose cabalgamientos de calizas eocénicas sobre grandes mantos de calizas oligocénicas, lo que ha generado un extenso fracturamiento que permite la rápida infiltración de las aguas meteóricas, las que posteriormente emergen a lo largo del principal plano de falla regional, constituyendo extraordinarios manantiales.

INTRODUCCION

La Cartografía Geológica de la Sierra de Nelba (o Neyba) surge en el año 1981 como producto de la carencia de informaciones litológicas y estructurales que pudieran dar respuesta al comportamiento hidrogeológico de una región de alta pluviometría, de escasas corrientes superficiales y de gran potencial de aguas subterráneas.

Para la realización de este trabajo fue preciso coleccionar cientos de muestras representativas de las rocas expuestas a todo lo largo y ancho de la prominente sierra, que corriendo en dirección noroeste-sureste constituye el límite norte de la Cuenca de Enriquillo, ocupando poco más de 2,700 Km².

Decenas de láminas delgadas fueron preparadas a partir de las muestras coleccionadas, para con ello lograr una mejor correlación micropaleontológica de las diferentes formaciones calcáreas existentes en la región. Muchas de estas muestras fueron interpretadas por J.M. Vilá.

La Sierra de Nelba, extensión oriental de la Presquîle du Nord (Haïti), litológicamente guarda una estrecha relación, con su vecina austral, la Sierra de Bahoruco, ya que la mayoría de las extensas formaciones son comunes a ambos sistemas montañosos.

ANTECEDENTES

Varios trabajos de investigación han sido desarrollados en el presente Siglo, sobre algunas porciones de la Sierra de Neiba. Entre estos trabajos es preciso mencionar "Un Reconocimiento Geológico de la República Dominicana", publicado en el año 1921 por el Dr. T. W. Vaughan y otros colaboradores, de igual modo son valiosísimos los reportes privados preparados en la década de 1940 por los geólogos de la Standard Oil Company of New Jersey y publicados en el año 1949 por Pedro Joaquín Bermúdez, bajo el título "Foraminíferos Terciarios Menores de la República Dominicana".

Entre los años 1952 y 1956, Felipe Guerra Peña preparó un mosaico fotointerpretativo de esta Sierra; en el año 1980 la Canadian Superior Oil Co., cartografiaba las zonas más próximas a la Cuenca de Enríquillo, y en el año 1981 Paul Mann también escribía su tesis sobre esta interesante región.

ESTRATIGRAFIA

TERCIARIO

COMPLEJO VOLCANICO (Eoceno Inferior)

Extensos afloramientos de rocas volcánicas básicas, principalmente flujos piroclásticos, se registran en la zona de Los Guineos, al norte de Neiba; así como en el área sur de la comunidad de Hondo Valle.

En la zona de Los Guineos es frecuente encontrar piroclastos con estructuras de almohadas, interestratificadas con capas de caliza litográfica eocénica y delgadas capas de pedernal color marrón.

Por lo general, los piroclastos están sumamente meteorizados y a veces asociados a fragmentos de andesita porfírica donde las plagioclasas son los minerales más destacados. Estos fragmentos andesíticos podrían tener su origen en erupciones volcánicas explosivas.

Con anterioridad habíamos clasificado estos flujos en dos grandes grupos: flujos piroclásticos subacuosos, dentro de los cuales entran las pillow lavas, y proturbiditas dentro de las cuales entran las capas clástico-volcánicas.

Este afloramiento de Los Guineos ocupa una extensión de aproximadamente 30 kilómetros cuadrados, estando bordeado por extensos mantos de caliza litográfica, principalmente de la Formación Neiba, la cual se ha visto fuertemente afectada por fuerzas compresionales que han generado complejos plegamientos, así como contactos de carácter tectónico entre los piroclastos y las calizas, donde las fallas son principalmente fallas de empuje.

Muestras de estas rocas volcánicas fueron analizadas por el método potasio-argón, arrojando una edad de 52 millones de años (Eoceno Inferior).

El otro complejo volcánico de significativa importancia es el que se extiende desde Loma El Portal hasta Loma Dos Cerros, al sur de Hondo Valle y en la falda norte de Loma La Tasajera del Chivito.

En esta zona de aproximadamente 12 kilómetros cuadrados encontramos secciones volcano-sedimentarias, constituidas por piroclastos regularmente estratificados asociados con capas de shale, areniscas y conglomerado rojizo de clastos gruesos.

Agosto
de 1960

Hacia el extremo oriental de este depósito, se localizan afloramientos andesíticos, parcialmente alterados y totalmente brechados, como evidencia de un fuerte tectonismo local que al parecer levantó la Loma La Lomita en forma de Clippe. Aquí los piroclastos y andesitas están en contacto tectónico con una caliza microfossilífera gris parcialmente recristalizada y clasificada como parte de la Formación Plaisance. El límite sur del afloramiento, así como el límite noroeste, lo marcan las calizas color café de la misma Formación Plaisance.

Las principales características de esta secuencia volcánico-sedimentaria, son las mismas que las de los afloramientos de la zona de Los Guineos, por lo que la edad también correspondería al Eoceno Inferior. No obstante, la frecuente interestratificación de piroclastos y calizas eocénicas sugiere la existencia de múltiples períodos de vulcanismo activo a lo largo del Eoceno Inferior.

Pequeños afloramientos de este complejo se localizan en Angel Félix, Sabana Real y Yerba Buena, a lo largo de la carretera Los Pinos-Hondo Valle, en el extremo más occidental de la Sierra, es decir, el área fronteriza, donde, además de los flujos piroclásticos, aparecen pequeños diques basálticos de forma tabular. Estos diques se repiten en el área de Las Lajas, próximo a las aguas del Lago Sumatra, donde la Sierra de Neiba es cortada abruptamente por la falla normal que la separa del Valle de Neiba.

Otros pequeños afloramientos piroclásticos fueron encontrados en nuestra travesía El Cercado-Los Ríos (Neiba); el primero de ellos en El Naranjo, rodeado por calizas litográficas de la Formación Neiba, y el segundo en Los Mosquitos, próximo a la confluencia de la cañada Palo de Burro con la cañada de Los Mosquitos, ambas afluentes o componentes del nacimiento del río Barreras. En este último caso el afloramiento aparece dentro de la caliza café de la Formación Plaisance.

Una muestra procedente de las biocalcarenitas interestratificadas con los flujos piroclásticos del complejo Indicó la presencia de *Nummulites*, *Globigerinas*, *Nodosaurias* y *Radiolarios*, en su gran mayoría recristalizados, los cuales sugieren que las biocalcarenitas fueron depositadas en el Eoceno.

El espesor mínimo asumido para esta secuencia es del orden de los 2,500 metros.

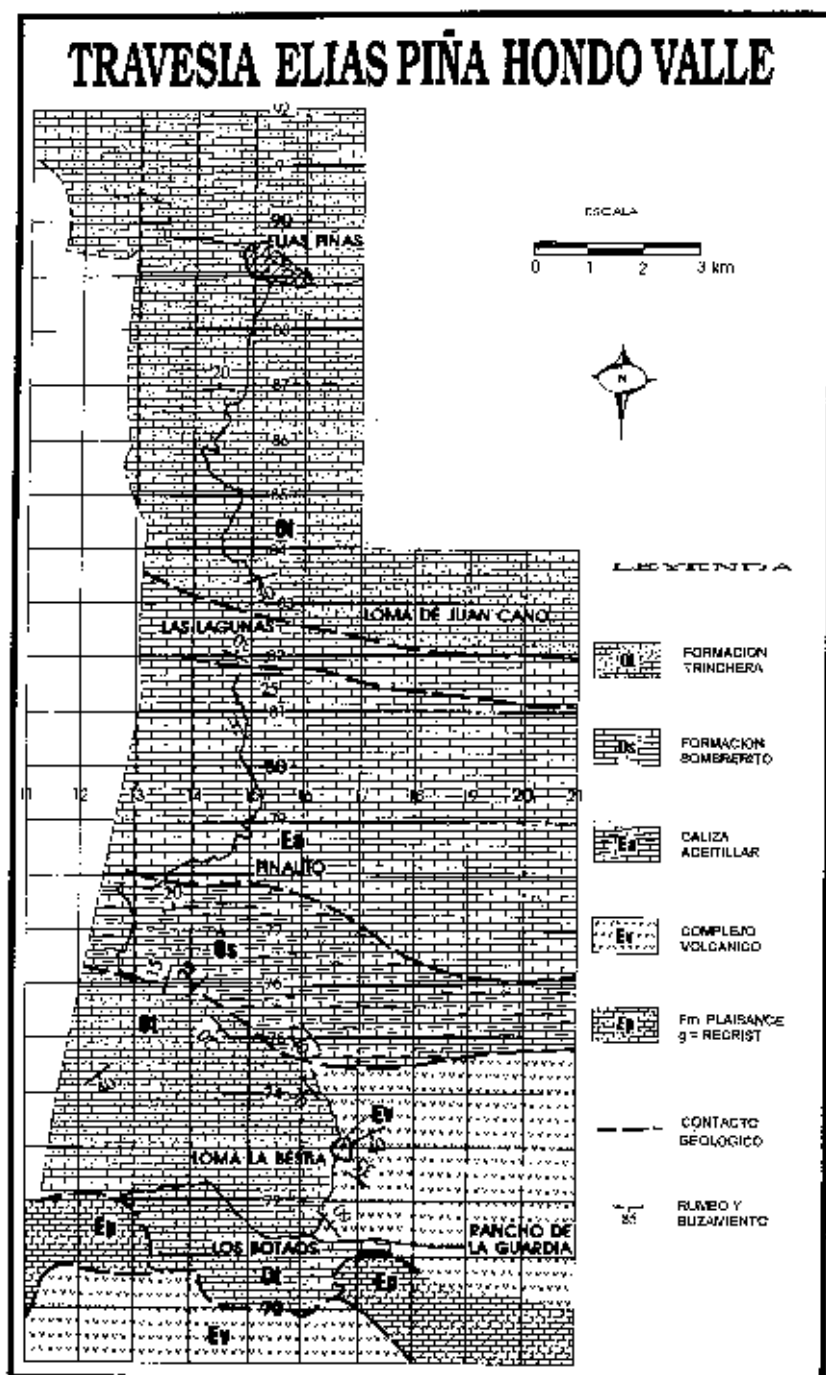
FORMACION PLAISANCE (Eoceno Inferior-Medio)

La Formación Plaisance fue originalmente descrita por el Dr. T. W. Vaughan (1921), considerándose como calizas litográficas a cristalinas, muy bien estratificadas, y de color predominantemente café, cuya sección tipo fue identificada en las montañas situadas entre Plaisance y Ennery, en Haití.

Los principales afloramientos de Plaisance, cubren la mitad occidental de la Sierra de Neiba, especialmente en la Loma Gajo de Las Sabinas, al noroeste de Los Mosquitos; Loma La Tasajera del Chivito, al sur de Hondo Valle; y Loma el Hoyazo, al norte de Angel Félix, en la zona Fronteriza.

Otros pequeños afloramientos de estas calizas se sitúan en Loma este-noreste de Rancho de la Guardia, siguiendo el curso del río Los Caños.

Debemos ratificar que la caliza Plaisance aflorante en Loma centro occidental de la Sierra, han sido desarrolladas sobre esta caliza café de la Formación Plaisance, especialmente el anticlinario de la Loma La Tasajera del Chivito, el cual sigue toda la cresta de la Sierra.



Los cortes seguidos aguas arriba, a lo largo del río Barreras, indican que la caliza eocénica está cabalgada sobre la caliza oligocénica, razón por la cual hay un amplio cinturón de brechamiento que permite la fácil y rápida captación de las aguas meteóricas y de las escasas corrientes superficiales, alimentándolas al acuífero para posteriormente descargarlas a través del gran sistema de manantiales situados a lo largo de la falla norte de la Cuenca de Enriquillo. Hay que destacar que en el proceso de captación, almacenamiento y distribución de las aguas que llegan al acuífero, los fenómenos cársticos desarrollados sobre estas calizas, también han jugado un papel de primer orden.

La presencia de capas y nódulos de pedernal es muy común dentro de esta Formación, pero menos común que en los mantos de la caliza litográfica de la Formación Neiba.

En su trabajo, Bermúdez (1949), estableció que *Dietyoconus americanus*, *D. guntery*, *Gunteria floridiana*, *Fabiana cubensis* y otros microfósiles eran característicos de esta formación.

En los últimos años J. M. Villá ha encontrado algas *Melobesées*, *Globiegerinas*, *Dissocyclinas* y *Amphisteginas*, con los que reubicó a Plaisance en el Eoceno Inferior-Medio.

Las características geológicas de estas calizas son muy favorables para el flujo de aguas subterráneas, ya que en los planos de fallas situados al sur de sus afloramientos, es donde mayor descarga de aguas se manifiesta a través de extraordinarios manantiales como los de Las Barías y Boca de Cachón.

El espesor estimado para esta formación oscila entre 600 y 700 metros.

CALIZA ACEITILLAR (Eoceno Medio)

Este nombre fue utilizado por nosotros de manera informal para describir ciertas calizas blancas, ligeramente margosas y ricas en especies faunísticas, que afloran en los alrededores de los depósitos de bauxita de El Aceitillar, en la Sierra de Bahoruco.

Esta misma caliza, considerada como una facies superior de la Formación Plaisance, fue encontrada en la vertiente noroccidental de la Sierra de Neiba, al realizar la travesía Elías Piña - Hondo Valle. Aquí hallamos que desde Las Lagunas (820 m.s.n.m.) hasta El Pinalito (1,300 m.s.n.m.) aflora una caliza porosa, blanca y de textura fanérica, clasificada como caliza nerítica fosilífera, conteniendo *Algas melobesiées* y *Sifonales*, *Euconuloides wellsi* (retrabajados), Orbitolinas, Millolas y *Heterodictyoconus Sp.* asignados al Eoceno Medio.

Estos afloramientos se extienden hasta Loma La Laguna y Loma el Barrero, al oeste de Asiento Miguel y El Cercado, donde está en contacto tectónico con la Formación Trinchera.

Al igual que en la Sierra de Bahoruco, los fenómenos cársticos están prácticamente ausentes dentro de esta caliza, del mismo modo que no se observan capas o nódulos de pedernal.

Creemos que el contacto inferior de esta caliza es concordante y gradual con la caliza café de la Formación Plaisance. El espesor calculado en esta sección en la Sierra de Neiba fue de 1,200 metros.

FORMACION NEIBA (Eoceno Medio-Superior)

La Formación Neiba está constituida por caliza litográfica fosilífera color crema, muy bien estratificada, de delgadas a gruesas capas que se asocian a finos estratos y nódulos de pedernal color café o rojizo.

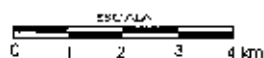
Esta caliza que fue originalmente descrita por Arlick (1941) en un reporte para la Dominican Seaboard Oil Company, Inc., está muy bien expuesta a lo largo de la carretera Neiba-Los Guineos, en las montañas al noroeste de Galván, en la carretera Los Pinos- Angel Félix, al igual que al sur de El Cercado, constituyendo un delgado cinturón que abarca la Loma El Cerro, Llano Los Platanitos, hasta el noroeste de Loma El Pozo.

Varias muestras observadas al microscopio indicaron la presencia de *Dictyoconus*, *Globigerinas*, *Radiolarios*, *Heterodictyoconus cooki* y *Algas melobesiées*, sugiriendo una edad Eoceno Medio-Superior.

El fuerte tectonismo que caracteriza el flanco sur de la Sierra de Neiba dificulta establecer una adecuada correlación estratigráfica entre Neiba, Sombreroito y Plaisance, sin embargo, en el flanco norte de esta Sierra, especialmente en el área sur de la carretera El Cercado-Hondo Valle, se observa que la caliza de la Formación Neiba está posicionada encima de la caliza café de la Formación Plaisance y debajo de la caliza margosa a cristalina de la Formación Sombreroito.

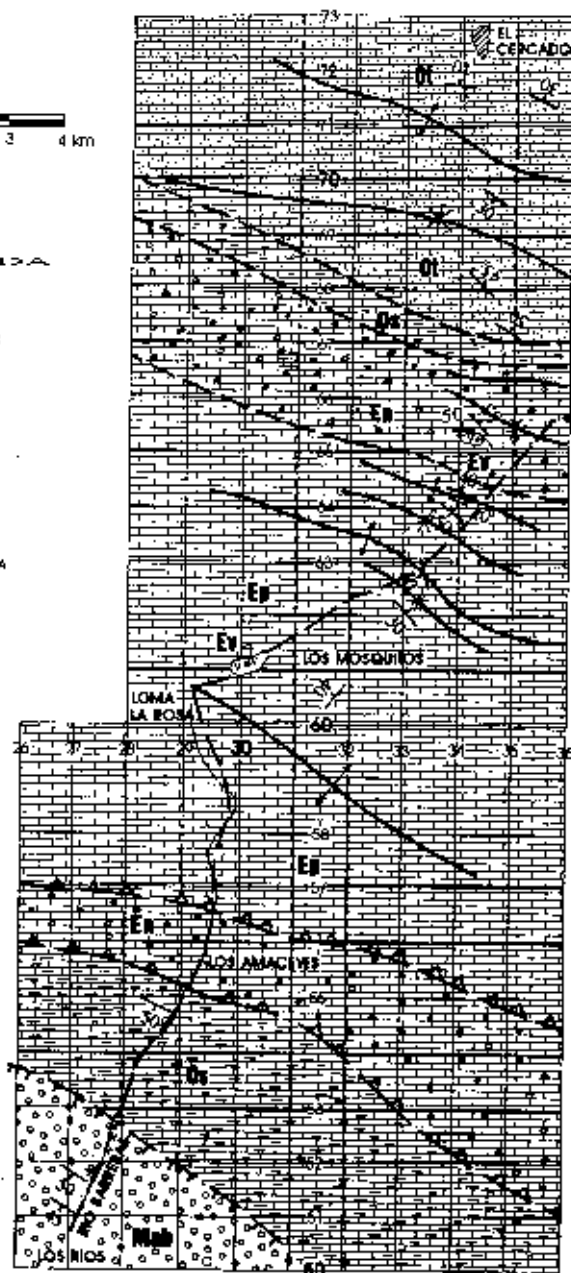
Es espesor estimado para esta formación varía entre 800 y 950 metros, aunque en algunas áreas del flanco norte de la Sierra puede ser ligeramente inferior.

TRAVESIA EL CERCADO LOS RIOS



LEYENDA

-  FORMACION ARROYO BLANCO
-  FORMACION TRINCHERA
-  FORMACION SOMBRERO
-  FORMACION NEIBA
-  COMPLEJO VOLCANICO
-  FORMACION FLAISANDE
-  EJE ENTOQUINA
-  EJE SINGLINA
-  CONTACTO GEOLOGICO
-  FALLA DE CABALGAMIENTO
-  FALLA NORMAL
-  RUMBO Y BUZAMIENTO



FORMACION SOMBRERITO

(Eoceno Superior-Oligoceno)

La Formación Sombrerito, una de las más extendidas en la Sierra de Neiba, fue originalmente descrita por el Dr. Olsson, en un reporte privado preparado para la Standar Oil Company of New Jersey en el año 1942.

Esta formación consta de calizas margosas, calizas cristalinas y calizas de tipo arrecifal, a veces intercaladas con capas delgadas de pedernal. Son de color variable entre blanco y crema, aunque la facies margosa, debido a la intercalación de capas de Shale, exhibe un color ligeramente amarillento.

La facies cristalina, por su parte, tiene una gran tendencia al desarrollo de cavidades de disolución cárstica, las que contribuyen grandemente al proceso de distribución de las aguas subterráneas que drenan principalmente hacia el flanco sur de esta Sierra.

Los principales afloramientos de la Formación Sombrerito se localizan en los flancos norte y sur de la Sierra de Neiba, así como en el extremo oriental de la misma, donde predomina la facies margosa caracterizada por la presencia de restos de sulfuros alterados.

La correlación estratigráfica entre estas calizas y las demás formaciones de la región, se aprecia claramente en el área sur de la carretera El Cercado-Hondo Valle, donde a medida que se asciende las montañas se encuentran afloramientos de las formaciones Trinchera, Sombrerito, Neiba y Plaisance. Esta secuencia gradual no se registra con igual regularidad en el flanco sur, ya que aquí el fuerte tectonismo generó cabalgamientos que dislocaron por completo la sección estratigráfica.

La microfauna característica de esta formación está integrada por *Lepidocyclinas*, *Globigerinas*, *Miogypsinas*, *Nodosaurias*, *Asterocyclina*, *Radiolarios*, etc., que sirven para dar un rango Eoceno Superior-Oligoceno, aunque con mayor inclinación hacia el Oligoceno.

El espesor aproximado para esta formación varía entre 800 y 1,500 metros, estando en posición subyacente con relación a la Formación Trinchera.

FORMACION TRINCHERA (Oligoceno Superior)

La Formación Trinchera fue descrita por Dohm cuando realizaba trabajos privados para la Standart Oil Company of New Jersey en 1942. Es una sección ligeramente clástica constituida por biocalcarentitas, Shales, limollitas y caliza algo arenosa que afloran en los sinclinales del flanco norte de la Sierra de Neiba, así como en el extremo oriental de dicha Sierra.

El color de las capas varía de amarillento en gris y la estratificación tiene una orientación general N 45° - 70° W siguiendo la dirección de los ejes anticlinales y sinclinales que caracterizan la región.

Los principales afloramientos pueden ser observados en las carreteras San Juan - Vallejuelo, La Matas de Farfán - El Cercado, El Cercado - El Azul, El Cercado - Derrumbadero, Hondo Valle- El Calimete, y Vallejuelo-Cabeza de Toro. En esta última ruta afloran capas de arenisca gris poco cementadas, pero muy bien estratificadas en dirección N 70° W, siguiendo un sinclinal de aproximadamente 40 kilómetros de largo.

De otro lado, los afloramientos localizados próximo a los contactos con la Formación Sombrerito presentan estratos de caliza ligeramente arenosa y algo amarillenta, lo que indica que Trinchera es una secuencia sedimentaria que va cambiando gradualmente, desde sedimentos fundamentalmente químicos en la base, hasta sedimentos fundamentalmente clásticos en el tope, sugiriendo un proceso relativamente rápido de sedimentación pulsatoria, llevado a cabo en aguas someras de ambientes inestables.

Los únicos afloramientos localizados en el flanco sur de la Sierra de Neiba, son los situados al noroeste de Galván, en una franja noroeste-sureste que se extiende desde Las Petacas hasta El Millo.

Muestras colectadas para la realización de determinaciones microfaunísticas, indicaron la presencia de *Globigerinas*, *Nummulitas*, *Nodosaurias*, *Algas melobesiées*, *Radiolarios*, *Lamelibranchios* y *Equinodermos*, los cuales fueron considerados insuficientes para datación. No obstante, Trinchera está posclonada inmediatamente encima de Sombrerito, por lo que ha sido ubicada en el Oligoceno Superior.

En el pozo exploratorio Charco Largo No. 1 realizado por Canadian Superior Oil Co. en el año 1981, el espesor cortado en la Formación Trinchera fue unos 460 metros.

La no existencia de afloramientos de la Formación Trinchera en la Sierra de Bahoruco, sugiere que el levantamiento del macizo de Neiba fue posterior al levantamiento del macizo de Bahoruco.

Desde el punto de vista hidrogeológico, Trinchera podría ser considerada como un acuífero pobre, ya que los interestratos de Shale le restan movilidad a las aguas que son captadas por las areniscas que integran el tope de la formación.

FORMACION ARROYO BLANCO

(Mioceno Superior)

Esta formación fue descrita por Dohm en un reporte privado para la Standard Oil Company en 1942 y está constituida por areniscas grises pobremente cementadas, interestratificadas con capas de shale blando a compacto de color amarillento a gris, conglomerados polimícticos rojizos, caliza arrecifal y capas de yeso verduoso, principalmente de la variedad selenita.

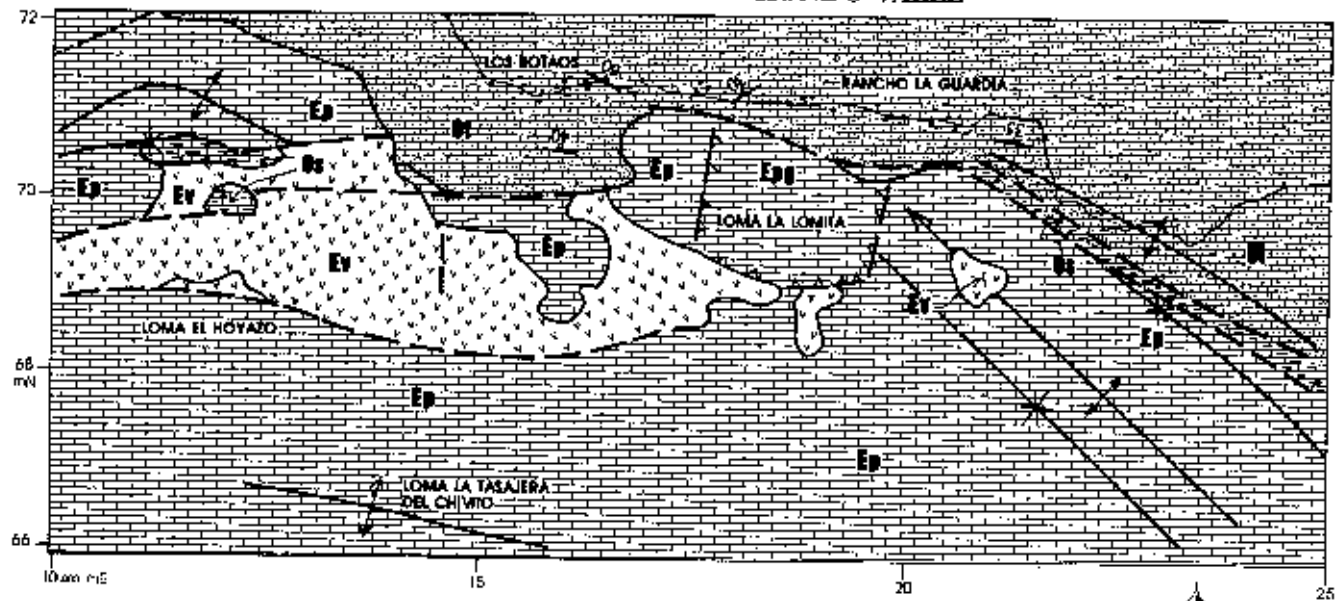
Los principales afloramientos se localizan en las márgenes del río Yaque del Sur, en la zona de Quita Coraza-Fondo Negro y en la zona Villarpando-Orégano Grande. La sección tipo fue definida a partir del arroyo Blanco, el cual nace en la Loma del Teniente, al este de Cabeza de Toro y alimenta el río Yaque del Sur en la zona de Orégano Grande.

Esta formación se compone de dos facies: una de aguas someras, constituida por areniscas calcáreas blandas, conglomerados y caliza coralina; la otra facies es típica de aguas más profundas, estando representada por gruesas capas de shale color gris, las que determinan que Arroyo Blanco sea un mal acuífero.

La distribución del yeso no es regular dentro de esta formación, pues se concentra en algunos lugares como La Meseta y Barranca, al norte de Vicente Noble; y en El Mameycito al este de Canoá. Estas capas de yeso se interpretan como el tope de la Formación Arroyo Blanco.

Aunque Biju-Duval y otros han identificado diversas especies de microfauna dentro de la Formación Arroyo Blanco, esta formación es rica en especies macrofaunísticas, al igual que las demás formaciones clásicas miocénicas existentes en la República Dominicana.

GEOLOGIA DEL AREA DE HONDO VALLE



LEYENDA

- | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| Fm. TRINCHERA | Fm. PLAINANCE RECRIST | FLE ANTICLINAL | FALLA INDEFERENCIADA |
| Fm. SOMBRERITO | COMPLEJO VOLCANICO | SIF SINCLINAL | RUMBO Y BUZAMIENTO 35 |
| | | FALLA DE EMPUJE | CONTACTO GEOLOGICO |



ESCALA



El contacto con la Formación Sombrerito es de tipo tectónico, definido por una falla normal que corta el flanco sur de la Sierra próximo al Valle de Neiba.

El espesor aproximado de la Formación Arroyo Blanco es de 700 a 850 metros y su edad es considerada como Mioceno Superior- Plioceno.

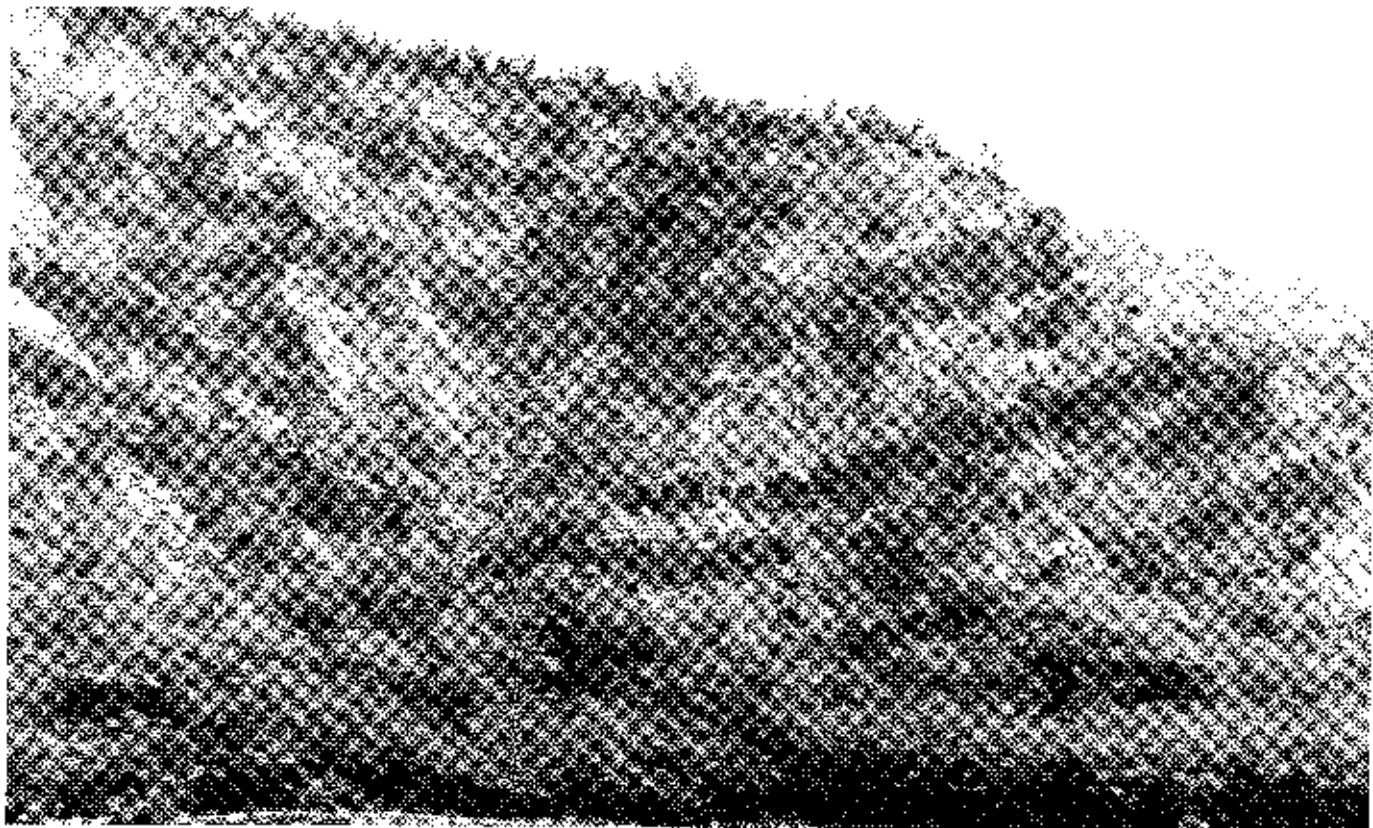
TECTONICA

El flanco sur de la Sierra de Neiba está caracterizado por un amplio proceso de fallamiento que ha fragmentado grandes extensiones de los depósitos calizos allí aflorantes.

El límite entre la Sierra de Neiba y el Valle de Neiba está definido por una falla normal que junto a la falla normal del talud norte de la Sierra de Bahoruco, han provocado el graben de Enriquillo, el cual se ha hundido unos 5,000 metros aproximadamente.

Aunque muchos autores han clasificado esta falla como falla inversa, nuestras investigaciones de campo a lo largo de la carretera Galván-Neiba- La Descubierta-Boca Cachón- Las Lajas, nos indican que ésta es una falla normal de gran ángulo, cuyos rasgos disminuyen hacia la zona oriental de Galván. Del mismo modo, la interpretación de algunas de las líneas de prospección sísmica realizadas por Canadian Superior Oil Company (1980), indica claramente que ésta es una falla normal y no una falla inversa.

De otro lado, desde el área norte de La Descubierta hasta el área norte de Neiba, pasando por Guayabal, corre una falla de cabalgamiento que superpone calizas eocénicas de Neiba y Plaisance sobre calizas oligocénicas de Sombrerito. La existencia de trazas de corrimientos entre el eje de esta falla y el eje de la falla normal que separa la Sierra de Neiba del Valle de Neiba, es lo que ha inducido a algunos investigadores a considerar la falla normal como una falla inversa.



Sinclinal del Cerro de los Pasitos en sedimentos de la Formación Arroyo Blanco.

Otras fallas de cabalgamiento, pero de menor magnitud, son las que definen algunos de los contactos entre los afloramientos del complejo volcánico de Los Guineos y Hondo Valle, y las calizas eocénicas vecinas. Todo el cinturón calizo existente entre La Descubierta y Neiba, ha sido sometido a un intenso proceso de facturamiento, el cual, en gran medida, ha contribuido a mejorar las características acuíferas de la zona, las que principalmente se manifiestan a través de los grandes manantiales de Las Barías y Boca de Cachón, donde el volumen emergente a través de la gran falla normal del talud sur de la sierra supera los 15,000 metros cúbicos por hora, contribuyendo a mantener el nivel de las aguas del Lago Enriquillo, que tienen un área de aproximadamente 287 kilómetros cuadrados.

El río Barreras, al norte de Los Ríos, y la cañada El Mión, al norte de Postrer Río, siguen cursos de fallas perpendiculares al patrón tectónico regional, contribuyendo junto a los fenómenos cársticos del área, a que las corrientes sean intermitentes, desapareciendo en algunos lugares y reapareciendo aguas abajo.

Aunque el límite norte de la Sierra de Neiba también está cortado por fallas normales, aquí los procesos tectónicos no han tenido la magnitud del flanco sur, por lo que no hay el mismo grado de fracturamiento en las calizas que allí afloran, pero si hay un mayor grado de plegamientos manifestados a través de múltiples anticlinales y sinclinales, observándose que la mayoría de los sinclinales corren a lo largo de los sedimentos clásticos de la Formación Trinchera, mientras que los principales anticlinales siguen afloramientos de las calizas eocénicas de la Formación Plaisance.



Anticlinal El Puertecito al sur de Las Matas de Farfán.

REFERENCIAS

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Región Suroeste. Museo Nacional de Historia Natural, 1983.

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Geología de la Sierra de Bahoruco. Museo Nacional de Historia Natural, 1983.

VILA, JEAN M. Interpretaciones microfaunísticas de algunas secciones delgadas (notas personales a través de la D.G.M.).

POSIBILIDADES PETROLERAS DE LAS CUENCAS DE AZUA Y ENRIQUILLO

Conferencia dictada en el CODIA dentro del programa del Seminario Energía '85 Celebrado en Santo Domingo, del 13 al 15 de marzo de 1985

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

ANTECEDENTES

CUENCA DE AZUA

Las exploraciones petrolíferas en la República Dominicana datan del año 1905, cuando la Compañía Lancaster & Kreider perforó seis pozos en la Sección Higüerito, de Azua, con profundidades oscilante entre 900 pies y 1,300 pies. El primero de estos pozos encontró petróleo al alcanzar los 900 pies de profundidad, llegando a producir de 200 a 12 barriles diarios hasta disminuir la presión y abandonarse el pozo. La segunda, tercera y quinta perforaciones aportaron indicios de gas y petróleo, mientras que el cuarto y el sexto pozos fueron abandonados sin haber dado indicios de petróleo.

En el período 1920-1922, la Compañía de Inversiones Santo Domingo, subsidiaria de la Compañía Petrolera Inter-Oceánica perforó tres pozos en las proximidades del pozo Higüerito 1, el primero de los cuales (7º en el área) produjo tres barriles diarios entre 570 y 576 pies, mientras los dos restantes sólo revelaron indicios.

En el 1927, la Compañía Antillana perforó el décimo pozo de Higüerito, encontrándose sólo débiles indicios y trazas a lo largo de la perforación. Para el año de 1939, la Compañía Petrolera Dominicana perforó el pozo Maleno I a unos 9.7 kilómetros al noroeste de Azua, produciendo unos 200 barriles diarios entre los 370 y 475 pies, llegando a producir un total de 13,000 barriles. En la actualidad este pozo produce muchos barriles sin presión y mezclados con agua salada.

Del 1943 al 1946 la misma Compañía Petrolera Dominicana perforó ocho pozos en el área, todos con resultados negativos, mientras que del 1957 al 1958 la Compañía Petrolera Azuana perforó seis pozos en Higüerito y Maleno, encontrándose gas y petróleo en por lo menos dos de ellos.

Del 1959 al 1960, la Compañía Petrolera Dominicana perforó once pozos tratando de atravesar varias estructuras anticlinales, registrándose gas y petróleo en uno de ellos, principalmente al cortar las calizas de la Formación Sombrerito, desconociéndose los resultados de nueve pozos.

En el período 1969-1970, la Empresa Dyna-Ray Recursos Internacionales-Gas y Petróleo Dominicano perforó siete pozos en el área Higüerito y Maleno encontrándose gas y petróleo en los primeros cinco pozos que alcanzaron las calizas oligocénicas de la Formación Sombrerito. Estos pozos oscilaron entre 2,502 y 6,011 pies de profundidad.

Analizada la historia de la Cuenca de Azua, especialmente el área de Higüerito y Maleno, vemos que de 33 pozos conocidos, 16 revelaron presencia de gas y petróleo y dos produjeron cantidades significativas del hidrocarburo en cuestión;


estableciéndose que la producción total de los pozos Higüerito I y Maleno I osciló entre 40,000 y 50,000 barriles de petróleo, que si bien no es una producción comercial, es lo bastante significativa como para estimular nuevas investigaciones.

CUENCA DE ENRIQUILLO

La Cuenca de Enriquillo o Valle de Neiba, aunque ha sido menos estudiada por métodos directos, hoy día es mejor conocida que la Cuenca de Azua, por lo menos desde el punto de vista estratigráfico.

Apenas cinco pozos han sido perforados en esta cuenca, el primero de los cuales, Mella I, localizado entre el lago Enriquillo y la laguna del Rincón, fue realizado en el 1946 por la Dominican Seaboard Oil Company, Inc. penetrando las areniscas de baja porosidad de la Formación Las Salinas hasta alcanzar los 8,759 pies de profundidad. En el período 1960-1961 la Petrolera Dominicana perforó el pozo Palo Alto I en las cercanías de la sección Palo Alto, las muestras no presentaron porosidad y el pozo tuvo que ser abandonado a los 6,568 pies, luego de atravesar las margas y calizas margosas de la Formación Sombrerito, así como parte de la caliza pedernalosa de la Formación Neiba.

También en el 1961 la misma compañía petrolera perforó el pozo Mella II a unos 2.5 kilómetros del pozo Mella I, encontrándose, a partir de los 10,700 pies, sólo yeso, sal y shale de la Formación Angostura, aunque tuvo que ser abandonado a los 10,900 pies, para trasladarse al banco oeste del lago Enriquillo donde se perforó el pozo Cabritos I, único en el área que reveló muestras de hidrocarburos al penetrar las calizas de la Formación Sombrerito. Este pozo fue abandonado a los 6,402 pies debido a problemas de tuberías.



El último pozo perforado en la Cuenca de Enriquillo fue el ampliamente conocido como Charco Largo I, realizado en el 1981 por la Canadian Superior Oil Company en el área de Mella. Este ha sido el pozo de mayor profundidad ejecutado en el país, alcanzando cerca de 15,300 pies y atravesando las formaciones Salinas, Angostura, Trinchera/Lemba y parte de la Formación Sombrerito sin que se obtuvieran muestras de hidrocarburos (ver Norconsult, 1984) contrarlo a lo anunciado públicamente.

AREAS PROSPECTIVAS

Para definir dentro de límites más o menos aceptables las áreas más prospectivas de las Cuencas de Azua y Enriquillo, es necesario correlacionar los aspectos litológico-estructurales con los resultados de las perforaciones realizadas hasta el presente, añadiendo a todo esto los efectos de la tectónica regional, la cual sigue generando múltiples controversias.

El uso de métodos sísmicos, gravimétricos y magnetométricos en la Cuenca de Enriquillo ha permitido descubrir cuatro estructuras prospectivas bajo la gruesa capa de sedimentos recientes; las que han sido definidas como estructura de Mella, estructura de Palo Alto, estructura de Cabritos y estructura de Vicente Noble.

La estructura de Mella es la mejor conocida de todas, definiéndose como un anticlinal fallado producto de cabalgamiento e hiperactividad salina que han deformado toda la secuencia sedimentaria. Esta estructura ha sido alcanzada por los pozos Mella I y Mella II, y atravesada por el pozo Charco Largo I, el cual, aunque es el más profundo que se haya realizado hasta el momento, sólo perforó unos 15,300 pies de los aproximadamente 25,000 pies que se le estiman a la secuencia sedimentaria de la cuenca.

No obstante, las esperanzas de encontrar petróleo en esta área han disminuído luego de haberse tocado las calizas arenosas y margosas de las formaciones Trinchera y Sombrerito, sin detectarse indicios de hidrocarburos.

La estructura de Palo Alto, es otro gran anticlinal localizado en el extremo oriental de la Cuenca de Enriquillo, la cual fue tocada por el pozo Palo Alto I, aunque a 9 kilómetros fuera de su eje, lo que permite establecer que este pozo fue mal ubicado. Ningún indicio de petróleo fue obtenido a lo largo de los 6,568 pies perforados, pero esta estructura no puede ser definitivamente condenada ya que es poco lo que se conoce de ella.

La estructura de Cabritos es al parecer la estructura más prometedora de la Cuenca de Enriquillo. Ello así porque en ella convergen una serie de factores que hacen verla como altamente potencial desde el punto de vista hidrocarburífero. A saber:

1º) Es la única estructura del área que ha indicado muestras de petróleo al llegar a las calizas de la Formación Sombrerito.

2º) Hay fuertes manifestaciones superficiales de gas en el área noroeste de la estructura, específicamente en el tramo Boca de Cachón-Jimani.

3º) Es el área más estrecha de la cuenca, donde se ponen de manifiesto los bloques hundidos producto de las fallas normales que delimitan el valle; pudiendo ser estas fallas las vías ideales para el desplazamiento de hidrocarburos desde el nivel de mayor presión hasta uno de menor presión.

4º) Las calizas margosas de la Formación Sombrerito, están cubiertas por apenas 1500 pies de sedimentos clásticos calcáreos correspondientes a una facies de la

Formación Arroyo Blanco, lo que a diferencia de otras partes de la cuenca, requerirá pozos menos profundos para alcanzar las calizas litográficas de Neiba y Plaisance.

Contrario a lo establecido por algunas compañías petroleras, los sedimentos de las formaciones Salinas y Angostura no subyacen en la porción occidental de la Cuenca de Enriquillo, específicamente en el extremo oeste del lago Enriquillo, ya que los sedimentos que sobreyacen la Formación Sombrerito, corresponden a una facies de alta energía de la Formación Arroyo Blanco.

La estructura de Vicente Noble es un anticlinal fallado que subyace los sedimentos del flanco norte de la Cuenca de Enriquillo, siendo posiblemente un evento asociado al anticlinal de Martín García. Los trabajos sísmicos desarrollados en esta área han identificado tentativamente el tope de la Formación Sombrerito, la cual ha demostrado ser un potencial receptor de hidrocarburos, por lo menos en la porción occidental del lago Enriquillo y en la Cuenca de Azua.

El hecho de ser un anticlinal fallado situado justamente en el borde nororiental de la Cuenca de Enriquillo, hace verle como un importante prospecto, aunque hasta la fecha ninguna empresa petrolera ha decidido perforar en ella.

De ahí que podríamos establecer que las dos estructuras con mejores características prospectivas en la Cuenca de Enriquillo son la estructura de Cabritos y la estructura de Vicente Noble.

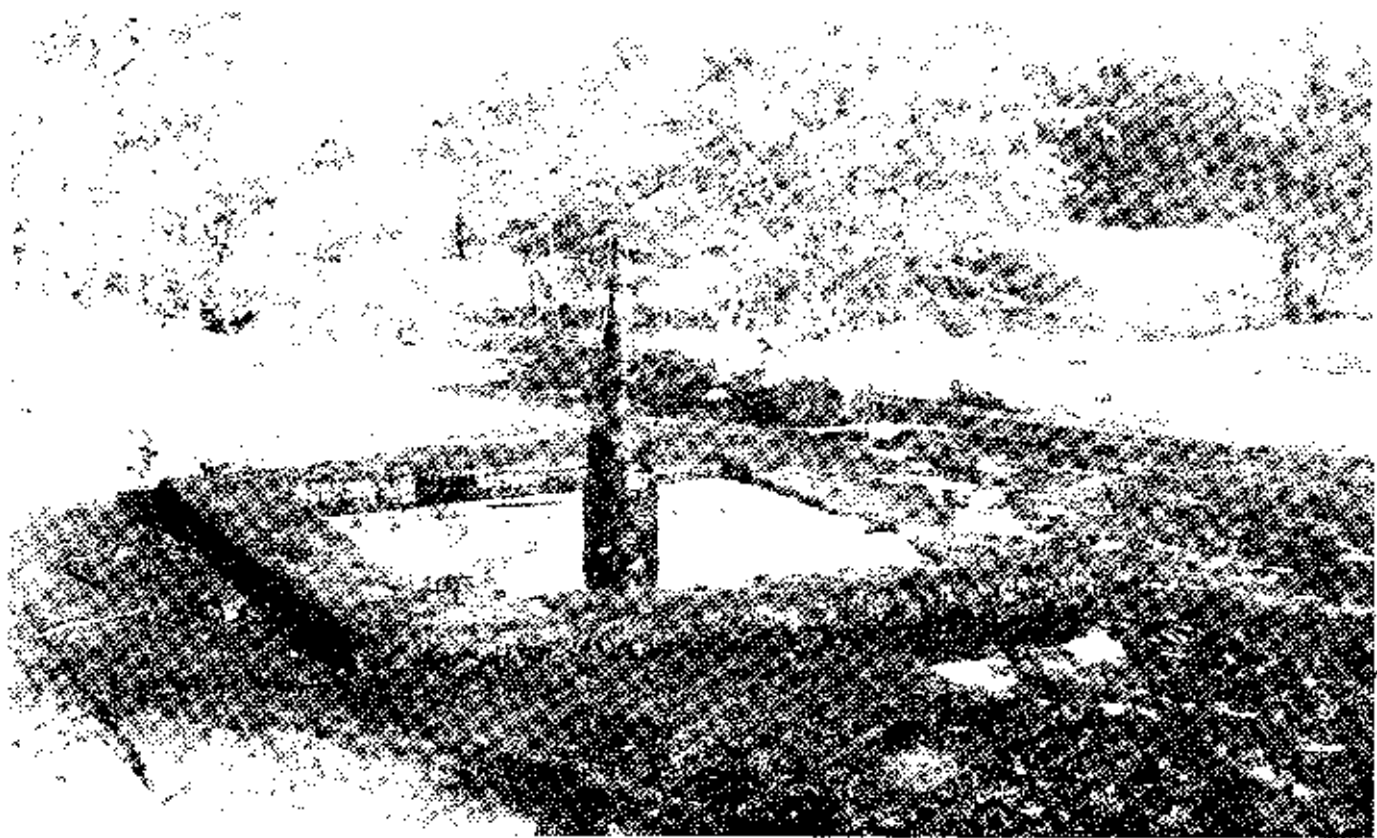
La Cuenca de Azua, por otra parte, se caracteriza por un gran número de estructuras anticlinales, la mayoría de las cuales han sido identificadas por levantamientos geofísicos previos y reconocimientos geológicos superficiales que han permitido la posterior perforación de unos 40 pozos exploratorios, especialmente en el

área de Higüerito y Maleno. Tales trabajos confirman que los sedimentos calcáreos de las formaciones Trinchera y Sombrerito, que como ya se ha observado son las más altamente potenciales desde el punto de vista petrolífero, se encuentran próximo a la superficie, subyaciendo las areniscas y conglomerados de la Formación Miocénica Arroyo Blanco, principalmente en las márgenes de la cuenca.

El hecho de que de los 40 pozos exploratorios realizados en la Cuenca de Azua, 16 hayan revelado muestras de hidrocarburos, 2 hayan producido cantidades considerables y 15 hayan sido abandonados por razones mecánicas o ausencia de gas o petróleo (exceptuando 7 de los cuales no se posee información alguna) nos obliga a considerar esta cuenca, especialmente en las estructuras de Higüerito y Maleno como la más prometedora de todas; ya que los 40,000 a 50,000 barriles producidos entre Higüerito I (1905) y Maleno I (1939) no permiten que el área pase desapercibida.

La experiencia obtenida a través de trabajos de exploración iniciados 80 años atrás, establece que todas las muestras de gas y petróleo sólo fueron obtenidas al cortar las calizas y shales de las formaciones Trinchera y Sombrerito, aunque esta experiencia no se restringe sólo a la Cuenca de Azua, ya que el pozo Quita Coraza I, localizado unos kilómetros fuera de los linderos occidentales de la cuenca, dió muestras de hidrocarburos al atravesar las formaciones en cuestión.

Las pequeñas acumulaciones de hidrocarburos dentro de estas formaciones pueden explicarse como reducidos flujos que han ascendido hasta allí aprovechando un amplio sistema de fallas que ha puesto en comunicación el depósito hidrocarbúfero principal y los sedimentos calcáreos que subyacen la cuenca. Para explicar ésto es necesario analizar la tectónica regional.

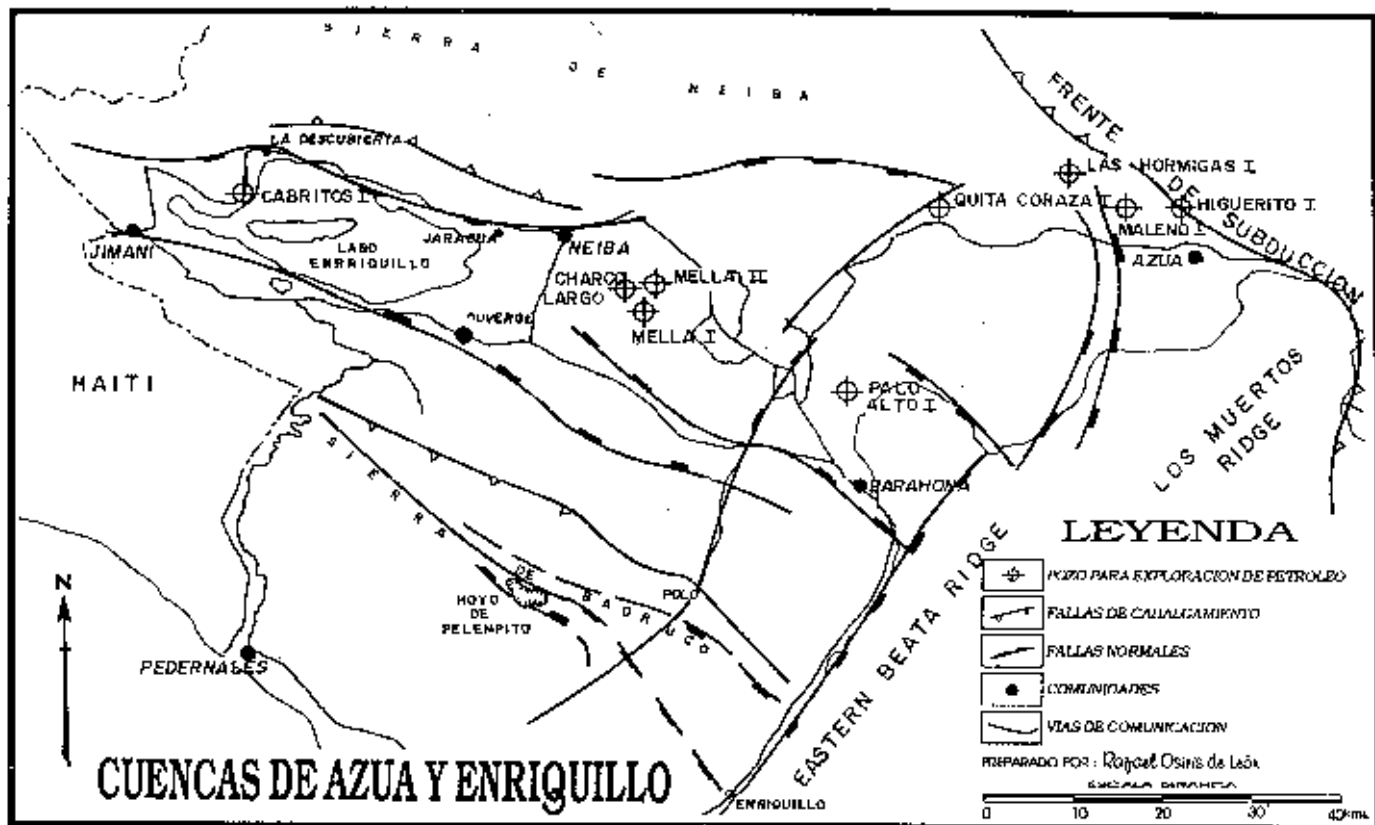


Vista actual del pozo Maleno I al noroeste de Azua.

Desde el punto de vista tectónico, la zona de Azua es la zona de convergencia de las dos características geotectónicas más importantes de la porción suroccidental de la Hispaniola: La Eastern Beata Ridge Fault y Los Muertos Ridge. Recientes investigaciones sísmicas desarrolladas en la zona registran dos prominentes fallas normales con tendencia norte-sur que representan una extensión de la Eastern Beata Ridge Fault, la cual podría ser la responsable de los levantamientos de los terrenos de Azua, levantamientos estos que cambiaron el curso del río Yaque del Sur; habiéndose considerado además, que el área de Azua es parte de la extensión tierra adentro del complejo de subducción denominado Los Muertos Ridge y que por tanto, la elevación del área tiene su origen en empujes tectónicos contra los flancos de este complejo, aunque no hay evidencias sísmicas de tectónica compresional.

La explicación anterior aparenta un poco complicada para quienes no tienen muchos conocimientos sobre tectónica de placas, sin embargo, lo que queremos explicar es la correlación existente entre las manifestaciones de hidrocarburos en el área y la convergencia de los dos eventos tectónicos más importantes, ya que se ha comprobado que los pozos perforados próximo a importantes fallas son los que han indicado mayor proporción de hidrocarburos. De ahí que se establezca que sean los efectos de estos fenómenos los que hayan facilitado la fluencia de hidrocarburos desde el depósito principal hasta los sedimentos de las formaciones Trinchera y Sombrerito, logrando impregnarlos parcialmente, a veces hasta formar bolsones que posteriormente fueron interceptados por algunos de los pozos perforados en los diferentes programas de exploración.

Algunos investigadores consideran que la extensión tierra adentro de la Eastern Beata Ridge Fault, a través



del flanco occidental de la estructura de Maleno, podría ser prospectiva, ya que se cree que ésta es una acumulación de petróleo estructuralmente controlada por la zona de falla localizada al oeste.

Además, es necesario considerar que si el límite nororiental de la Cuenca de Azua es realmente un frente de subducción, parte del petróleo habría que buscarlo en el área noreste de Higüerito y no donde hasta la fecha se ha buscado, pero si este límite no corresponde a un frente de subducción sería necesario realizar perforaciones profundas que alcancen las formaciones Neiba y Plaisance.

En resumen; las áreas con mayores posibilidades petrolíferas dentro de las Cuencas de Azua y Enriquillo son:

- 1º) Zona de Higüerito - Maleno
- 2º) Zona de Cabritos
- 3º) Zona de Vicente Noble - Quita Coraza

En la actualidad, la Dirección General de Minería ejecuta un amplio programa de exploración en la Cuenca de Azua, encaminado principalmente a definir, con más claridad, el comportamiento estratigráfico de la misma mediante una serie de perforaciones someras que en su primera etapa llegarán a un total de 20 pozos. Para la ejecución de estos trabajos, la Dirección General de Minería cuenta con el respaldo técnico de la empresa minera Carbones Sánchez, S.A.

Una vez concluido este programa, y dada su gran magnitud, La República Dominicana conocerá cuál es realmente el potencial petrolífero de la Cuenca de Azua; esperándose que, vistos los antecedentes, Azua sea la esperada solución al problema energético nacional.

REFERENCIAS

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Región Suroeste. Santo Domingo, R.D. Museo Nacional de Historia Natural. 1983. Publicación Especial No.4.

ELLIS, GERALD M. Historia de la Exploración Petrolera en República Dominicana. Boletín Informativo Dirección General de Minería. Vol. 1 - No. 4. Agosto 1980.

LLINAS C., ROMEO. Geología del Area Polo - Duvergé. Cuenca de Enriquillo. UNAM. México, 1971. Tesis.

NORCONSULT. Dominican Republic Petroleum Exploration Appraisal. 1984.

Santo Domingo, D.N.
24 de noviembre de 1991

Señor:
Carlos T. Martínez
Creador del Programa Generalidades
Onda musical
Ciudad.

Muy distinguido Señor Don Carlos:

El móvil de esta misiva, es porque oigo todos los domingos su escuchado programa, GENERALIDADES, en el que siempre se toca algún tema interesante, como el referido por el Ingeniero Osiris de León, respecto al PETROLEO en nuestro suelo dominicano.

Sus declaraciones, que aunque el Ingeniero las hizo con bastante veracidad, yo me voy a atrever a darle estos datos, que tal vez por razones de edad usted desconoce.

Yo desde muy niño , oía hablar de la existencia del PETROLEO en los sectores que él citó. Como mis viejos eran oriundos de la ciudad de Azua, algunas veces, cuando la intervención norteamericana en 1916, allí montaron un campamento, y se escuchaban silbidos, salidos de donde estaban las manchas del petróleo, y los militares yanquis, temiendo un desprendimiento, llenos de temor, salieron huyendo de allí.

Ya en los años 1937-38 en la pre-guerra hitleriana, (esto lo ví yo), aquí apareció una compañía petrolera para explotar esos yacimientos, LA DOMINICAN SEABOARD, y se gastaron algunos milloncitos de dólares en maquinarias. Esa compañía todavía en los años 40 operaba, en eso comenzó la guerra, y de aquello, no se habló más.

De aquellos años a esta fecha, han aparecido otras compañías "dizque buscando petróleo en nuestro suelo", unos que en Sánchez, otros que en San Pedro de Macorís y en Nelba, y el otro día pusieron a Antonio Guzmán a decir que en Charco Largo en Nelba existía petróleo en bruto, y todo se volvió una solemne mentira, que creó que por ese disparate fue que el pobre Don Antonio se pegó el tiro.

Con el petróleo aparecido en Higüerito y Maleno, desde el 1905 como El Ing. De León lo dijera, es donde creemos está la verdad, y cuando la Compañía DOMINICAN SEABOARD operó de 1937 al 1940 hubo una vez, que el chiguite pegó "al cielo", y las campanas de la Iglesia alborozaron al pueblito de la alegría, pensando que el petróleo sustituiría la alquitira, el cactus, y la guasábara, eliminando la miseria a ese infeliz pueblo.

Los trabajos en busca del petróleo, de momento se suspendieron, no sabemos porqué. Unos dijeron que Trujillo le hizo algunas exigencias a la compañía, y se dijeron otras cosas, pero ahora al escuchar al Ing. De León, que nos parece, **NO ES UN POLITIQUERO** cualquiera, sino un político muy bien inspirado en el bien, parece que si nos fajamos, vamos a tener petróleo barato y comida por tubos, porque la compra del petróleo a Venezuela, nos tiene obligados a carabina blanca. Y si logramos los ideales del Ingeniero Osiris de León, el cambio de este país será muy grande.

También escuché al Ing. De León hablar de la foresta, si lo que él ha dicho se llega a materializar, yo considero que nuestros bosques volverían a lo que fueron 60 años atrás.

Así escuché en el radio a campesinos de los lados de Nizao, Yubazo y Nigua, quejándose porque esos ríos se han quedado sin orillas. Existe un decreto prohibiendo la extracción de materiales, pero compañías poderosas siguen exterminando la existencia de esos ríos.

Señor Don Carlos T., como usted es comentarista, y tiene un programa para todo lo malo que se haga en perjuicio de la comunidad, quisiera que usted señalara que a las Compañías Constructoras les es muy fácil y barato ir a Baní en busca de esos materiales, y si los pobres campesinos de aquel sector se hundieren, eso no les importará a las compañías millonarias.

Pero vea ésto, cuando nos dirigimos a Barahona, acercándonos a Polo o Guanito, por allí se ven cerros de varios kilómetros de ARENA y GRAVILLA, (y creo no estar equivocado) esos campos lucen vírgenes, extraer materiales de allí, a las compañías les sería más costoso, pero no arruinaría al campesino de Nizao. Desconozco si ese material da el mismo resultado que el de los ríos Nizao, Yubazo, y Nigua.

Lo mismo ocurre con LA EXTRACCION de CALICHE, aquí después que pasamos el río Ocoa, en la carretera Sánchez, vemos una constelación de cerros de CALICHE. Una vez los politiqueros hablaron mucho de una FABRICA DE CEMENTO, y del traslado de la que está en la Máximo Gómez. Yo le sugerí al amigo Dr. abogado y periodista, Marino Ariza Hernández que dijera algo sobre ese proyecto, como instalar esa nueva FABRICA en aquellas inmediaciones, con la consiguiente ventaja de que por allí pasan las redes eléctricas, agua potable, y la materia prima a BOCA DE JARRO.

Pero como usted, señor Don Carlos T., conocerá mejor que yo, a estos politiqueros, que todo lo saben, Y TODO LO HARAN, (cuando sean gobierno) ya han pasado más de 5 años, y como reza aquel tango en tiempos de las VITROLAS, esperando, y esperando, y esperando se quedó.

Vea ésto con atención Señor Don Carlos T., yo soy una gota de agua en un mar desconocido, como nada tengo, nada valgo, pero vemos cosas que nos llenan de vergüenza; hacía varios años que no entraba al Palacio de Justicia de Ciudad Nueva, pero queriendo comprar

un formulario y un sello de Rentas Internas, me metí allí. Esa Estafeta es inoperante, allí nunca hay nada, y cuando ya estoy en El Lobby, me doy con todas las paredes llenas de afiches, abogados, algunos hasta con físico aparente de artistas de "televisión", de cines no, majareteando un puesto para presidente del Colegio de Abogados, bendito sea el Señor, ya hasta ahí hemos llegado? como si estuviéramos vendiendo NARANJAS DE CHINAS, y las agrias NO SE PAGAN.

Mi querido amigo Don Carlos T., todos estos datos saturados de humor, son para llevar a su conocimiento qué siempre escucho su programa GENERALIDADES, que Ud. produce en la ONDA MUSICAL. Sus temas son muy interesantes, y por haberme gustado mucho el de hoy, que tuvo como protagonista al Ing. Osiris De León, deseo reciba mis felicitaciones.

Mis saludos atentos de su fiel oyente

Fello Ramírez

Nota: Hasta la fecha no hemos tenido la oportunidad de conocer al Sr. Fello Ramírez, pero le agradecemos infinitamente la gentileza de su comunicación y los términos expuestos en la misma. (R.O.L.)

HIDROGEOLOGIA DE LA REPUBLICA DOMINICANA

Conferencia dictada en el Instituto Cultural Dominicano-Americano el 7 de octubre de 1986 dentro del "Taller Sobre el Atlas Hidrogeológico de las Islas del Caribe" organizado por la UNESCO y el Programa Hidrológico Internacional.(conferencia presentada a nombre de la Rep. Dominicana).

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

INTRODUCCION

La información aquí presentada, constituye un bosquejo general resumido de las principales características fisiográficas, geológicas e hidrogeológicas de la República Dominicana; preparado sobre las bases establecidas para la celebración del Primer Taller sobre el Atlas Hidrogeológico de las Islas del Caribe, el cual se celebra en nuestro país, bajo los auspicios de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO); el Programa Hidrológico Internacional (PHI) y el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI).

Toda esta información, sumada a los mapas geológicos e hidrogeológicos ya compilados, así como a las secciones transversales, inventario de pozos, registros litológicos, registros geofísicos y estadísticas pluviométricas e hidrométricas, constituyen el aporte dominicano a este magno evento multi insular, al cual asisten representantes de todas las islas del Caribe.

FISIOGRAFIA

La República Dominicana ocupa, en el lado oriental, las dos terceras partes de la Isla de Santo Domingo, la cual comparte con la República de Haití. La República Dominicana posee una extensión superficial de 48,291 Km², los que sumados a los 108 Km² de la Isla Saona y a los 43 Km² de la Isla Beata totaliza 48,442 Km².

El sistema orográfico dominicano está constituido por 8 conjuntos montañosos que cubren el 60% del territorio nacional, donde la elevación máxima está representada por el Pico Duarte (3,085 M.S.N.M). El restante 40% está cubierto por valles y planicies con la misma orientación noroeste-sureste de los sistemas montañosos, en una secuencia alterna de horsts y grabens.

La menor elevación se registra en el lago Enriquillo con unos 40 metros bajo el nivel medio del mar.

El mayor sistema montañoso lo representa la Cordillera Central con poco más de 11,000 Km², mientras que la mayor planicie lo es la Planicie Costera Oriental con 5,873 Km²; y en cuyo extremo occidental se localiza la ciudad de Santo Domingo, capital de la República Dominicana.

GEOLOGIA

Rocas volcánicas básicas (tobas, andesitas y basaltos) pertenecientes al cretácico e intruídas por rocas plutónicas ácidas a intermedias (granitos, tanalitas y dioritas) afloran en una amplia porción de las cordilleras Central y Septentrional. De igual modo, las rocas sedimentarias calcáreas del terciario, especialmente calizas, se extienden en el alto relieve de la Cordillera Septentrional y las sierras de Neiba, Bahoruco y Martín García, al igual que en las vertientes norte y sur de la Cordillera Central, los Haitises, la Planicie Costera Oriental y la Península Sur de Barahona, estableciéndose que ellas constituyen el 34% de la superficie nacional, al cubrir unos 16,500 Km².

Los sedimentos clásticos y las lutitas están limitados a una parte de la Cordillera Septentrional y a las vertientes norte y sur de la Cordillera Central. Mientras que los complejos metamórficos (esquistos, anfíbolitas y mármoles) sólo se encuentran en el cinturón norte de la Cordillera Central y en la Península de Samaná.

La historia geológica de la Isla Hispaniola se inicia hace alrededor de 150 millones de años, cuando los primeros macizos rocosos comenzaron a emerger del fondo oceánico. A partir de entonces la evolución tectónica ha sido bastante compleja, originándose unas 6 fallas normales principales, producto de los empujes hacia el noreste de la Placa del Caribe. Estas fallas NW-SE constituyen accidentes morfoTECTÓNICOS que definen los límites entre los valles y las cordilleras.



Caliza coralina característica del acuífero de la ciudad de Sto. Dgo.

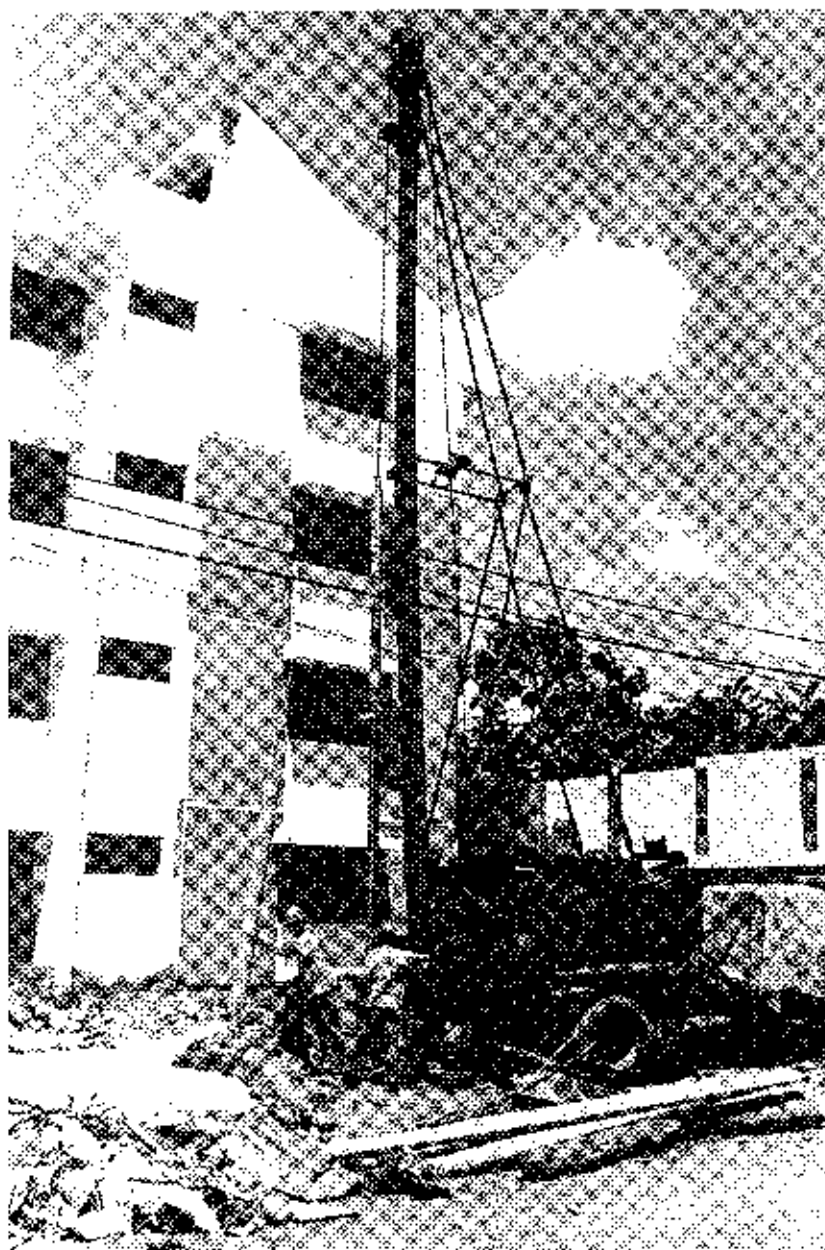
HIDROGEOLOGIA

Calizas, abanicos aluviales y depósitos aluviales recientes constituyen las rocas predominantes en los acuíferos de la República Dominicana. Estos acuíferos de límites establecidos y características hidráulicas en gran medida conocidas, poseen además, información respecto a niveles estáticos, sentidos de flujos, volúmenes de recargas y características hidroquímicas.

Los acuíferos predominantes están representados por calizas terciarias y cuaternarias que afloran en las sierras de Neiba, Bahoruco y Martín García (litográficas a cristalinas); Planicie costera oriental (arrecifales); región de los Haitises (cársticas) y Cordillera Septentrional, (cársticas y cristalinas) cubriendo unos 16,500 Km².

Los abanicos aluviales y depósitos aluviales constituyen excelentes acuíferos en los valles de Neiba, Azua, Baní, Haina, San Juan y Cibao, cubriendo unos 5,300 Km², equivalentes al 11% del territorio nacional. El mayor potencial de aguas subterráneas se localiza en aquellas márgenes de los valles que están en contacto con los taludes de las sierras.

Hay alrededor de 5,000 pozos a lo largo del país, de los cuales 3,500 ya han sido inventariados, encontrándose que la gran mayoría de ellos produce un flujo del orden de los 20 gal/min, y la máxima profundidad de perforación ha sido 200 m. Unos 1,750 pozos se concentran en las calizas arrecifales costeras y 1,500 en los depósitos aluviales. De éstos, 126 producen entre 400 y 800 gal/min y 155 producen más de 800 gal/min, con una producción máxima observada de 4,000 gal/min en la caliza arrecifal de la Planicie Costera Oriental y más de 2,000 gal/min en los sedimentos clásticos del valle de Neiba.



Perforación de un pozo doméstico en Santo Domingo.

Los espesores de los acuíferos varían desde unos 100 metros en los depósitos aluviales hasta 700 y 800 metros en las calizas terciarias de Nelba y Bahoruco.

Las mayores tasas medias anuales de recarga del agua subterránea se producen en las calizas cársticas de los Haitises (1000 - 1200 mm), calizas de Yásica (990 mm), rocas indiferenciadas del norte de Baní (900 - 1000 mm), vertiente norte de la Cordillera Central (900 mm), depósitos aluviales del norte de Santo Domingo (840 mm), calizas terciarias de la Sierra de Bahoruco (700-800 mm) y caliza arrecifal de la Planicie Costera Oriental (sin datos).

Todo lo anterior nos lleva a la conclusión de que las calizas terciarias reciben una recarga de $1,250 \times 10^6$ m³/año, las calizas arrecifales $1,080 \times 10^6$ m³/año, las calizas cársticas $1,040 \times 10^6$ m³/año y los depósitos aluviales 995×10^6 m³/año; concentrándose el mayor volumen en las cuatro principales zonas hidrogeológicas:

1. Planicie costera oriental.....	1060 mmc/año
2. Los Haitises.....	1000 mmc/año
3. Sierra de Bahoruco.....	700 mmc/año
4. Valle de Nelba.....	970 mmc/año
mmc = Millones de Metros Cúbicos	

Las restantes 10 zonas hidrogeológicas del país apenas reciben 1360 mmc/año en total.

El volumen de aguas subterráneas disponible para explotación ha sido estimado en 1400-1500 mmc/año, de los cuales unos 250 mmc/año están bajo explotación, principalmente en calizas costeras y aluviones, estableciéndose que los volúmenes disponibles para desarrollo son:



Acuífero artesiano cortado en un sondeo de investigación en Sto. Dgo.

1. Planicie Costera Oriental.....	350 mmc/año
2. Valle de Neiba.....	210-250 mmc/año
3. Sierra de Bahoruco.....	165-210 mmc/año
4. Los Haitises.....	100 mmc/año

En la actualidad, la ciudad capital, que es parte de la Planicie Costera Oriental, recibe unos $5.93 \text{ m}^3/\text{seg.}$ de los que el $61\% = 3.59 \text{ m}^3/\text{seg.}$ provienen de fuentes subterráneas vecinas, totalizando unos 85 mmc/año cantidad altamente significativa en comparación con las fuentes superficiales de abastecimiento.

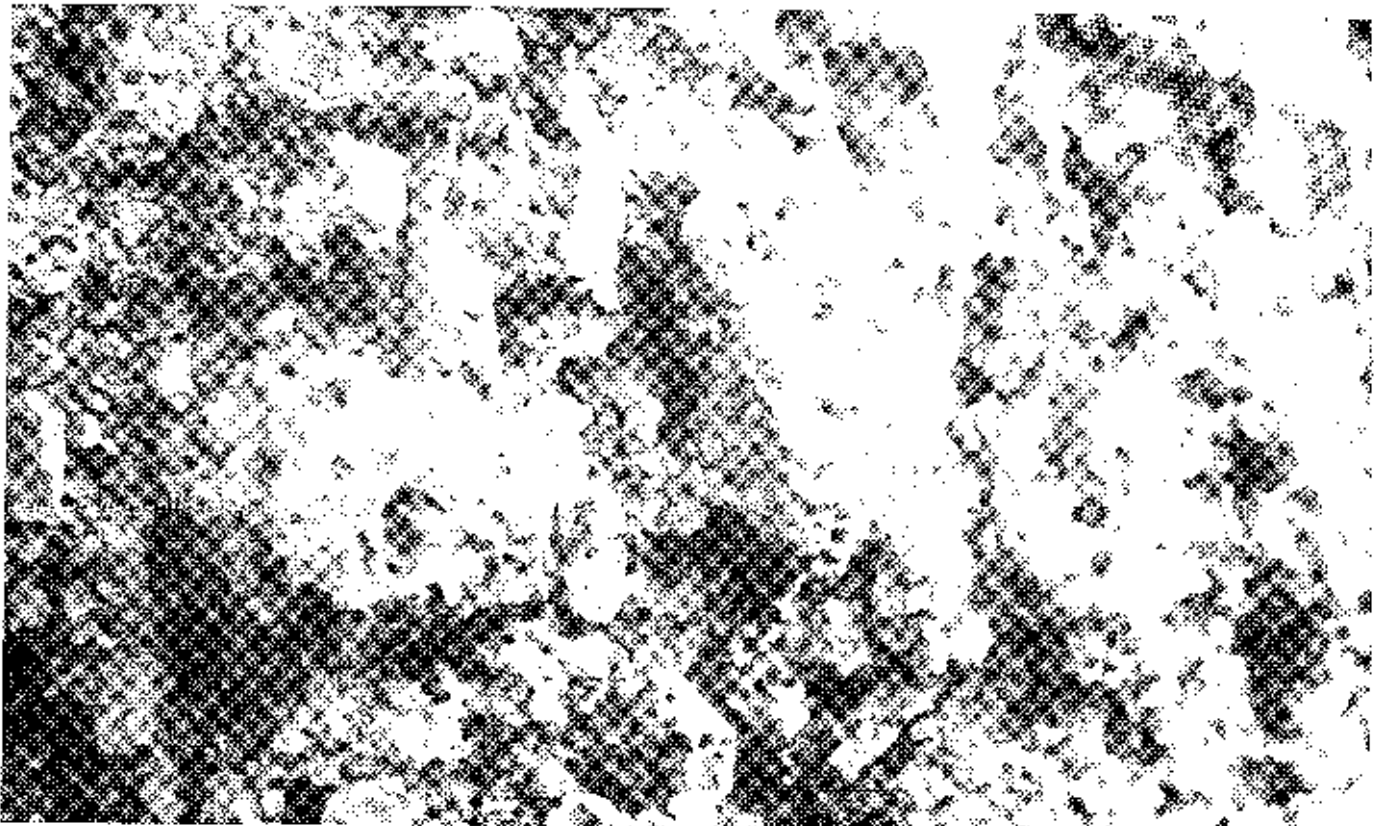
De ahí que nuestro país, y muy especialmente el Distrito Nacional, tendrá que enfatizar cada día más en la evaluación y explotación del potencial acuífero subterráneo como solución alterna de la creciente escasez de agua.

ISLA SAONA

La Isla Saona, con una precipitación media del orden de los 1,300 mm/año, exhibe una superficie caracterizada por la presencia de caliza arrecifal, extremadamente porosa y con cavidades rellenas por restos de corales y otros fósiles, que junto a la topografía relativamente plana constituyen las razones fundamentales de la ausencia de ríos y arroyos.

Hay tres pequeñas lagunas con aguas salobres, razón por la cual el agua para fines domésticos debe ser obtenida a partir de las lluvias o llevadas por barco hasta el poblado.

Las características hidrogeológicas aún no han sido ampliamente estudiadas, pero el acuífero predominante es la caliza arrecifal. Tres pozos fueron perforados, encontrándose caliza arrecifal con pequeños lentes de arena. El nivel de las aguas subterráneas varía de 0 a 3 metros bajo la superficie, con una salinidad del orden de los 625 ppm de cloruros.



Caliza arrecifal de la Planicie Costera Oriental.

ISLA BEATA

Superficialmente la Isla Beata está constituida por caliza arrecifal extremadamente porosa lo que produce la infiltración de las lluvias y consecuentemente la ausencia de ríos y arroyos.

Un hundimiento cárstico conteniendo agua salobre (607 ppm Cl) fue localizado dentro del área, aunque la existencia de pequeñas áreas cubiertas por una verde vegetación, podría sugerir la posibilidad de obtener reducidas cantidades de agua dulce por encima del agua salada.

Más información hidrogeológica deberá ser recabada en el futuro.



Conglomerado, areniscas y limolitas plegados en forma de nariz anticlinal buzante.

HIDROGEOLOGIA DE LAS CALIZAS DE REPUBLICA DOMINICANA

*Conferencia Presentada en el Primer Congreso Nacional de
Hidráulica, celebrado en el CODIA del 24 al 28
de junio de 1985, Sto. Dgo.*

INTRODUCCION

Las investigaciones geológicas desarrolladas en nuestro país en los últimos años nos permiten poner de manifiesto la presencia de grandes extensiones superficiales cubiertas por diferentes tipos de calizas, las cuales, en su gran mayoría, reúnen condiciones óptimas para los procesos de infiltración, almacenamiento y flujo subterráneo de las aguas meteóricas caídas sobre o próximo a ellas.

Cuatro regiones calcáreas, principalmente calizas, han sido tomadas en consideración para los fines del presente estudio, tratando de establecer, con la mayor claridad posible, los patrones de interacción entre las calizas y los flujos subterráneos, especialmente todo lo relativo a procesos de disolución cárstica que facilitan la captación e infiltración de las aguas hacia el acuífero y a fenómenos tectónico-estructurales que puedan aumentar las áreas de recarga al tiempo de controlar las orientaciones de tales flujos.

Un análisis general de los volúmenes de recarga, tanto para el flujo base como para el flujo subterráneo, se incluye junto a las características litológicas de cada región, tratando de presentar ligeras indicaciones sobre el quimismo de las aguas en cuestión.

REGION SUROESTE

SIERRA DE NEIBA

La Sierra de Neiba es una región montañosa que cubre alrededor de 2,500 Km² (en territorio dominicano), en donde predominan las rocas sedimentarias calcáreas, principalmente calizas que han permitido una morfología cárstica bien desarrollada, lo que facilita la infiltración de las aguas meteóricas, traduciéndose en escasez de corrientes superficiales importantes.

LITOLOGIA

Las principales formaciones calizas de la Sierra de Neiba son la Formación Plaisance, la Formación Neiba y la Formación Sombrerito.

Formación Plaisance. Esta formación fue originalmente descrita en el año 1921 por el Dr. T.W. Vaughan. Son calizas litográficas a cristalinas de color variable entre crema y café y muy bien estratificadas en delgadas y gruesas capas de hasta dos metros de espesor.

En muchos lugares esta caliza presenta capas y nódulos irregulares de pedernal, así como suturas sismográficas y manchas dendríticas originadas por concentración del óxido de manganeso.

Estas calizas afloran en una gran parte del eje central de la Sierra de Neiba, especialmente en la mitad occidental que corta la región fronteriza y se adentra en territorio haitiano.

La edad de la Formación Plaisance es Eoceno Inferior a Medio, estimándose su espesor en unos 700 metros.

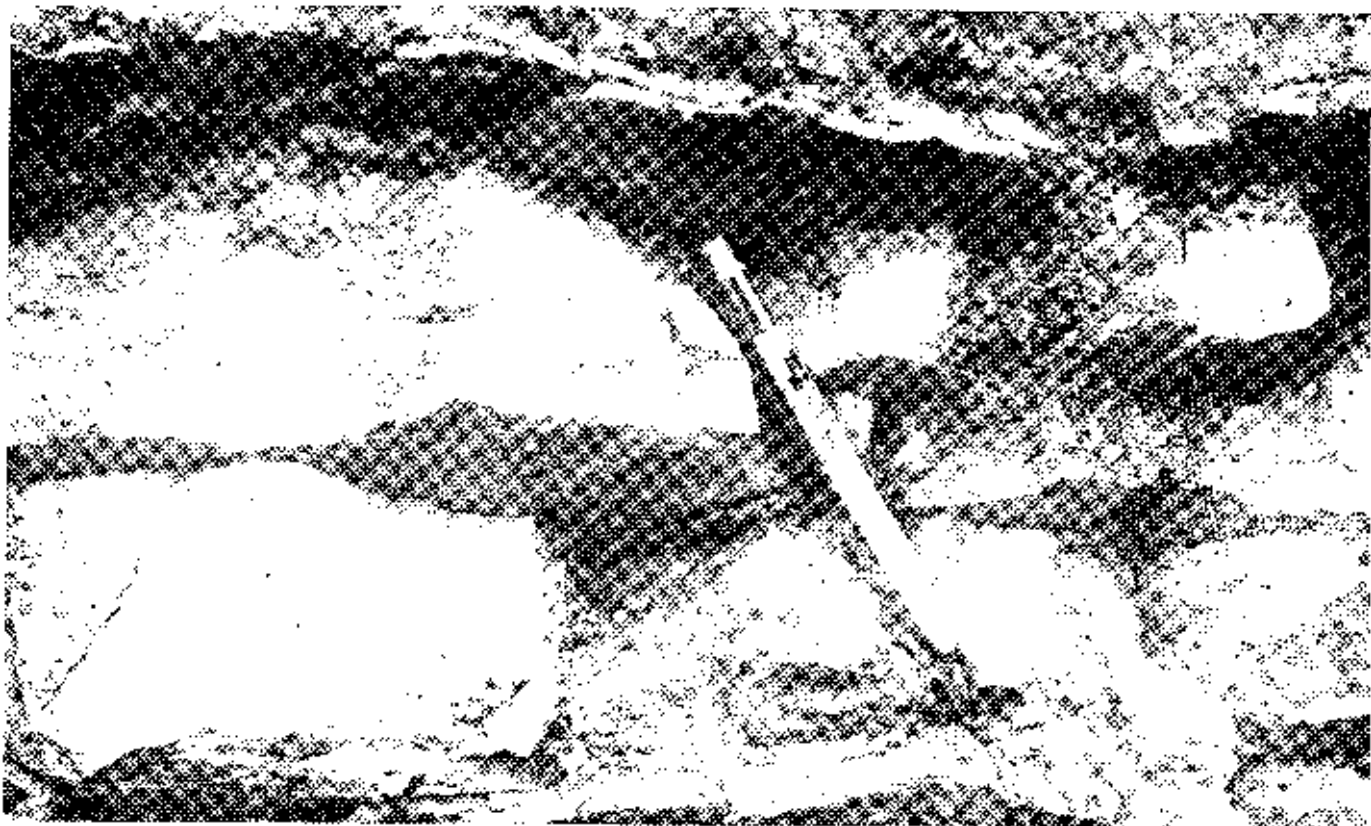
La captación y almacenamiento de aguas en el seno de estas calizas son favorecidos por el amplio proceso de fallamiento y brechamiento desarrollado en el área, los que a la vez controlan la orientación de una parte del volumen que fluye subsuperficialmente hacia los valles, ayudados naturalmente por las estructuras anticlinales y sinclinales.

Formación Neiba. La Formación Neiba, descrita en el 1941 por M.B. Arick es otra de las formaciones más extendidas en la Sierra de Neiba, estando constituida por una caliza litográfica color crema, de gruesas y delgadas capas que se asocian a estratos y nódulos de pedernal.

El espesor de las capas en algunos casos llega hasta los 50 centímetros. Esta caliza está depositada encima de la caliza Plaisance y sus principales afloramientos pueden ser observados en las carreteras Neiba-Los Guineos y Los Pinos -Angel Félix. El espesor aproximado de esta formación oscila entre 800 y 950 metros y su edad es Eoceno Medio.

La mayor parte de las aguas caídas sobre la Sierra de Neiba son absorbidas por estas calizas gracias a su amplio proceso de fragmentación y a su extensa morfología cárstica, especialmente en Los Bolos y El Maniel al norte de Guayabal. Estas aguas son conducidas hacia la Cuenca de Enriquillo a través de planos de fallas y cavidades de disolución cártica, aflorando gracias a la existencia del gran plano de falla que delimita el norte del valle de Neiba.

Formación Sombrerito. Este término fue aplicado en el año 1941 por el Dr. Olsson para definir estratos delgados de caliza cristalina, caliza margosa y caliza



Caliza estratificada de la Formación Neiba

arrecifal, asociados a capas de shale calcáreo. Aflora principalmente en los flancos norte y sur de la Sierra de Neiba, así como en el extremo nor-oriental de dicha Sierra.

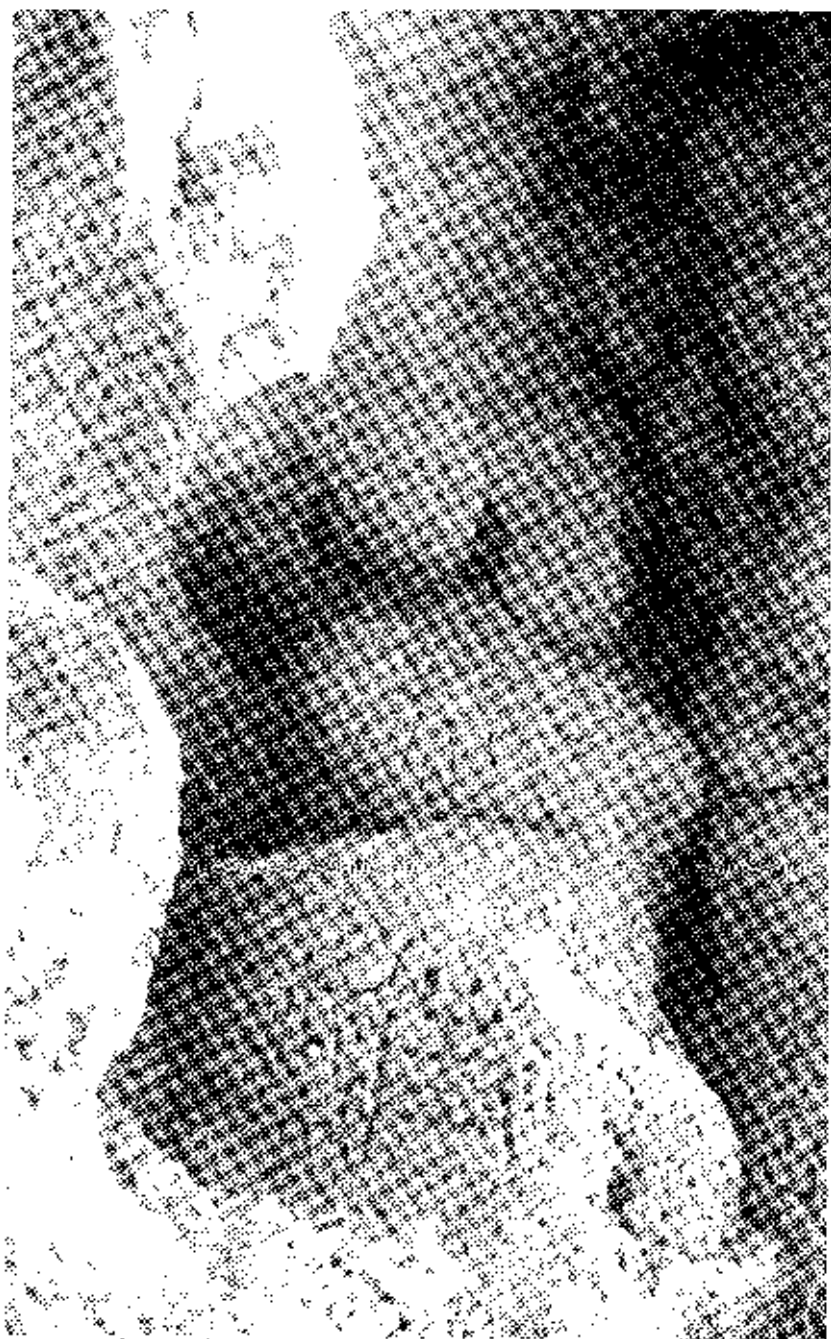
Las calizas de la Formación Sombrerito son de edad Eoceno Superior a Oligoceno, teniendo un espesor comprendido entre 800 y 1,500 metros. Al atravesar la Sierra de Neiba se le encuentra posicionada sobre la caliza de la Formación Neiba.

Por su intercalación con extensos estratos margosos, constituye una formación relativamente desfavorable a la captación y normal circulación de aguas subterráneas. Sin embargo, la presencia de fallas y cavidades de disolución, permite el flujo subterráneo a través de la facies margosa con igual o mayor facilidad que en la facies cristalina y en la facies arrecifal. La transmisibilidad medida en algunos pozos localizados sobre estas calizas está en el orden de 2,400-2,800 m²/día.

FLUJO SUBTERRANEO

El flujo de aguas subterráneas al sur de la divisoria de aguas es casi perpendicular a las principales líneas tectónicas y estructurales, debido, en gran medida, al desarrollo de fenómenos cársticos en las calizas de las formaciones Neiba y Sombrerito.

Estas aguas descargan principalmente a través de los grandes manantiales de Boca de Cachón, Jlmání, La Descubierta, Neiba y Galván, recargando considerablemente el acuífero del Valle de Neiba y compensando parcialmente el acelerado proceso de evaporación de las aguas del lago Enriquillo. La recarga en esta mitad de la sierra es de unos 1,900 mm/año con un volumen total de recarga igual a 460 millones de metros cúbicos anuales, estableciéndose que el área



Las caritas. Petroglifo indígena sobre calizas de la formación Sombrero en La Descubierta.

que drena hacia el lago Enriquillo recibe una recarga de aproximadamente 225 millones m^3 /año.

De toda el agua caída al sur de la divisoria, alrededor de 20,000 m^3 /hora descargan a través de manantiales, con un contenido de cloruros de 5-8 p.p.m. en los situados topográficamente más elevados y de hasta 120 p.p.m. de cloruros en algunos que afloran próximo al lago Enriquillo; aunque en general la gran mayoría de los manantiales de esta vertiente están por debajo de los 30 p.p.m. de Cl.

Al norte de la divisoria de aguas, el flujo subterráneo se orienta hacia el valle de San Juan, con una componente casi paralela a los ejes de las principales estructuras. En esta región muchos ríos se alimentan del caudal procedente de manantiales localizados sobre planos de fallas, los que drenan una considerable parte de las aguas subterráneas que se ven impedidas de llegar hasta el valle en forma subsuperficial debido al contraste litológico existente entre las calizas del alto relieve y las arcillas y margas de la Formación Trinchera que se interponen entre la sierra y el valle. Estas arcillas y margas constituyen barreras hidrogeológicas locales que entrapan el flujo subterráneo. De ahí que la orientación de este flujo se corresponda en términos generales con la escorrentía superficial.

La recarga en esta vertiente es de unos 1,500 mm/año, de igual calidad que las aguas que fluyen hacia el sur, caracterizadas por una salinidad baja y una dureza de carbonatos de más de 50%; estimándose que el volumen total de recarga podría llegar a los 300 millones m^3 /año.

SIERRA DE BAHORUCO

La Sierra de Bahoruco junto a la Península Sur de Barahona constituyen el extremo sur-occidental de la República Dominicana, con una extensión superficial de

aproximadamente 3,400 Km², de los cuales más del 98% son calizas, que al igual que en la Sierra de Neiba, han sido fuertemente afectadas por el intenso tectonismo de la región, así como por los procesos de disolución cárstica, facilitando la Infiltración de casi todas las lluvias caídas sobre ellas.

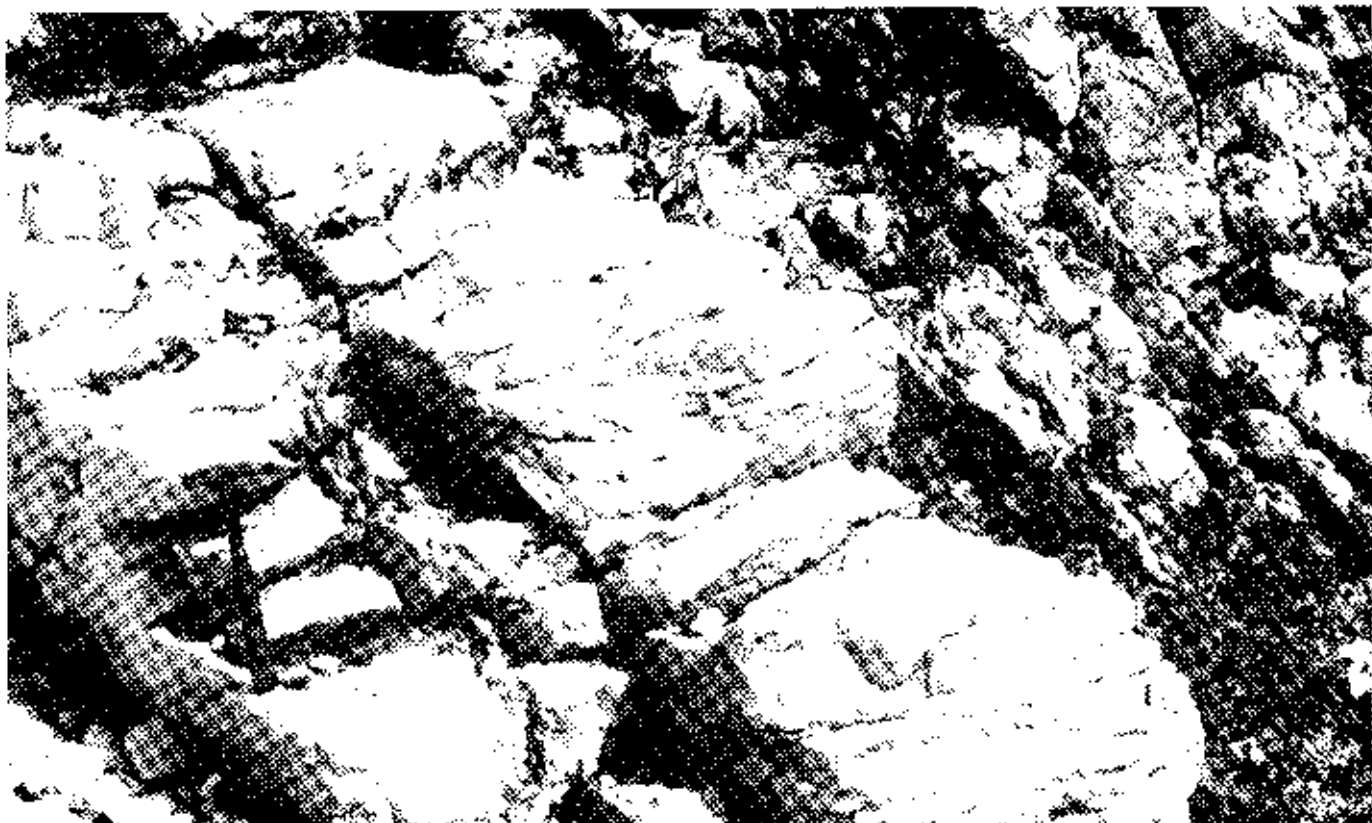
LITOLOGIA

Siete son las "formaciones" calizas que afloran en la Sierra de Bahoruco y la Península Sur de Barahona. Ellas son las formaciones Plaisance, Neiba, Sombreroito, Río Arriba, Lemba, "Caliza Acetillar" y "Caliza Pedernales". Las tres primeras ya fueron descritas, por lo que aquí sólo describiremos las restantes.

"Caliza Acetillar". Este nombre fue utilizado de manera informal (R. O. de León, 1982) para describir una secuencia de calizas blandas, porosas, ligeramente margosas, de textura fanélica, pobremente estratificadas y ricas en especies faunísticas, que afloran en el área de los depósitos de bauxita de El Acetillar. Estas calizas están asociadas con limonita oolítica y presentan pequeñas cavidades de disolución en los estratos más superficiales, lo que permite su rápido reconocimiento; no obstante, la morfología cárstica típica de otras calizas está ausente en las calizas de Acetillar, por lo que no es posible encontrar grandes sumideros en sus afloramientos.

La relación entre estas calizas y la subyacente Formación Plaisance, nos permite considerar que "Acetillar" podría ser una facies superior de Plaisance.

La edad de esta unidad es Eoceno Medio y su espesor oscila entre 600 y 700 metros, aunque se requieren estudios complementarios.



Caliza litográfica estratificada de la Sierra de Bahoruco.

Gran parte de las aguas meteóricas caídas sobre estas calizas se infiltra hasta el acuífero, siguiendo posteriormente un rumbo noroeste-sureste hacia el Mar Caribe, aunque parte fluye en dirección sur.

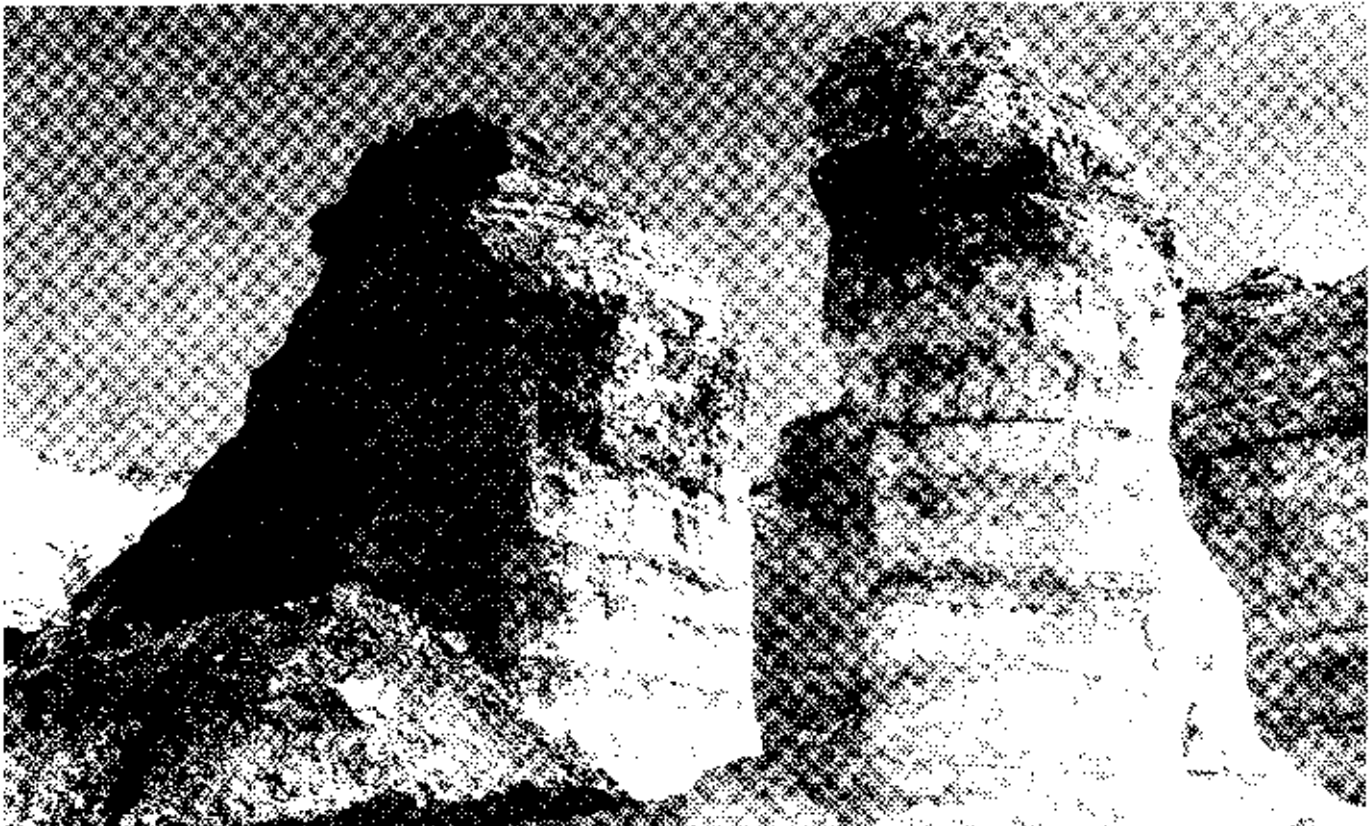
"Caliza Pedernales". Este nombre también fue utilizado de manera informal (R.O. de León, 1982) para describir una serie de calizas compactas, de rosadas a rojizas, muy bien estratificadas y de textura cristalina a litográfica, que afloran en la Península Sur de Barahona, desde Pedernales hasta la laguna de Oviedo.

Generalmente estas calizas presentan amplias fracturas que han sido rellenadas por óxido férrico, lo que contribuye a la tonalidad rojiza que les caracteriza.

Las terrazas formadas por la erosión dominan la topografía de la zona, observándose que todo el sistema de terrazas ha sido desarrollado exclusivamente sobre estas calizas. De igual modo, la morfología cárstica domina toda la extensión superficial ocupada por estas calizas, pudiendo contarse cientos de depresiones y cavidades de disolución que yacen superficialmente. Estas cavidades funcionan como medios de captación de aguas meteóricas, que al conectarse con las cavidades subterráneas conducen estas aguas y las colectadas en el alto relieve hacia la laguna de Oviedo y hacia el Mar Caribe.

Es conveniente aclarar que aunque el agua estancada en la laguna de Oviedo es altamente salina (12,000 p.p.m. Cl⁻) hay un considerable aporte de agua dulce en su margen occidental, lo que compensa en gran medida el volumen perdido por evaporación. El espesor de la "Caliza Pedernales" es de aproximadamente 225 metros.

Formación Lemba. Este nombre fue aplicado por Dohm a una serie de calizas cretáceas, calizas blancas, de compactas a blandas y muy bien estratificadas que afloran en el poblado de Lemba, al sur de Las Salinas.



Calizas margosas del área de Pedernales.

La reducida extensión superficial de esta formación, aprox. 8 Km², nos hace considerarla insignificante desde el punto de vista hidrogeológico regional, aunque localmente es considerada como un mal acuífero por la gran impermeabilidad de las calizas cretosas.

El espesor calculado es de unos 300 metros y su edad ha sido definida como Oligoceno.

Formación Río Arriba. Este nombre fue propuesto por Linás (1971) para definir una secuencia de calizas cristalinas, calizas margosas y margas, asociadas con estratos de arcillas calcáreas, areniscas y conglomerados que afloran a lo largo del río Arriba (9 km. al suroeste de La Salina).

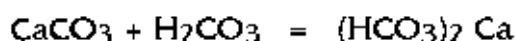
Al igual que la Formación Lemba, esta formación no tiene una incidencia considerable en la hidrogeología regional debido a que sólo ocupa alrededor de 15 kilómetros cuadrados. No obstante, puede constituir pequeños acuíferos confinados, gracias a la presencia de estratos de areniscas y conglomerados, limitados por horizontes margosos y arcillas que dan al conjunto las características de confinamiento, aunque la alimentación de estos acuíferos procederá de los acuíferos vecinos, ya que las margas de los estratos superiores de la formación impiden la infiltración de las aguas hasta los estratos con capacidad de almacenamiento.

Esta formación corresponde al Mioceno Medio y su espesor se estima en más de 300 metros.

FLUJO SUBTERRANEO

La Sierra de Bahoruco y la Península Sur de Barahona exhiben una hidrogeología sumamente interesante, ya que su potencial de aguas subterráneas es bastante elevado, mientras que las aguas superficiales están prácticamente ausentes.

El grado de desarrollo y la distribución de los fenómenos cársticos observados en la superficie de las calizas, constituyen un buen indicador de la calidad acuifera de estas formaciones y de la posible existencia de sistemas secundarios de cavidades de disolución desarrollados dentro de cada formación en particular, especialmente las que por sus características litológicas son más susceptibles a los ataques del ácido carbónico producto de la combinación del agua y el dióxido de carbono, $H_2O + CO_2 = H_2CO_3$ el cual convierte el carbonato de las calizas en bicarbonato, que es muy soluble e inestable.



Además de los grandes fenómenos cársticos, el sistema tectónico que se orienta en dirección noroeste-sureste influye considerablemente en el flujo de las aguas subterráneas, cuyo régimen adopta el mismo sentido hasta perderse en el Mar Caribe.

La simulación hidrometeorológica desarrollada en el marco del Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas (PLANIACAS) produjo un flujo base de 716 mm/año para los 2,400 Km² de la Sierra de Baboruco, recibiendo una precipitación promedio de 1,479 mm/año; mientras que los 1,000 Km² de la Península Sur de Barahona reciben una precipitación promedio de 1185 mm/año con una contribución al flujo base de 365 mm/año.

En esta región los ríos desaparecen casi en su totalidad al llegar a las partes bajas del relieve, debido a la gran infiltración producida a través de los ampliamente desarrollados fenómenos cársticos, los que hacen que toda la precipitación se infiltre sin llegar a producir escorrentía superficial en las partes bajas, absorbiendo, además, toda la escorrentía procedente del alto relieve, mediante infiltración a lo largo del cauce.

En las zonas altas de la región, también está presente la morfología cárstica, estableciéndose que allí el flujo subterráneo se desarrolla en forma escalonada, por lo que la posibilidad de cortar un horizonte regional, mediante perforaciones que permitan una explotación significativa, dependerá de la concentración del flujo subterráneo en estas áreas cársticas o en valles aluviales intramontanos que reciban agua de horizontes colgados.

El análisis hidrogeológico de la Sierra de Bahoruco permite establecer que el flujo de aguas subterráneas se orienta en tres direcciones principales, cada una con un sistema de flujo de características distintas. Una parte del flujo drena hacia el norte, en dirección al valle de Neiba, controlado por gargantas estructurales y cavidades de disolución. La recarga de aguas subterráneas en esta vertiente que drena hacia el valle se ha calculado en unos 1,500 mm/año con un volumen de aproximadamente 205 millones de metros cúbicos anuales.

La mayor cantidad de las aguas subterráneas, de la Sierra de Bahoruco drenan en dirección Sureste hacia el Mar Caribe, controladas principalmente por el patrón tectónico estructural que caracteriza la zona, calculándose que el volumen de recarga en esta vertiente es de 761 millones de metros cúbicos anuales.

Esta vertiente puede ser dividida en dos grandes subzonas:

a) Subzona Nizaíto

Esta subzona se caracteriza por un flujo considerable de aproximadamente 417 millones de m³/año, de los cuales alrededor del 80% escurre por los ríos en forma de flujo base, mientras el restante 20%, equivalente a 83 millones de m³/año, se escurre en forma de flujo subterráneo.

b) Subzona Valle de Juancho-Laguna de Oviedo

Por esta subzona fluyen unos 344 millones de m^3 /año, de los cuales el 87%, más de 300 millones de m^3 /año, constituye el escurrimiento subterráneo, el cual es de limitadas posibilidades de explotación producto del riesgo de intrusión salina. La laguna de Oviedo es el receptor principal del flujo subterráneo de esta subzona.

La cuenca sudoccidental de la Sierra de Bahoruco y la Península Sur de Barahona tiene un volumen de recarga de 431 millones de m^3 /año, estimándose que unos 400 millones m^3 /año escurren como flujo subterráneo hacia las partes bajas y el resto forma el flujo base; llegando a considerarse que alrededor del 25%, unos 100 millones de m^3 /año, podrían ser aprovechados a nivel de completo desarrollo.

CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA

La región se caracteriza por dos clases típicas de aguas, la primera de las cuales corresponde al tipo de campo No.5 que representa agua dulce con dureza carbonatada, la cual predomina fuera de los valles, y la segunda, correspondiente al tipo campo No.7 característico de aguas con alcalinidad no carbonatada que es frecuente dentro de los valles de la región y cuyo origen está en la contaminación con agua del mar o agua de la laguna de Oviedo que tiene una salinidad de aproximadamente 12,000 p.p.m. Cl -.



Céliza arrecifal típica de la zona costera.

REGION DE LOS HAITISES

La región de los Haitises, con una extensión superficial de aproximadamente 1,600 Km² está caracterizada por la presencia de una plataforma cárstica muy particular, donde los procesos de disolución diferencial se enmarcan dentro de los mejores desarrollados en la Isla.

A excepción del río Payabo, que cruza la zona de sur a norte, casi no existe red de drenaje superficial, ya que la mayor proporción de las aguas son captadas por las dolinas y cavidades de disolución e incorporadas a la compleja red subsuperficial.

Actualmente los flujos de aguas subterráneas emergen en niveles inferiores al nivel medio del mar, lo que podría ser la razón de existencia de una gran población de manglares a lo largo de la bahía, los que tienden a caracterizar la ecología local.

LITOLOGIA

FORMACION CEVICOS. Esta formación, descrita por Cooke (1921), está constituida por una caliza de color amarillo a crema, más o menos arcillosa y asociada a nódulos en determinados lugares. Es una roca regularmente masiva, pero donde es posible observar su estratificación se aprecia que está muy próximo a la horizontal o con buzamientos muy suaves en dirección norte y noreste. A lo largo de las márgenes sur y oeste, la caliza Cevicos sobreyace discordantemente rocas volcánicas vítricas e intrusiones de tonalitas.

Una muestra colectada por Bowin (1966) permitió ubicar esta formación en el Mioceno, aunque posteriormente se ha establecido que es más reciente.

CALIZAS LOS HAITISES . Dentro de los 1,600 Km² ocupados por los Haitises, encontramos una extensa faja superficial de aproximadamente 1,000 Km², que está constituida por gruesos depósitos de calizas cársticas y sedimentos margosos pertenecientes a las calizas Los Haitises y depositados sobre las calizas de la Formación Cevicos.

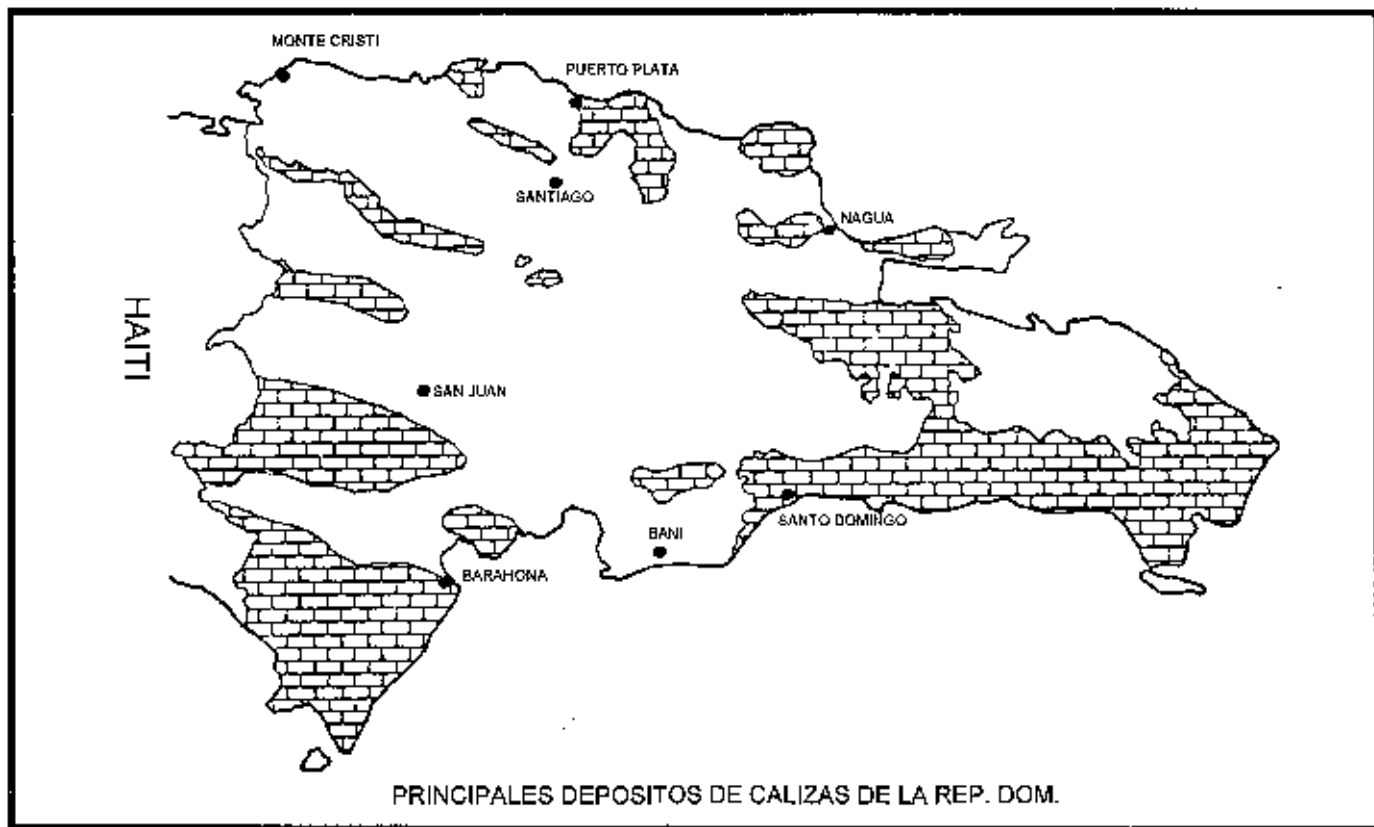
Generalmente son calizas masivas, aunque en ciertas áreas se presentan en capas delgadas de estratificación horizontal o ligeramente inclinadas. Los fenómenos cársticos, tales como dolinas, uvalas, torres cársticas y ríos subterráneos, están ampliamente distribuidos a todo lo largo y ancho de estas calizas, considerándose que la región presenta el karst mejor desarrollado en todo el país. Esta formación constituye el principal acuífero de la zona con un régimen de flujo propiamente cárstico.

El carácter compacto y a veces margoso de la subyacente Formación Cevicos podría desempeñar en algunos lugares la función de base impermeable para el acuífero de las calizas cársticas de Los Haitises.

FLUJO SUBTERRANEO

Abundantes precipitaciones se registran en toda el área, pudiendo alcanzar los 3,000 mm/año, con un flujo subterráneo de carácter típicamente cárstico y con manantiales de origen tectónico que brotan al pie del escarpe de la extensión de la falla Septentrional.

Se supone que una parte importante del agua subterránea fluye hacia el mar en la parte oriental. A lo largo de la falla que define el límite norte de los Haitises surgen numerosos manantiales, cada uno de los cuales podría nacer de un sistema cárstico independiente, probablemente no relacionado con los demás, por lo menos antes de llegar al plano de falla. Anteriormente, estos manantiales brotaban por encima del nivel del



mar, pero debido a la característica de los manantiales cársticos, de que su cota de surgencia disminuye con el tiempo, en la actualidad emergen por debajo del nivel del mar, lo que permite el desarrollo de una densa población de manglares.

El análisis de los niveles piezométricos de dos pozos localizados en el área permite obtener un gradiente de 1.2% que es considerable para acuíferos cársticos. Sería lógico suponer que el gradiente se va moderando hacia el área de nacimiento de los manantiales, consecuencia del aumento en la transmisibilidad en la zona de falla, lo cual no se cumple, ya que la relación altura-distancia restante a los manantiales, da un gradiente de flujo más pronunciado. Ello es indicio de un flujo a través de una capa delgada o bien a través de sistemas cársticos.

Además del flujo hacia el norte, pequeñas cantidades de agua subterránea brotan al pie de los afloramientos calizados del este, recargando el acuífero del aluvión en El Valle, así como en el oeste y a lo largo del río Payabo.

Para los cálculos de recarga, la región de los Haitises ha sido dividida en tres subzonas, una en la que el promedio de recarga para toda el área es 710 mm/año, otra de 600 mm/año y la última con 1000 mm/año. De igual manera, parte del límite noreste de la Cordillera Central drena hacia los Haitises, incorporando a este acuífero unos 400 mm/año. Todo ésto da un volumen de recarga de 269 millones de m^3 /año, obteniéndose un flujo total hacia los manantiales de 265 millones de metros cúbicos anuales.

Más de 100 millones de m^3 /año brotan a partir del sistema de manantiales, mientras una proporción desconocida, pero muy importante, se vierte por debajo del nivel del mar en el extremo este del escarpe de falla.

Dada la compleja configuración hidrogeológica del sistema, es evidente que los sitios con mayores probabilidades de encontrar aguas subterráneas se

localicen al norte, donde podría existir una confluencia de los sistemas cársticos, que se orientan en dirección norte y noreste, aunque siempre existe el temor de que la perforación pase muy cerca de una cavidad de flujo subterráneo, dando como resultado un pozo seco.

El agua de esta zona hidrogeológica es de excelente calidad y contenido muy bajo en cloruros. El agua del manantial de Guaraguao, considerada representativa, tiene una concentración de cloruros de 10 mg/lit., registrándose dentro del tipo campo No.5, según Piper.

REFERENCIAS

BERMUDEZ, PEDRO J. Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. Special Publication No.25, 1949.

BOWIN, CARL. The Geology of Hispaniola. Woods Hole Oceanographic Institution. 1975.

BROWER, SALVADOR Y POMPILIO. Geología de la Región Ambarífera Oriental de la República Dominicana. 1980.

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Región Suroeste. 1982.

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Calizas y Aguas Subterráneas en la República Dominicana. INDRHI, 1982.

INDRHI. Plan Nacional de Investigación, Aprovechamiento y Control de Aguas Subterráneas. Vol. III y IV. Geología e Hidrogeología, 1983.

VAUGHAN Y OTROS. Un Reconocimiento Geológico de la República Dominicana. 1921, U.S. Geological Survey.

Libreto Guía de la 9a. Conferencia Geológica del Caribe.

MARCO GEOLOGICO DE LA HISPANIOLA Y SUS IMPLICACIONES SISMICAS

*Conferencia dictada en el Hotel Montemar el 20 de octubre de 1988
dentro del programa del V Seminario Latinoamericano de Ingeniería
Sismo-Resistente. Puerto Plata, Rep. Dom.*

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

INTRODUCCION

El presente trabajo constituye un bosquejo generalizado de la geología de la Hispaniola, aunque con especial énfasis en la porción correspondiente a la República Dominicana, ya que ello permite visualizar los factores más estrechamente ligados a la sismicidad de nuestro país.

En este análisis pondremos de manifiesto los patrones tectónicos que controlan las regiones fisiográficas de la Isla, así como las características litológicas predominantes en cada sistema orográfico, de forma tal que sea posible correlacionar la sismicidad con la geología regional.

DESCRIPCION GEOLOGICA

Tratar de describir, en tan corto espacio de tiempo, la geología de la Hispaniola es tarea sumamente difícil, dada la complejidad tectónica que encierra la Isla.

La historia geológica de la Hispaniola se inicia a principios del Cretácico, cuando rocas volcánicas básicas comienzan a ser emplazadas a lo largo de un fragmento de corteza envolvente denominado Placa del Caribe. Esta Placa del Caribe surge como consecuencia de la existencia de un eje de expansión que separa a Norte América de Sur América, siendo luego empujada hacia el este por un fenómeno de subducción de corteza oceánica y por una gran falla de desgarramiento que se extiende desde el Bloque de Yucatán hasta las Antillas Menores.

A lo largo de la Hispaniola afloran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas de diferentes períodos, alineadas en sentido noroeste-sureste, siguiendo el patrón estructural de la mitad occidental del Caribe, el cual es responsable de la definición de las actuales fronteras fisiográficas.

Las rocas más viejas de la Isla, conforme a dataciones radiométricas, pertenecen a la Formación Los Ranchos, del Cretácico Inferior y están expuestas en la región de Cotuí. Esta formación consta de andesitas, dacitas, keratófiros de cuarzo y tobas, con menor proporción de calizas, limolitas y pedernal masivo. (Bowin, 1973).

Rocas del Cretácico Superior afloran en diferentes localidades de la República Dominicana y Haití, consistiendo la mayoría de ellas de flujos volcánicos piroclásticos. Estas rocas se destacan a lo largo del macizo de la Cordillera Central, la que es una continuación del Massif du Nord (de Haití), en la Cordillera Oriental, en algunas áreas de la Cordillera Septentrional y en el extremo oriental de la Sierra de Bahoruco.

El Terciario de la Hispaniola se caracteriza por la deposición de rocas sedimentarias calcáreas, principalmente calizas, que junto a sedimentos clásticos y ocasionales flujos volcánicos ocupan gran parte de la Isla.

El Cuaternario está representado por grandes extensiones de caliza arrecifal costera y por gruesos espesores aluviales acumulados en las diferentes cuencas sedimentarias.

CORDILLERA CENTRAL

En la Cordillera Central encontramos un prolongado cinturón de rocas metamórficas, formadas a partir del metamorfismo regional de rocas volcánicas máficas pre existentes. Dentro de este cinturón aflora la Formación Duarte, probablemente del Cretácico Inferior, y constituida por esquistos verdes, andesitas metamorfoseadas, anfibolitas y tobas, intruídas por diques y sills de gabro, diorita y tonallita, los que en gran medida han generado metamorfismo de contacto.

La Formación Maimón también se caracteriza por el metamorfismo regional de facies de esquistos verdes, siendo el keratófiro esquistoso de cuarzo la roca más distintiva; su edad no es precisa y sólo se le define como preterciario.

Hacia el extremo occidental de la Cordillera Central, encontramos la Formación Amina, la cual también está constituida por esquistos verdes de edad pre Terciario, siendo correlacionable con la Formación Maimón.

Fuera del cinturón metamórfico de esta cordillera, existen rocas volcánicas básicas de considerable extensión superficial, entre las cuales podemos citar la Formación Siete Cabezas, integrada principalmente por



andesitas y basaltos, asociados a pequeños cuerpos de tobas y piroclastos, depositados discordantemente sobre la Formación Duarte. De igual modo tenemos la Formación Perafallo, que es la agrupación de rocas volcánicas afaníticas (andesitas), tobas finas a gruesas y piroclastos, depositados discordantemente sobre la Formación Malmón.

En la porción central de la Cordillera aflora la Formación Tiroo, constituida por tobas finas a gruesas, tobas lapilli, keratófiro de cuarzo y lavas andesíticas, con caliza fisible estratificada. (Bowin, 1966).

Además de estas formaciones, podemos mencionar, dentro de la Cordillera Central, la Formación Los Ranchos, del Cretácico Inferior; la Caliza Hatillo, Caliza Las Canas y Formación Don Juan, del Cretácico Superior, así como la Formación Loma Caballero, del Paleoceno-Eoceno Inferior.

Como puede verse, el macizo de la Cordillera Central está constituido por rocas volcánicas básicas, muchas de ellas metamorfoseadas e intruídas por grandes y pequeños cuerpos de tonalita, diorita, gabro y peridotita, no obstante, hacia los flancos de esta Cordillera, especialmente hacia el flanco norte, encontramos rocas sedimentarias de origen clástico (conglomerados, areniscas, limolitas), así como rocas sedimentarias calcáreas, principalmente calizas, margas y shale.

Estas rocas han sido muy bien estudiadas en el flanco norte, mientras que en el flanco sur los estudios han sido muy limitados.

Los principales estudios ejecutados en la Cordillera Central han sido los de C. Bowin en 1960-1966; H.C. Palmer en 1960 y J.F. Lewis en 1980.

CORDILLERA SEPTENTRIONAL

El estudio más reciente de la Cordillera Septentrional data del año 1980 y fue ejecutado por el Programa de Cooperación Dominico-Alemán (Eberle, Hirdes, Muff, Zimmerman, Peláez, Hernández y De León, 1980).

Dentro de este estudio se encontró que las rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera Septentrional constituían cuatro grandes complejos que eran los aflorantes en las áreas de Puerto Plata, Río San Juan, Pedro García y Palma Picada. El complejo de Río San Juan presenta todos los tipos de rocas de una ofiolita: rocas ultramáficas, complejos de gabros y rocas metamórficas derivadas de gabros. El complejo de gabro está separado de las rocas ultramáficas por una zona de brecha tectónica conteniendo grandes bloques de rocas metamórficas de alta presión. Al parecer este complejo de gabro fue tectónicamente transportado hacia el lado sur del área.

Las rocas ultramáficas (peridotitas) forman un amplio cinturón costero que se extiende por varios kilómetros a lo largo de la Costa Atlántica, estando altamente brechadas y serpentinizadas.

Las serpentinitas del norte están separadas de los gabros y rocas graníticas del sur por una zona de megabrecha de aproximadamente cinco kilómetros de ancho, estando la megabrecha separada de la serpentinita por una falla de cientos de metros, denominada Falla de Río San Juan. El fuerte tectonismo de esta región, evidenciado en todo este complejo, es sumamente importante para correlacionar la gran cantidad de sismos registrados en esta zona y el frente de subducción que corre a lo largo del límite norte de la Placa del Caribe.

El complejo de Puerto Plata está constituido por rocas ultramáficas serpentinizadas, gabros, lavas en almohadas y sedimentos marinos.

Al oeste de la bahía de Maimón, un contacto de falla separa el gabro de la serpentinita, apreciándose inclusiones de la serpentinita dentro del gabro por efectos de fallamiento. Se cree que la mayoría de los cuerpos de gabro de este complejo, representan bloques tectónicos producto del fallamiento regional.

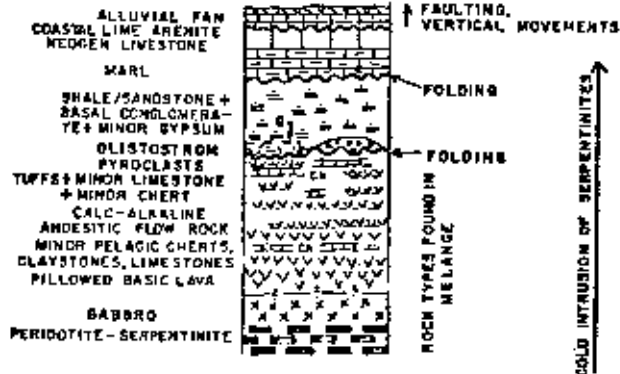
Al este de la misma bahía, existen afloramientos de piroxenita, anfibolita, andesita, gabro y serpentinita pertenecientes al complejo. Desde el oeste de la bahía de Maimón hasta el área de Imbert, se registran tobas ácidas a intermedias de características puzolánicas, que actualmente comienzan a utilizarse en la fabricación de cemento portland puzolánico. Estas tobas pertenecen a las formaciones cretácicas Imbert y Los Caños (Nagle).

El complejo de Pedro García consta de flujos andesíticos, lavas amigdaloidales, tobas andesíticas, conglomerados tobáceos, pórfido, tonalita, brechas magmáticas y diques basálticos, que posiblemente formen parte de un vulcanismo de arco insular, donde el último evento fue la intrusión de los diques basálticos.

El complejo de Palma Picada, al noroeste de Jicomé, es una intrusión porfirítica de composición intermedia y alteración hidrotermal, donde también se encuentran brechas magmáticas. Las rocas sedimentarias de la Cordillera Septentrional se agrupan dentro de la extensa Formación El Mamey (shale, areniscas y conglomerados) y la Formación Villa Trina que consta de calizas y margas que sobreyacen la Formación El Mamey (Eoceno Superior- Oligoceno). El olistostroma San Marcos es una unidad de bloques caóticos datada como Paleoceno-Eoceno Inferior.

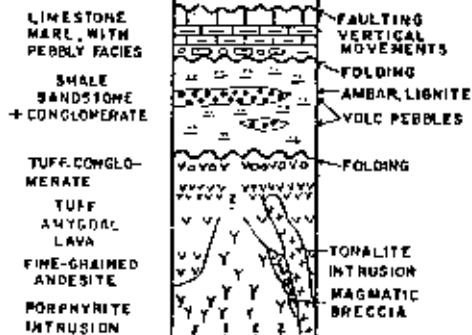
Como se ve, las rocas ígneas y metamórficas del flanco norte de la Cordillera Septentrional son las más importantes para el estudio de la sismicidad regional, ya que ellas conservan trazas evidentes de un tectonismo activo a lo largo de la costa norte de la Rep. Dom.

PUERTO PLATA AREA

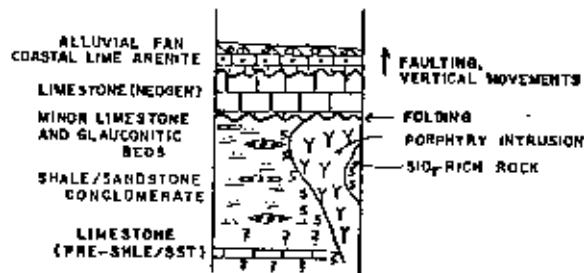


Columnas esquemáticas de las unidades igneas de Puerto Plata, Pedro García y Palma Picada en La Cordillera Septentrional (PROYECTO DOMINICO-ALEMAN, 1980)

PEDRO GARCIA AREA



PALMA PICADA AREA



SIERRAS DE NEIBA Y BAHORUCO

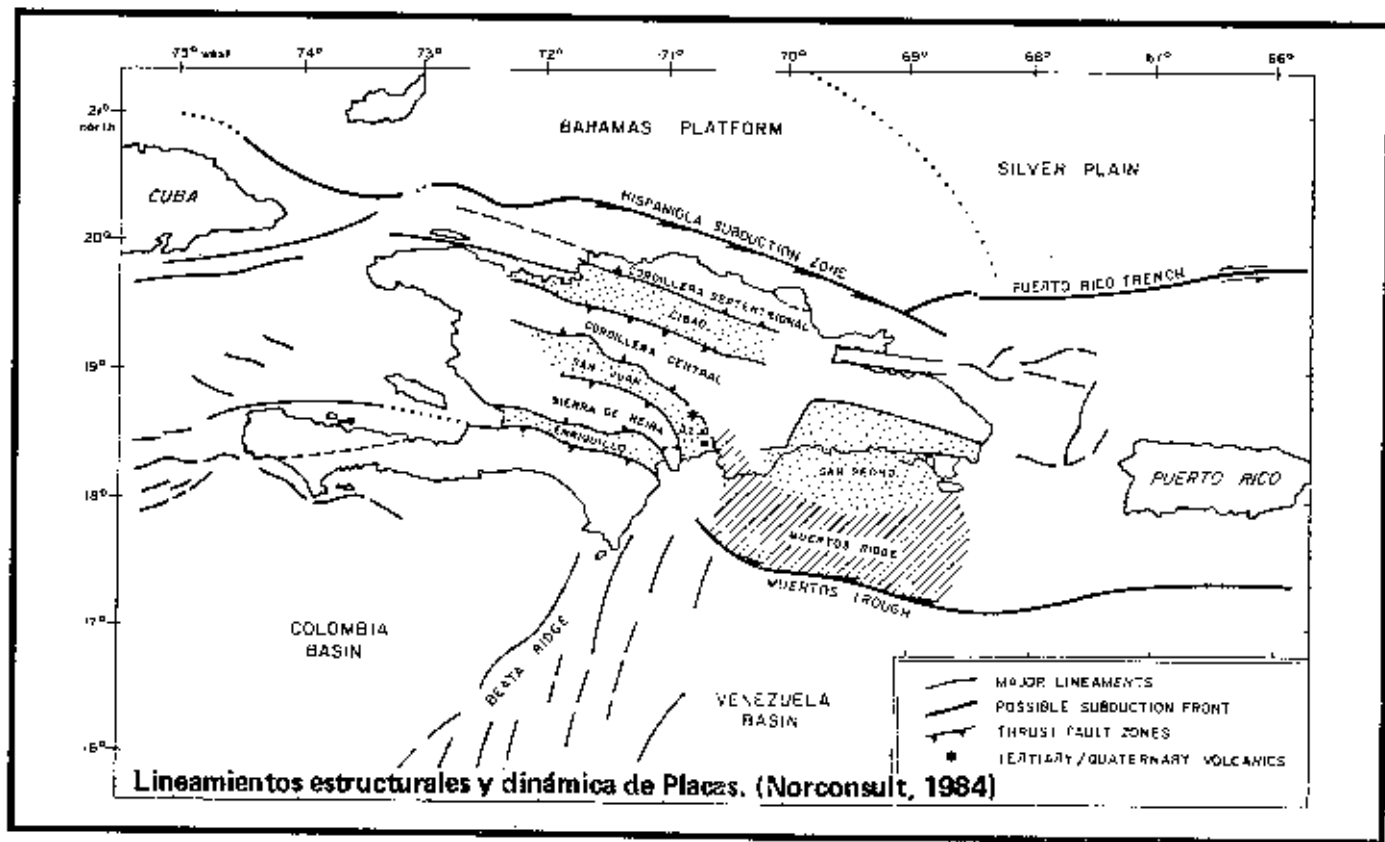
Informaciones geológicas recientes sobre las sierras de Neiba y Bahoruco (Osiris de León, 1981-1985), señalan la existencia de flujos piroclásticos, andesíticos y basálticos, de edad Eoceno Inferior en El Aguacate (Neiba); de igual edad (?) en El Cercado y del Cretácico Superior en La Clénaga (Barahona).

Estos flujos sirven de base a las calizas terciarias de las formaciones Plaisance, Neiba, Sombrero, Lemba, Trinchera y Río Arriba, así como a las calizas Aceitillar y Pedernales. Aunque estas sierras han sido las más afectadas por los eventos tectónicos, especialmente la de Bahoruco, en la actualidad no muestran signos de gran actividad sísmica, pues las fuerzas que actúan hoy día son inferiores a las que actuaron millones de años atrás, cuando se generó el amplio sistema de fallamiento allí observado (Mioceno Inferior). De todas formas la Sierra de Bahoruco reviste especial interés para la tectónica regional, pues ella, junto a Le Massif de la Hotte y de la Selle (Haïti), representan un pequeño fragmento de la Placa del Caribe, que en la actualidad es relativamente poco activo.

CORDILLERA ORIENTAL

Rocas volcánicas cretácicas, principalmente tobas y lavas básicas, intruídas por tonalitas, se asocian a turbiditas, calizas arrecifales y pequeñas exposiciones metamórficas, para constituir el macizo oeste-este de la Cordillera Oriental.

Estas rocas volcánicas fueron depositadas sobre una plataforma oceánica de poca profundidad, y que es sísmicamente muy activa debido a la subducción que se produce en el límite norte de la Placa del Caribe (al norte) y en la Cuenca de San Pedro (al sur).



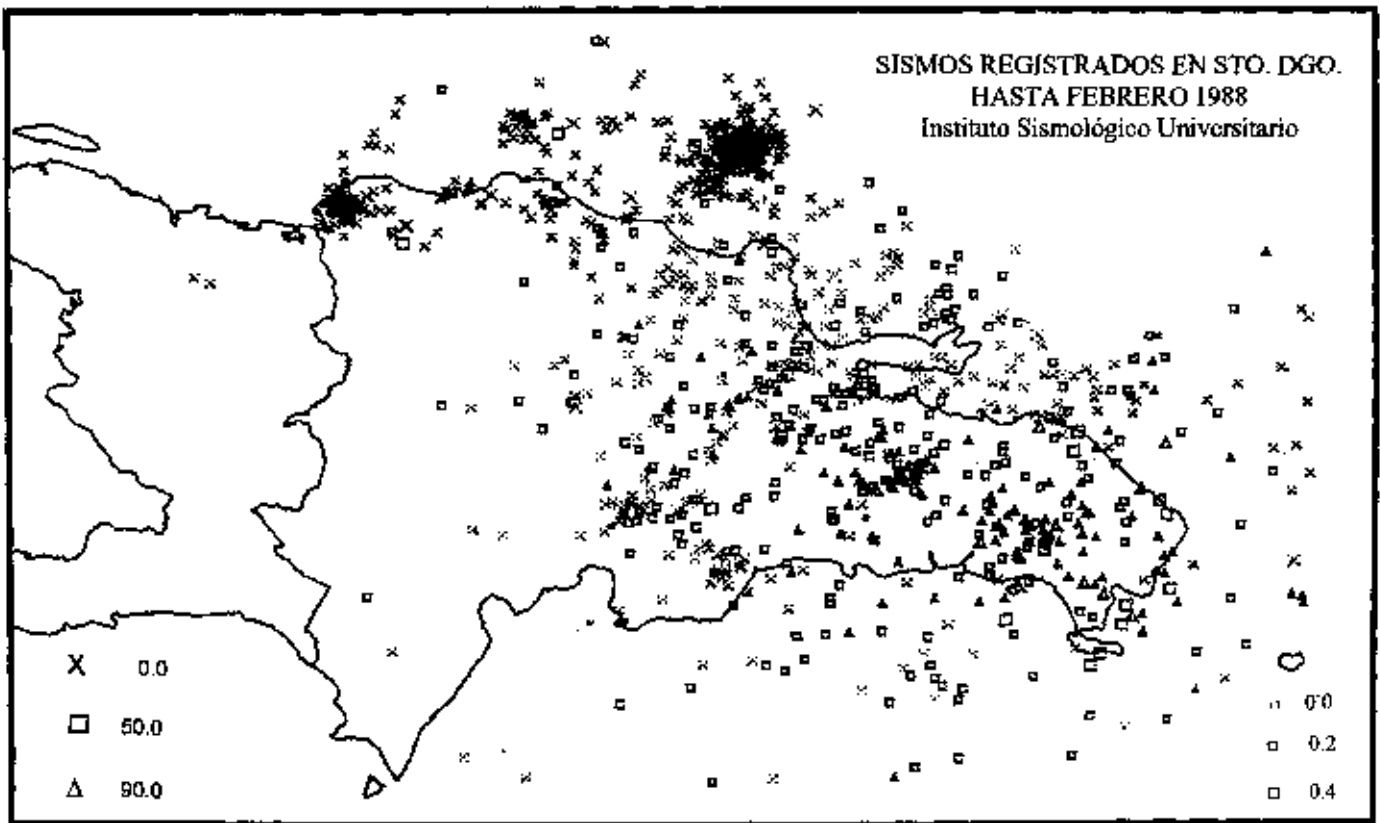
SISMICIDAD

Es ampliamente conocido que la gran mayoría de los terremotos son causados por súbitos movimientos de la corteza terrestre, generados a lo largo de importantes zonas de fallas.

El historial sísmológico de la República Dominicana, desde el año 1900 hasta el presente, indica que hay una gran concentración de sismos a lo largo de la costa norte y en la mitad oriental del país, debido a la subducción de la Placa del Atlántico en el área de contacto con la Placa del Caribe, lo cual se hace más evidente en la zona Puerto Plata-Río San Juan. También la zona de Monte Cristi, por su proximidad con este frente de subducción, ha estado sísmicamente muy activa en los últimos años.

El frente de subducción de la costa sur, conocido como Trinchera de Los Muertos, influye significativamente en la sismicidad de la zona sur y sureste del país, especialmente en el área de convergencia con la Falla Oriental de La Beata, entre Azua y San José de Ocoa.

De ahí que la penetración de corteza oceánica bajo las costas norte y sur de la mitad oriental de la República Dominicana, es la causa de la gran cantidad de sismos que se aprecian en el mapa anexo, suministrado por el Instituto Sísmológico Universitario.



CONCLUSIONES

1.- Las rocas volcánicas básicas constituyen, en la Isla Hispaniola, el basamento sobre el cual se han depositado las rocas sedimentarias calcáreas del Terciario y Cuaternario.

2.- La actividad tectónica de la costa norte, a lo largo del frente de subducción, donde la corteza oceánica penetra bajo la Placa del Caribe, se evidencia en el extenso brechamiento del complejo de Río San Juan y en la relación gabro-serpentina del complejo de Puerto Plata.

3.- En la actualidad, el frente de subducción de la costa norte representa la zona sísmicamente más activa de la Hispaniola.

4.- La región suroeste de la Isla, no obstante haber sido la más afectada por el tectonismo del Mioceno Inferior, hoy día evidencia una actividad sísmica muy reducida.

5.- La penetración de corteza oceánica bajo el límite norte de la Placa del Caribe, así como a lo largo de la Trinchera de Los Muertos, es responsable de la gran cantidad de sismos registrados en la mitad oriental de la República Dominicana.

REFERENCIAS

BOWIN, CARL. The Geology of Hispaniola. The Ocean Basins and Margins. Vol. 3, 1973

DE LA FUENTE, LUIS, Y OTROS. Geología de la Cordillera Oriental. Organización de Estados Americanos - Dirección General de Minería. 1980.

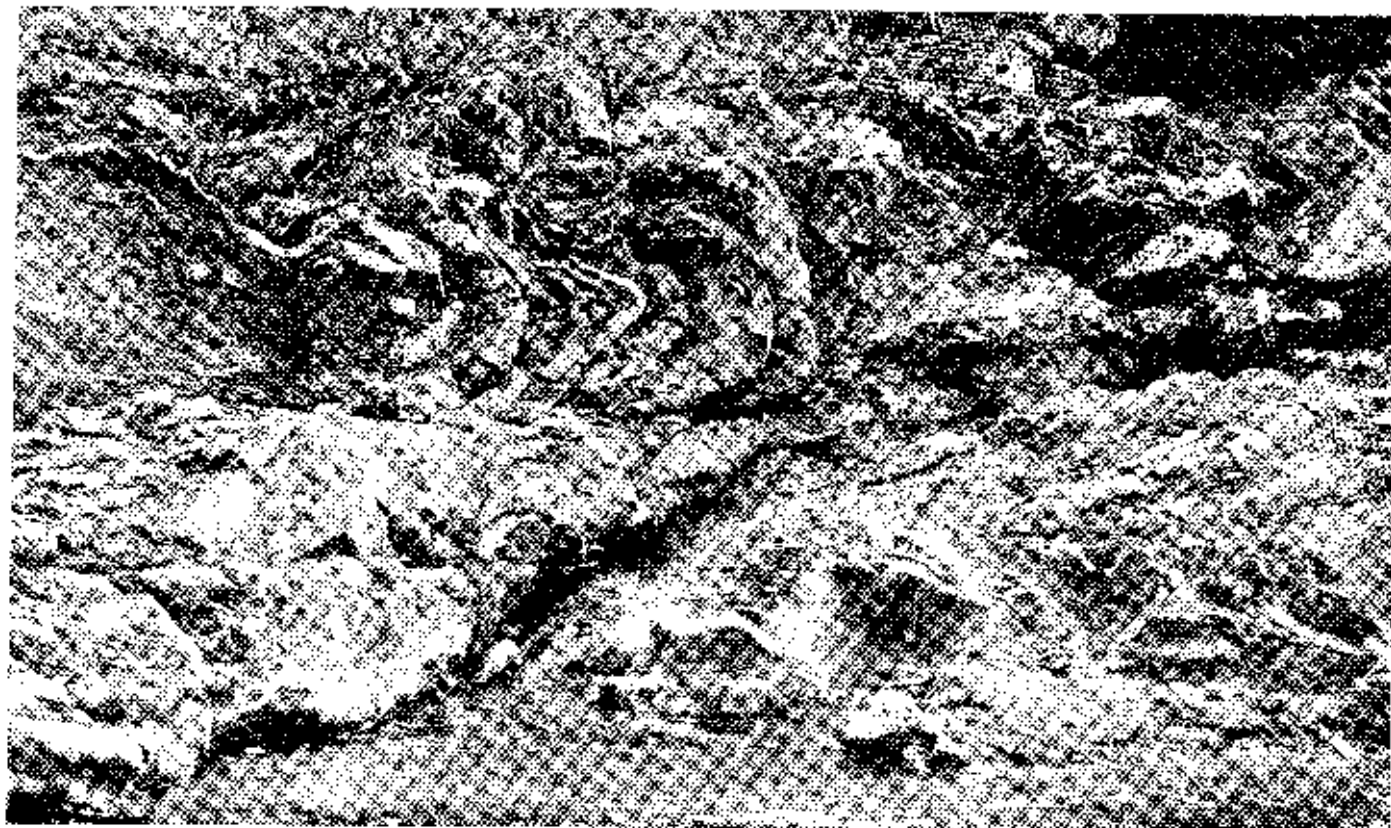
DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos de la Región Suroeste. Museo Nacional de Historia Natural. Publicaciones Especiales No. 4. 1982.

DE LEON, RAFAEL OSIRIS. Geología de la Sierra de Bahoruco. Museo Nacional de Historia Natural. Editora Taller, 1988.

EBERLE, WALTER, Y OTROS. Geology of the Cordillera Septentrional. 9a Conferencia Geológica del Caribe, 1980.

NAGLE, FREDERICK. Geology of the Puerto Plata area. Dominican Republic. Princeton University, 1968.

PALMER, H. Geology of the Monción - Jarabacoa Area. Dominican Republic. Princeton University, 1963.



Cabalgamiento en areniscas y limolitas de la zona suroeste de El Recodo...

TECTONISMO ACTIVO Y SISMICIDAD EN LA REGION SEPTENTRIONAL DOMINICANA

Conferencia presentada en el Hotel Lina dentro del Congreso de Desastres Naturales y Medio Ambiente, Auspiciado por la Unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros (UPADI) Santo Domingo, 4 - 7 agosto, 1992.

Iny. Geól. Rafael Osiris de León

RESUMEN

La región septentrional de la República Dominicana, constituida por el Valle del Cibao, la Cordillera Septentrional, la Península de Samaná, la Costa Atlántica y el talud Insular, es un fragmento de la Placa del Caribe, el cual, antes del Mioceno, estuvo en contacto con el extremo sureste de la Isla de Cuba, desplazándose luego hacia el este al igual que el resto de la isla y el Caribe centro-oriental gracias al movimiento transcurrente del borde de la placa caribeña.

Este fragmento septentrional está limitado al sur por la escarpada falla de la Hispaniola, la cual es producto del empuje hacia el noreste de la Placa del Caribe, por lo que se inicia al suroeste de la Isla Tortuga, entra por la bahía de Manzanillo, corta todo el borde norte de la Cordillera Central, sale por el extremo sur de la bahía de Samaná, y desde allí continúa hacia el este por espacio de 500 kilómetros más, a través de la falla de escarpe de la latitud 19º, uniéndose de nuevo al borde de la placa en la zona noreste de Puerto Rico.

El límite norte del fragmento coincide con el extremo norte de la Placa del Caribe, y este extremo de la Placa del Caribe representa un frente de subducción que pasa al oeste de Jamaica, generando la depresión de Caymán, sigue al norte de la Hispaniola, pasando a 25 kilómetros al norte de Puerto Plata y produciendo la Fosa de la Hispaniola, continúa hacia el este, pasando a 130 kms. al norte de Puerto Rico, originando la abismal Trinchera de Puerto Rico o Fosa de Milwaukee, con 8 kilómetros de profundidad. Estas depresiones se deben a la penetración de la Placa de Norteamérica por debajo de la Placa del Caribe.

El hecho de que la falla de la Hispaniola, con aproximadamente 1,000 kilómetros de longitud, sea una consecuencia directa de los movimientos de la Placa del Caribe, al igual que la falla Septentrional, justo al sur de la cordillera del mismo nombre, de ningún modo ha de sugerir que el límite norte de la Placa del Caribe corta a la Hispaniola en tierra adentro, pues el límite de la placa caribeña está perfectamente definido en la zona marina.

Los extraordinarios límites del septentrional fragmento de placa, evidencian la magnitud del tectonismo que ha caracterizado la franja norte de la Hispaniola, tectonismo que ha sido responsable de la alta sismicidad que ha experimentado la región a través de los tiempos, pues los seis grandes terremotos que han sacudido la isla, desde 1562 hasta 1946, se han concentrado exclusivamente en este fragmento (1562: Santiago-La Vega-Pto. Plata.; 1783: Santiago; 1842: Mte. Cristi-Manzanillo-Samaná; 1887: Cabo Haitiano; 1904: Sánchez-Samaná y 1946: Nagua), estableciéndose que dicho fragmento sigue siendo muy activo, ya que de 1900 a 1973 esta región concentró la mayor cantidad de sismos con magnitud superior a 4.6 en la escala de Richter (unos 80 en total), principalmente al este del meridiano 70° 30'; mientras que de 1983 a 1989 esa región ha registrado una densa concentración de microsismos, destacándose un "enjambre" existente a

50 kilómetros al norte de Río San Juan, en lo que es todo el extremo oriental de la Fosa de la Hispaniola, y otro "enjambre" menor en la zona Mte. Cristi - Castañuelas - bahía de Manzanillo, zona donde la estructura del talud insular ha sido dominada por esfuerzos compresionales, por lo que al liberarse constantemente parte de la energía elástica acumulada a lo largo del plano de falla que corta la bahía, se experimentan vibraciones proporcionales a la cantidad de energía liberada. Este historial sísmico indica que en cualquier momento debe esperarse un sismo de considerable magnitud, cuyo epicentro esté localizado dentro del fragmento septentrional.

INTRODUCCION

La República Dominicana junto a la República de Haití (Isla Hispaniola), Jamaica, Puerto Rico y las Antillas Menores, representan Islas emergidas del fondo oceánico y que pertenecen a un fragmento de la corteza terrestre denominado Placa del Caribe, el cual se mueve hacia el este debido a su actividad tectónica casi continua y que desde el Cretácico hasta el presente, según Hess y Maxwell (1983), se ha desplazado aproximadamente 350 km. a lo largo de la depresión de Caymán, pero que según Pindell y Barrett (1986) es posible estimar un movimiento de por lo menos 1,100 kilómetros hacia el este, desde el Oligoceno Inferior hasta el presente.

La rotura de la corteza terrestre originada a lo largo de lo que se ha definido como el borde norte de la Placa del Caribe, permitió que Cuba y la Hispaniola, que antes del Mioceno formaban parte de un mismo arco volcánico precretácico, se separaran gradualmente por el movimiento hacia el este del fragmento sur, quedando la Isla de Cuba en el fragmento norte o Placa de Norteamérica y el resto de las Antillas en el fragmento sur.

El borde de interacción de estas dos placas de litosfera permite que la Placa de Norteamérica penetre por debajo de la Placa del Caribe, generando profundas depresiones como las de Caymán, Hispaniola y Puerto Rico, las que se mantienen sísmicamente activas, convirtiéndose en una franja de alto riesgo sísmico que afecta la zona noroeste de Jamaica, la zona sureste de Cuba, la zona norte de la Hispaniola (Haití y República Dominicana) y la zona norte de Puerto Rico.

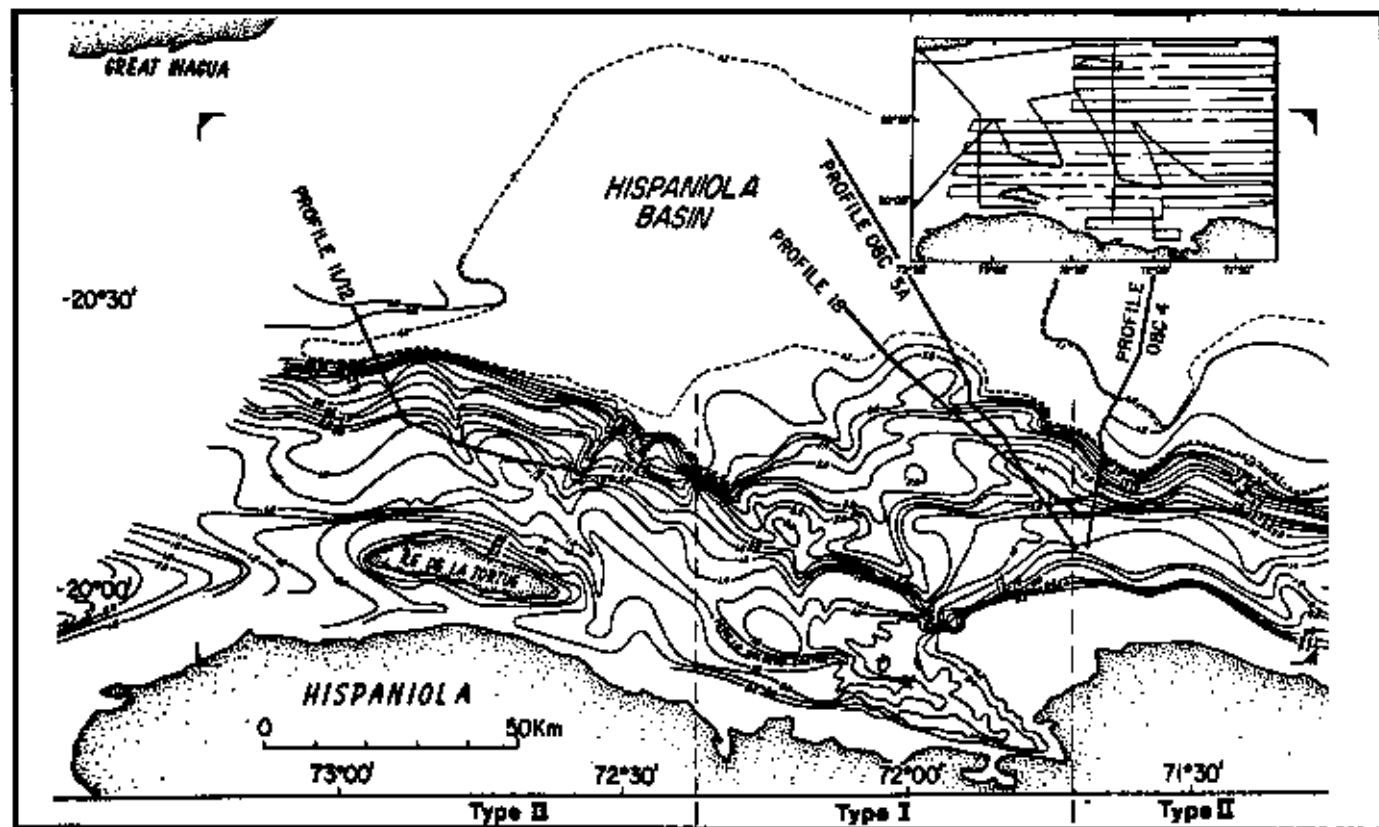
REGION SEPTENTRIONAL DOMINICANA

La región septentrional dominicana es un mosaico geográfico definido por el valle del Cibao, la cordillera Septentrional, la península de Samaná, la costa Atlántica, y el talud insular; el cual está cortado en dirección noroeste- sureste por la falla de la Hispaniola, que corre al sur del valle del Cibao; la falla Septentrional, que corre al sur de la cordillera del mismo nombre, separando esta cordillera del valle del Cibao; y la falla Camú que va desde La Isabela hasta Sabaneta de Yásica, cruzando por Imbert.

Antes del Mioceno gran parte de este mosaico, especialmente la franja más al norte, estuvo en contacto con el extremo suroriental de la isla de Cuba, pero posteriormente comenzó a desplazarse hacia el este, paralelamente al resto del Caribe debido al movimiento transcurrente del borde norte de la Placa del Caribe, el cual se ha mantenido muy activo hasta el presente, generado plegamientos, fallamientos y consecuentemente sismos que se concentran en zonas de interacción de fragmentos de corteza.

TECTONISMO ACTIVO

La descripción de este bloque debe comenzar con la descripción morfológica de la margen insular del noroeste de la Isla Hispaniola, donde Dillon y otros (1989) encontraron que el talud insular varía entre 4° y 16° con anticlinales posicionados entre fallas de corrimiento, así como estructuras caóticas plegadas y falladas donde hay un amplio dominio de los efectos compresionales.



BATIMETRIA DEL TALUD INSULAR NOROCCIDENTAL DE LA HISPANIOLA (DILLON, 1989)

Una pequeña, pero significativa depresión que pasa entre la isla Tortuga y Cabo Haitiano se extiende hacia la bahía de Manzanillo, siguiendo por toda la franja norte de la cordillera Central, hasta llegar a la bahía de Samaná, definiendo el límite sur del bloque septentrional dominicano, el cual en el mioceno inferior se comportaba como un fragmento de la Placa del Caribe.

Todo ese lineamiento que corre desde el suroeste de la isla Tortuga hasta la bahía de Samaná ha sido definido como la zona de falla de la Hispaniola, la cual continúa hacia el este por unos 500 km. más, a través de la denominada falla de la latitud 19° (Larue y otros, 1989) y representa una falla de escarpe que corre casi paralela al límite norte de la Placa Caribeña por espacio de aproximadamente 1,000 kilómetros uniéndose de nuevo al borde de la placa a unos 180 kilómetros al noreste de las costas orientales de Puerto Rico.

Del mismo modo, la falla Septentrional que se extiende desde Estero Hondo hasta el área norte de la bahía de Samaná es una falla normal con desplazamiento lateral que separa el valle del Cibao de la cordillera Septentrional y corre paralelamente a la falla de la Hispaniola y al límite norte de la Placa del Caribe, definiendo un importante segmento del bloque septentrional dominicano.

Un perfil sísmico realizado a través de la Bahía de Samaná e interpretado por Edgar y Rodríguez (1990) establece, tal y como hasta ahora ha sido mayormente aceptado, que la falla Septentrional es una falla normal con fuerte buzamiento hacia el sur, por lo que debe descartarse cualquier sugerencia de que esta falla representa una falla inversa o una falla de corrimiento.

Siguiendo la misma secuencia encontramos la falla Camú, la cual es una falla normal con desplazamiento lateral que corre a lo largo del río Bajabonico, empalma con el río Camú, al este de Imbert, y continúa hasta la zona de Sabaneta de Yásica, definiendo el tercer lineamiento del fragmento septentrional (desde el sur hacia el norte).

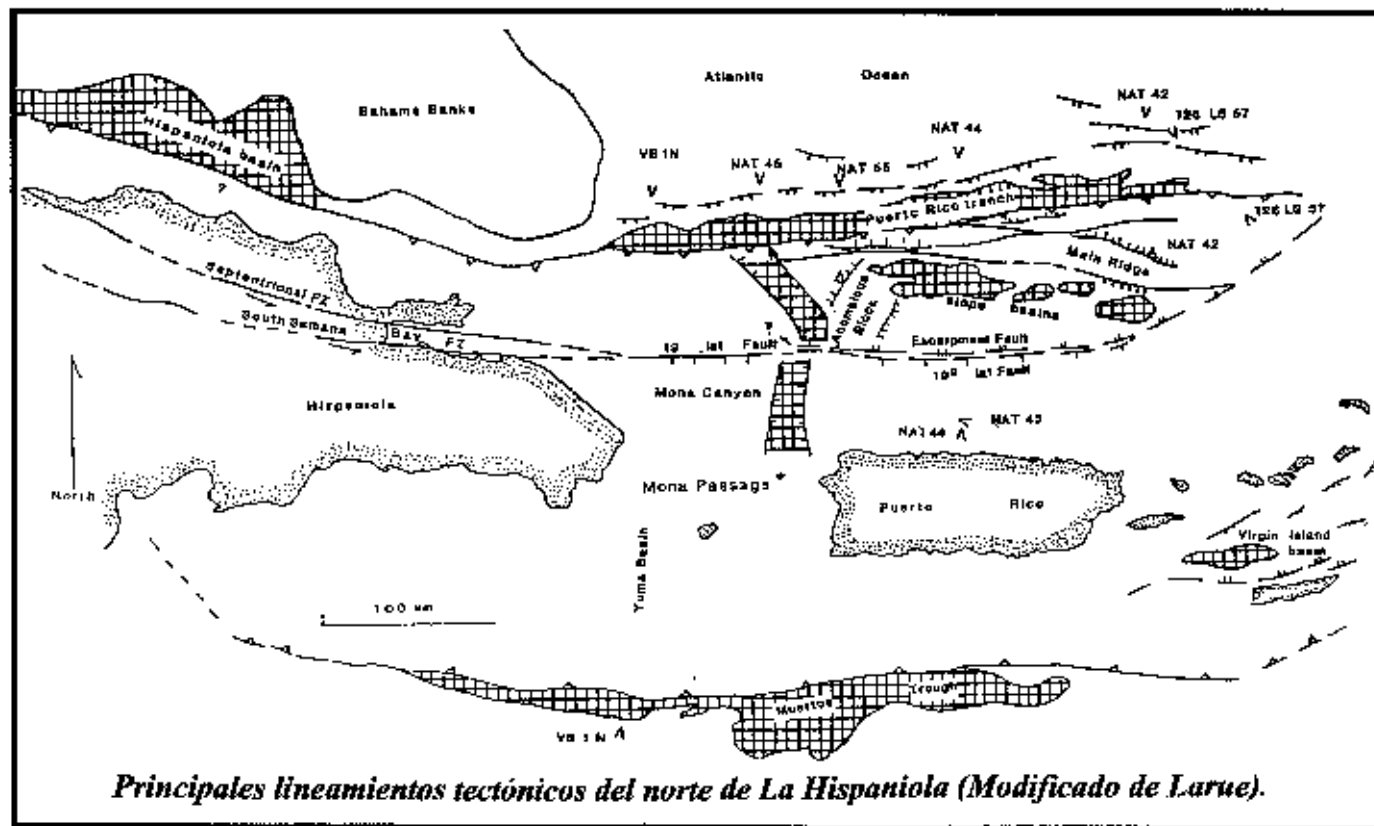
El límite norte del fragmento septentrional está definido por el borde de interacción entre la Placa del Caribe y la Placa de Norteamérica, con características totalmente diferentes a las fallas previamente mencionadas, pues este borde representa un frente de subducción situado a 25 Km al norte de Puerto Plata y donde la Placa de Norteamérica penetra por debajo de la Placa del Caribe generando la fosa de la Hispaniola y levantamientos en diferentes áreas del bloque septentrional, acumulando energía elástica que posteriormente es liberada abruptamente, trayendo como consecuencia sismos que afectan importantes regiones del bloque.

Este frente de subducción está mejor definido hacia el este, pues estudios de perfiles de reflexión sísmica realizados en la trinchera de Puerto Rico o fosa de Milwaukee, la cual alcanza 8 Km. de profundidad, evidencian que la subducción disminuye de este a oeste (Larue, 1989).

Sin embargo, al oeste de la Hispaniola encontramos la depresión de Caymán la cual pasa entre Cuba y Jamaica, extendiéndose hasta la cuenca de Yucatán.

Como se ve, el límite norte de la Placa del Caribe corre a lo largo de la depresión de Caymán, sigue al norte de la República Dominicana, pasa a 130 Km. al norte de Puerto Rico y a partir de ahí produce un fuerte arco hacia el sur pasando al este de las Antillas Menores.

Dengo (1980), al igual que otros investigadores de la geología del Caribe, plantea que los grandes eventos



tectónicos de la región del Caribe ocurridos desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno han sido responsables de los emplazamientos de peridotitas, esquistos azules y otras rocas de naturaleza ofiolítica. A partir de ahí podemos establecer que los complejos ígneos de las zonas de Puerto Plata y Río San Juan fueron emplazados como consecuencia del movimiento hacia el este de la Placa del Caribe, indicando que la zona Puerto Plata - Río San Juan ha sido tectónicamente activa durante los últimos 60 millones de años.

Recientemente algunos investigadores de la geología y la sismicidad de la República Dominicana plantearon que este borde de placas pasa por la isla de Santo Domingo y no al norte como se creía hasta el presente. Esta hipótesis está fundamentada en investigaciones realizadas por un instituto francés y una universidad norteamericana, sin embargo, este planteamiento es vulnerable desde muchos puntos de vista a saber:

1.- Para la época del descubrimiento de América (1492) la península de Samaná estaba separada del resto de la isla por una franja de aguas someras, la cual fue desapareciendo a medida que se levantaba el terreno y hoy día toda la zona representa un solo bloque emergido. Si el límite de la Placa del Caribe estuviese al sur de la Cordillera Septentrional, como se ha planteado, entonces Samaná seguiría siendo una isla, pues el terreno comprendido entre Nagua y la península de Samaná, en lugar de emerger se habría hundido todavía más debido a que el borde norte de la placa penetra por debajo del bloque sur, lo que genera "hundimientos" del lado norte y levantamientos del lado sur. Por eso las costas de Puerto Plata son costas de emersión.

2.- A lo largo de la falla Septentrional no se registran afloramientos de peridotitas, esquistos glaucofánicos ni secuencias ofiolíticas como ocurre en la costa norte.

3.- En toda la extensión de la falla Septentrional no se observan plegamientos ni trazas de corrimientos como habría de esperarse en una zona de Interacción de placas. Muy por el contrario, la estratigrafía al norte y al sur de esta falla mantiene una gran uniformidad.

4.- La fosa de la Hispaniola, al norte de Santo Domingo, y la fosa de Milwaukee al norte de Puerto Rico, no tendrían razón de estar situadas tan al norte ni alcanzarían profundidades comprendidas entre 4,000 y 8,000 metros, siendo la fosa de Milwaukee la segunda más profunda del planeta, con su máxima profundidad al noreste de Samaná.

5.- El mayor "enjambre" de microsismos, registrado por el Instituto Sismológico Universitario en los últimos años, evidencia que la principal actividad sísmica se registra a 50 kilómetros al norte de Río San Juan, justo en lo que es el límite de la Placa del Caribe.

En realidad la falla Septentrional es una bifurcación de la falla que corre entre los bordes de las placas, pero ello no implica que el verdadero límite pueda ser movido hacia el sur.

SISMICIDAD

Hoy día la mayor sismicidad en la zona del Caribe se concentra a lo largo de los frentes de subducción de corteza oceánica en zonas de colisión entre placas de litósfera. De ahí que en los últimos meses los principales temblores de la región del Caribe se han localizado en la costa suroriental de Cuba, en la costa norte de la República Dominicana y en la costa norte de Puerto Rico, es decir, a lo largo de la franja de Interacción entre la Placa de Norteamérica y la Placa del Caribe, sugiriendo que esta franja está acelerando su actividad y que es de esperarse un terremoto de considerable magnitud en cualquier momento.

Para llegar a esta conclusión es necesario, además del análisis tectónico previamente formulado, traer hasta aquí el historial sísmico de la Isla Hispaniola, compuesto por seis grandes sismos ocurridos entre el año 1562 y el año 1946.

1.- 2 de diciembre de 1562: tres sacudidas que estremecieron toda la Isla y provocaron daños en Santiago, La Vega y Puerto Plata.

2.- 11 de febrero de 1783: terremoto que afectó la zona de Santiago de los Caballeros.

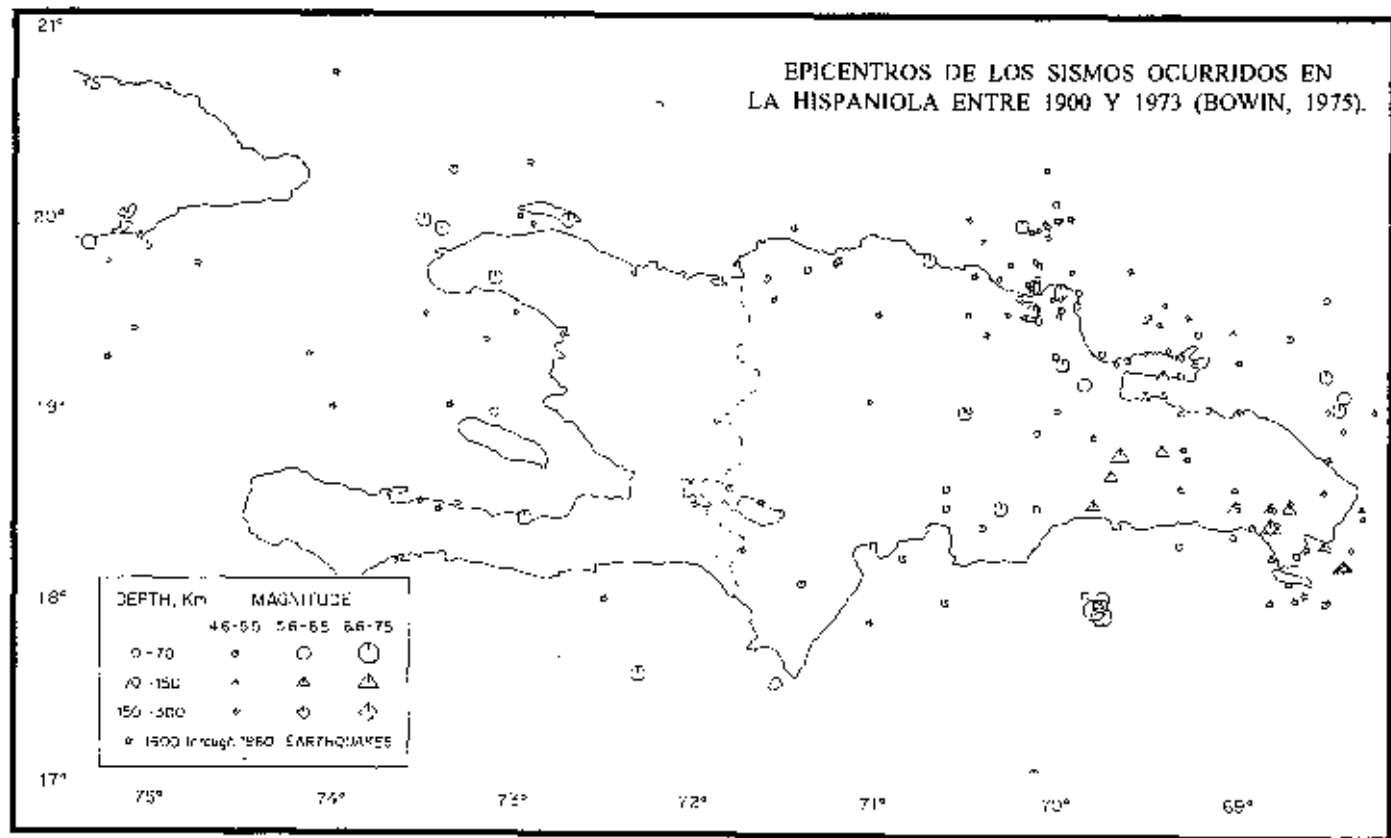
3.- 7 de mayo de 1842: terremoto que sacude la Isla y genera un maremoto que inunda a Monte Cristi y Cabo de Manzanillo, con daños que se extendieron hasta Samaná.

4.- 23 de septiembre de 1887: terremoto que afecta fuertemente a Cabo Haitiano, Port de Paix y Mole de San Nicolás.

5.- Junio de 1904: terremoto que afectó a Sánchez, Samaná y Cabo Haitiano con aproximadamente 6 mil personas muertas.

6.- 4 de agosto de 1946: fuerte terremoto que produjo oleajes que destruyeron el poblado de Matancitas en Nagua.

Como se aprecia, los bordes de las Placas de Norteamérica y El Caribe han aumentado su actividad sísmica en los últimos 200 años, pues de los seis grandes sismos que registra la isla desde el descubrimiento de América hasta el presente (todos ocurridos en el bloque septentrional), cinco han ocurrido a partir de 1783 con frecuencias de 59, 45, 17 y 42 años respectivamente, muy parecido al caso de Puerto Rico, cuyos tres mayores sismos ocurrieron en los años 1670, 1867 y 1918, los dos últimos con un intervalo de 51 años y con epicentros en la zona de contacto entre las Placas de Norteamérica y El Caribe.

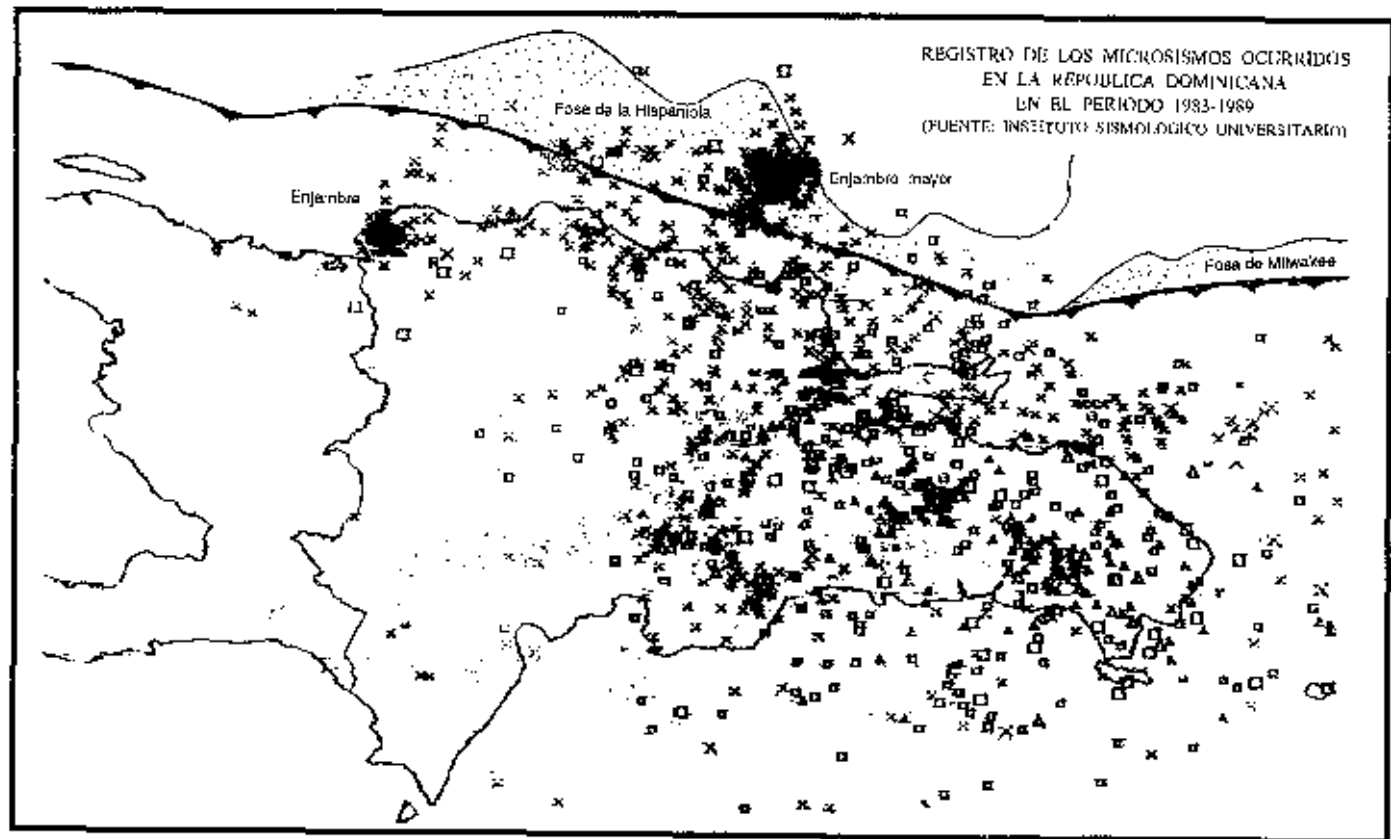


Los terremotos de 1546 y 1783 afectaron la zona de Santiago de los Caballeros, pero a partir de 1842 los mayores efectos se han concentrado en las zonas costeras de la región septentrional de la isla: Cabo Haitiano - Monte Cristi - Nagua.

En el período 1900 - 1973 ocurrieron aproximadamente 76 sismos de magnitud superior a 4.6 en la escala de Richter, cuyos epicentros estuvieron localizados en el territorio insular de la Hispaniola (71 en territorio dominicano y 5 en territorio haitiano). De igual modo, en ese mismo período ocurrieron aproximadamente 110 sismos de magnitud superior a 4.6 con epicentros situados en las zonas costeras de la isla (21 en las costas haitianas y 89 en las costas dominicanas). Como se ve, unos 160 sismos de magnitud superior a 4.6 en la escala de Richter ocurrieron en territorio dominicano entre 1900 y 1973, de los cuales alrededor de 80 tuvieron su epicentro en la región septentrional, la mayoría de ellos en la zona costera al este del meridiano $70^{\circ} 30'$, es decir, en las costas atlánticas comprendidas entre Puerto Plata y Samaná.

De 1983 a 1989 el Instituto Sismológico de la Universidad Autónoma de Santo Domingo registró cientos de microsismos ocurridos en territorio dominicano, entre los que se destacan dos extraordinarios "enjambres" donde los epicentros se superponen. El primero y de mayor extensión ocupa un área de aproximadamente 1,200 kilómetros cuadrados y está situado a 50 kilómetros al norte de Río San Juan, en lo que es el extremo oriental de la fosa de la Hispaniola, justo a lo largo del borde de la Placa del Caribe.

El segundo "enjambre", con una extensión de aproximadamente 300 kilómetros cuadrados se localiza en la zona Monte Cristi - Castañuelas - bahía de Manzanillo, donde la falla de la Hispaniola penetra a territorio insular.



Todos estos registros indican que la Hispaniola ha incrementado considerablemente su actividad sísmica, especialmente en su porción oriental y mayormente hacia el fragmento o bloque septentrional dominicano, lo que indica que desde el presente hasta el año 2005 hay un altísimo riesgo de ocurrencia de un gran terremoto que afecte la región norte de la República Dominicana entre Monte Cristi y Nagua con mayores daños en aquellas comunidades levantadas sobre suelos aluviales y suelos pantanosos.

RECOMENDACIONES

Vista esta situación debe crearse un organismo ejecutivo que estudie detalladamente el comportamiento sísmico de la región norte de la República Dominicana, instalando toda la instrumentación necesaria para un riguroso monitoreo, así como estudiando la naturaleza de los suelos donde se emplazan los principales centros urbanos de esa región, y de esa forma lograr reducir los daños que pudiese provocar un gran terremoto.

Al mismo tiempo la Secretaría de Estado de Obras Públicas y Comunicaciones debe ser extraordinariamente exigente a la hora de aprobar planos para las construcciones que se levanten en esta región, pues el riesgo sísmico de la región norte es mucho mayor y las condiciones de los suelos y las rocas varían mucho de un lugar a otro, aún dentro de una misma ciudad.

REFERENCIAS

- BOWIN, CARL.** The Geology of Hispaniola. The Ocean basins and margins, Vol 3, 1975.
- BOWIN, C., NAGLE, F.** Igneous and Metamorphic rocks of northern Dom. Rep.: an Uplifted Subduction zone Complex. 9a Conf. Geológica del Caribe, 1980.
- DENGO, GABRIEL.** Tectónica del Caribe: Visión retrospectiva y problemas regionales. 9a Conf. Geológica del Caribe, 1980.
- DILLON, W., Y OTROS.** Morphology, structure and active tectonism of the insular margin off northwestern Hispaniola. 12a Conf. Geológica del Caribe, 1989.
- DRAPER G., NAGLE, F.** Geological setting and characteristics of blueschist and eclogite bearing melanges in northern Hispaniola. 11a Conf. Geológica del Caribe, 1986.
- GUGLIELMO, G. y WINSLOW, M.** Geology of the eastern San Francisco push - up: northeastern Hispaniola. 11a Conf. Geológica del Caribe. 1986.
- LARUE, D.K. Y OTROS.** Neotectonics of the Puerto Rico Trench: Extensional Tectonism and Forearc Subsidence. 12a Conf. geológica del caribe. 1989.
- NADAI, A.C.** Tectonostratigraphy of the San Francisco Ridge area in the northeastern Cibao Valley, Dom. Rep. 12a Conf. Geológica del Caribe, 1989.
- NEMEC, M.C.** A two phase model for the tectonic evolution of the caribbean. 9a Conf. Geológica del Caribe, 1980.
- MADE - MORRISON.** El Terremoto: Etiología y Predicción Científica. Editora Universitaria, 1985.
- WALPER, J. L.** Geologic evolution of the greater Antilles. 9a Conf. geológica del Caribe. 1980.



Areniscas fuertemente plegadas y falladas por cabalgamiento.

SITUACION DE LA ROSARIO DOMINICANA

*Conferencia Presentada ante los Hombres de
Empresas, el 27 de abril de 1993 bajo los auspicios de Ecocaribe.*

Ing. Geól. Rafael Osiris de León

INTRODUCCION

Hablar del pasado y el presente de la Rosario Dominicana, S.A., es situarse entre lo real y lo imaginario, pues quienes se adentraron a la realidad de una Empresa que en el año 1980 vendió 260 millones de dólares y en el año 1981 vendió 203 millones de dólares, jamás pudieron imaginarse que en el año 1993 esta Empresa, todavía con reservas de oro y plata suficientes para más de 25 años de operación, se vería obligada a suspender sus actividades, a liquidar 1,250 empleados (87%) y a intentar redefinir su política de producción, debido a una liquidez total, consecuencia de una ínfima producción aurífera, traducida en pérdidas diarias, lo que le acumuló deudas superiores a los mil doscientos millones de pesos.

Actualmente la Rosario atraviesa por una de las etapas más difíciles y dolorosas de su historia, con un presente incierto y un futuro que depende de las tecnologías, las tecnologías dependen de los capitales, los capitales dependen de las decisiones y las decisiones dependen del Gobierno.

HISTORIA DE LA MINA

La historia de esta mina de oro y plata se inicia en la época precolombina, pues los colonizadores que habían llegado en el año 1492, decidieron en el 1495 organizar una expedición al interior de la isla, encontrando que la mina era trabajada por los indígenas, por lo que los españoles asumieron el control de la explotación aurífera, la que mantuvieron hasta el año 1525 cuando decidieron marcharse a otros territorios americanos tras la búsqueda de nuevos y más ricos depósitos de este precioso metal.

En el año 1950, el geólogo italiano Renato Zoppis de Sena, por encargo del Gobierno Dominicano de ese entonces, realizó estudios de las mineralizaciones sulfurosas de Pueblo Viejo, llegando a construir una pequeña planta piloto y concluyendo que no era posible recuperar el oro y la plata de los sulfuros a precios rentables, y que además, el cobre y el cinc contenidos en el mineral representaban muy baja ley, por lo que no era factible la operación con metales básicos.

En el año 1969, Rosario Resources se interesó por los sulfuros de Pueblo Viejo y comenzó a desarrollar sus exploraciones en las cercanías de las áreas donde el sulfuro era visible. Las perforaciones evidenciaron que por encima de los sulfuros había una capa oxidada que contenía valores de oro y plata y que el tonelaje de óxidos, equivalente a 27 millones de toneladas métricas con 4.23 gr Au/t y 21.6 gr Ag/t, justificaba la instalación de una planta con capacidad para 10,000 toneladas métricas al día, convirtiéndose así Pueblo Viejo en la mina de oro más grande de las Américas y una de las minas de oro a cielo abierto más grandes del mundo.

De esa forma la Rep. Dom. llegó a ser en el 5^{to} productor de oro del mundo.

Estudios posteriores permitieron a la Rosario añadir 14 millones de toneladas métricas de óxidos, localizadas en la zona de Monte Negro, así como otros 8 millones de toneladas en áreas circundantes, reservas estas que garantizaron la operación hasta el año 1991, aunque en los últimos años hubo que procesar mineral de baja ley.

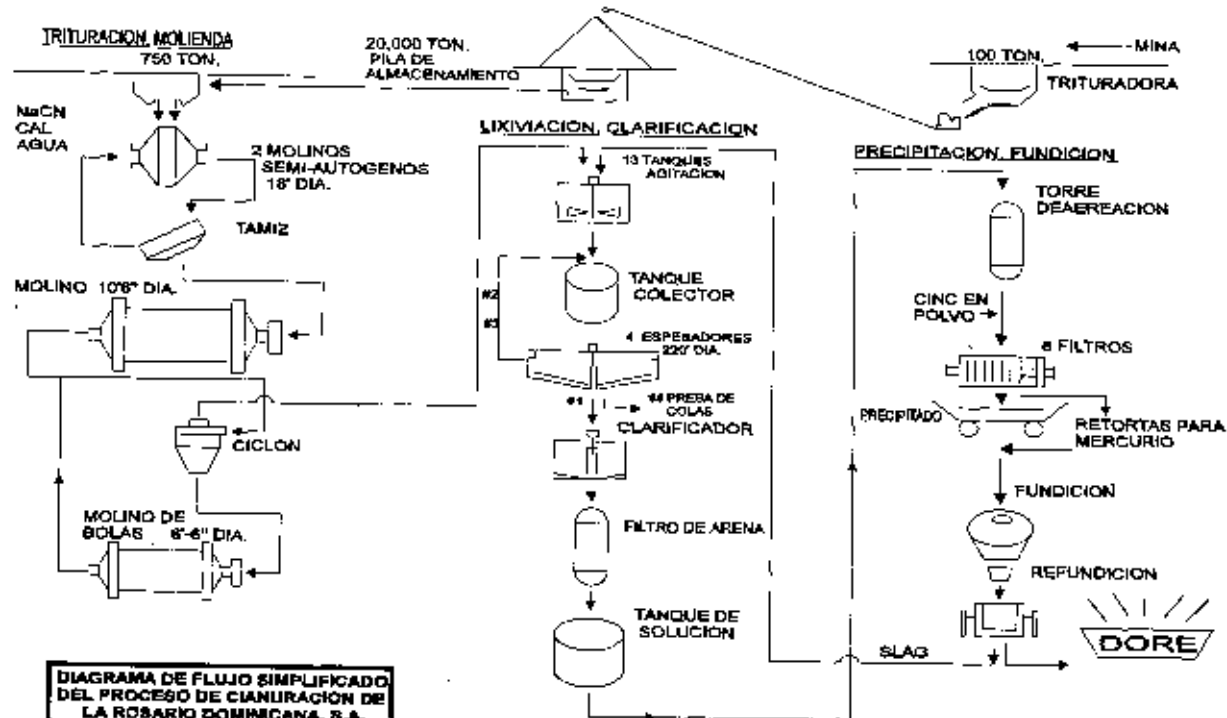
PROCESO DE EXTRACCION DEL DORE

El mineral de Pueblo Viejo es barrenado y dinamitado en bancos de 10 metros de altura. Este mineral ya fracturado es transportado en camiones de 50 toneladas que lo conducen hasta una trituradora de mandíbulas, desde donde es alimentado a molinos semiautógenos junto con cloruro de sodio y cal, en una proporción de 0.75 kg de cloruro por tonelada de mineral y 3 a 3.5 kg de cal por tonelada de mineral, logrando mantener una solución con pH igual a 11.8.

Luego de completar la fase de molienda clorurada, la pulpa obtenida es enviada a los tanques de agitación donde permanece unas 16 horas, para luego pasar a los espesadores, donde la solución enriquecida es separada de los sólidos mediante decantación. De ahí los sólidos, casi estériles, son enviados a una represa de colas y la solución enriquecida es bombeada a un clarificador, desde donde pasa a los filtros de arena y sigue hasta la torre de deaeración.

Antes de entrar a la refinería, la solución enriquecida recibe la adición de cnc en polvo para provocar la precipitación del oro y la plata, y el precipitado es recuperado mediante filtros prensados. Este precipitado es pasado por una retorta para extraerle todo el mercurio que pueda contener, no por razones económicas, sino como una medida de seguridad ambiental.

Finalmente el producto es sometido a fundición, donde se obtiene como resultado el lingote de doré, el cual contiene 20-25% de oro y 75-80% de plata.



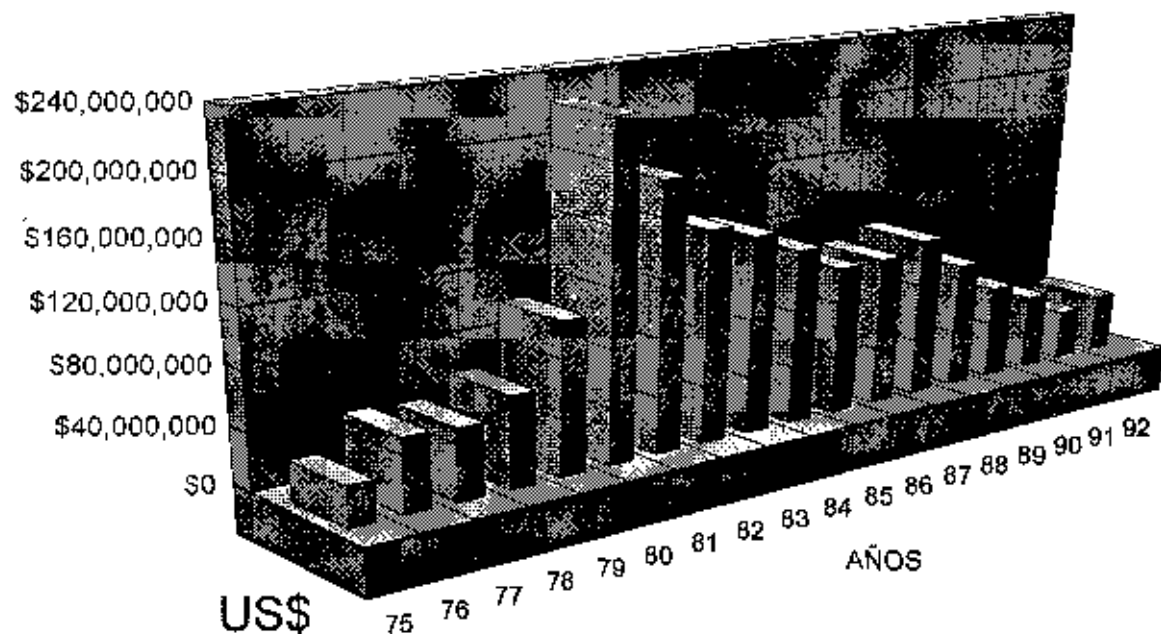
VOLUMENES DE VENTAS

Desde abril de 1975 hasta diciembre de 1992 la Rosario Dominicana, S.A. ha vendido 5,110,749 onzas troy de oro, lo que implica un promedio de 283,930.5 onzas anuales.

El producto de las ventas del oro en estos 18 años de operación alcanza la suma de U.S.\$1,721,481,948.00, equivalentes a un promedio de U.S.\$95,637,886.00 anuales, siendo los mejores años el 1980 con U.S.\$227 millones y el 1981 con U.S.\$184 millones, mientras que los peores años fueron el 1991 con U.S.\$35.7 millones (baja producción) y el 1975 con U.S.\$28 millones (debido a un año incompleto y a los bajos precios del oro).

PRODUCCION Y VENTAS DE ORO 1975-1992			
Años	Producción Oz.	Valor Exp. U.S.S.	Precio U.S.S.
1975	195,491	28,061,465	143.54
1976	413,789	514,44,553	124.33
1977	342,756	49,548,151	144.82
1978	342,830	63,364,600	184.82
1979	352,983	105,011,151	297.50
1980	370,940	227,119,143	612.28
1981	412,991	184,065,958	445.69
1982	386,309	146,632,418	379.57
1983	354,023	137,042,274	387.10
1984	338,273	122,136,391	361.06
1985	328,047	104,048,684	317.18
1986	285,458	104,540,544	366.22
1987	250,714	112,456,116	448.54
1988	203,655	88,968,525	436.86
1989	172,154	65,978,782	386.25
1990	138,637	53,236,608	384.00
1991	99,101	35,775,461	361.00
1992	122,598	42,051,114	343.00

Ventas de Oro de la Rosario Dominicana, S.A. 1975 -1992



La plata, aunque con una producción cuatro veces superior a la del oro, en estos 18 años de operación sólo ha reportado ventas por valor de U.S.\$185 millones, es decir, un promedio de U.S.\$10.3 millones por año.

En total, oro y plata han representado dividas por 1,906.5 millones de dólares, o sea, casi dos mil millones de dólares.

Si se comparan las exportaciones de la Rosario con las exportaciones totales de la Rep. Dom., se llega a la conclusión de que en algunas ocasiones las exportaciones de la Rosario representaron entre un tercio y un cuarto del total de las exportaciones. Este porcentaje disminuyó drásticamente con la caída de la producción de doré.

EXPORTACIONES DE LA REP. DOM. 1987-1991					
Producto	1987	1988	1989	1990	1991
Azúcar	165.3	161.6	193.1	177.5	167.1
Ferromquel	115.3	308.8	371.9	249.0	220.8
Doré (Oro/Plata)	120.1	98.1	69.8	57.0	39.6
Bauxita	4.1	1.7	0.9	0.5	0.2
Café	63.4	66.5	63.8	46.6	43.5
Cacao	74.9	69.9	47.9	46.0	34.8
Tabaco	19.5	24.1	14.2	21.9	19.1
Otros Productos	148.7	159.0	162.8	136.0	133.2
Totales	711.3	889.7	924.4	734.5	658.3
Aporte Mincero	33.7%	45.9%	47.9%	41.7%	39.6%
VALORES EXPRESADOS EN MILLONES DE U.S.\$					
FUENTE: OFICINA NACIONAL DE ESTADISTICAS					

Hasta el 17 de octubre de 1979 el 54% de las acciones de la mina eran propiedad de la Rosario Resources y la Simplot Industries, pero a partir de esa fecha el Estado Dominicano adquirió la totalidad de las acciones mediante el pago de 70 millones de dólares, tomados a título de préstamo a un pool de bancos extranjeros encabezados por American Express. A partir de entonces todos los ingresos por concepto de

exportaciones de doré quedaron en manos del Banco Central de la República Dominicana, quien posee el 98% de las acciones.

PROYECTO DE TRANSICION

Dado el hecho que la explotación de la capa oxidada vino como resultado de la casualidad y no como parte del interés original de la Rosario Resources, desde el momento mismo en que se inició la producción de oro y plata, la Rosario encargó a diferentes laboratorios internacionales especializados en metalurgia extractiva, para que determinaran el método más adecuado para la explotación de los sulfuros, explotación que habría de comenzar inmediatamente se agotaran los óxidos.

Luego de muchos años de investigación se llegó a la conclusión de que la forma más viable para la recuperación del oro y la plata era mediante el método de tostación, por lo que la Fluor Engineer, recomendó a la Rosario instalar una planta de tostación con producción de ácido sulfúrico, en la cual se invertirían alrededor de 440 millones de dólares y se lograría una producción diaria de 1000 onzas de oro, 2,600 onzas de plata y 2,000 toneladas de ácido sulfúrico. Este proyecto se iniciaría en el año 1986 y concluiría en el año 1990, para lo cual contaría con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo que financiaría el 70% de la inversión.

Sin embargo, el 12 de septiembre del mismo año 1986, el proyecto de los sulfuros fue paralizado por el nuevo Gobierno, hasta tanto se determinara el nivel de daños que provocaría al medio ambiente de la zona.

Esta paralización duró más tiempo de lo previsto, y mientras el tiempo transcurría sin decisiones, los molinos agotaban las últimas reservas de mineral oxidado, razón por la cual la Empresa se vio precisada a ensamblar un proyecto que le permitiera subsistir en lo que el Gobierno tomaba su propia decisión.

De ahí surgió el proyecto de transición, el cual consistía en adecuar la planta para colocarla en capacidad de procesar un mineral parcialmente oxidado y parcialmente sulfuroso, debido a que este mineral representaba la capa intermedia entre los óxidos y los sulfuros.

Este proyecto implicaba además la construcción de una nueva presa de colas, pues la presa original, cuya cortina había sido aumentada en diferentes etapas, ya no tenía capacidad para nuevos residuos del proceso.

En principio la inversión fue proyectada para 25 millones de dólares, pero el 23 de abril de 1992, fecha en que fue inaugurada la parte nueva de la planta, se anunció que el costo fue superior a los 30 millones de dólares, inversión que fue cubierta con recursos propios de la Rosario, lo que ha sido considerado como una decisión errónea.

SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA

No obstante acabar de cumplir un año de reinaugurada, la planta de la Rosario Dominicana no ha podido cumplir su cometido con el mineral de transición, debido a que este mineral es mayormente sulfuroso, por lo que es extremadamente duro, con una molidurabilidad de unos 15 Kwh/Ton, y al no haberse aumentado la capacidad de molienda de la planta, sólo es posible moler alrededor de 4000-5000 toneladas diarias, de las cuales apenas se recupera del 45 al 50% del oro contenido, lo que hace que la producción diaria sea inferior a 250 onzas troy de oro, cuando a lo largo de sus primeros 11 años la producción diaria era de unas 1000 onzas diarias.

Ante esta baja producción, costos operacionales fijos considerablemente altos, nómina de aproximadamente 1450 empleados con altos salarios y amplios beneficios marginales, así como deudas acumuladas por más de mil doscientos millones de pesos, el Consejo de Administración de la Rosario Dominicana anunció el día 14 de marzo de 1993 la suspensión temporal de sus actividades, pues producir una onza de oro costaba RD\$6,688.00, mientras que el precio de venta era de RD\$4,400.00, lo que implicaba una pérdida de RD\$2,288.00 por cada onza producida.

En esa fecha fueron suspendidos 1,050 empleados y posteriormente, en fecha 23 de abril de 1993, fueron suspendidos otros 200 empleados, con lo que el total asciende a 1,250 despedidos.

CAUSAS DE LA DESCAPITALIZACION

1.- Elevados Impuestos cobrados por el Estado.

1976-1985 Rosario pagó RD\$787 Millones

1986-1992 Rosario pagó RD\$980 Millones

Aunque de 1976 a 1992 la Rosario pagó RD\$1,767 millones por concepto de impuestos, el jueves 23 de enero de 1992 en la comunidad de Las Tablas, Baní, el presidente de la República dijo que el Estado "apenas percibe migajas de los impuestos que se le cobran a las exportaciones de oro, que son muy pequeñas".

2.- Disminución continua de los volúmenes de producción en los últimos 10 años, lo que disminuyó los ingresos de la Empresa. Las razones son:

ROSARIO DOMINICANA S. A.

Relación de Ingresos y Pagos de Impuestos 1986 - 1992

INGRESOS POR	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992 (a Nov.)	Total
Ventas De Oro	102,901,395	111,323,547	88,994,715	63,695,275	52,676,299	35,780,040	23,275,721	478,646,982
Ventas De Plata	7,128,055	8,191,133	8,848,100	3,944,908	3,314,961	2,798,857	1,631,489	35,857,503
Total (RD\$) Ingresados	110,029,440	119,544,680	97,842,815	67,640,183	55,991,260	38,578,897	24,907,210	514,504,485
Prima Cambiaria	185,550,938	307,311,869	470,524,384	358,764,729	430,853	441,288,091	283,872,334	2,478,165,928
Total (us\$) Ingresados	295,580,378	426,826,549	568,367,199	426,404,912	485,944,843	479,866,988	308,779,544	2,992,670,413
IMPUESTOS								
Impuesto Sobre La Renta	86,500,000	20,000,000	162,304,905	10,611,629	96,749			118,330,900
Impuesto Exportación Dore		8,286,520	170,560,960	162,570,770	61,324,310	9,519,160	10,000,000	442,261,720
Recargo Cambiario			6,821,772	16,856,820	14,926,022	19,215,324	6,656,036	64,476,074
Provincia Sánchez Ramírez	2,228,496	2,196,956	3,172,526	3,501,208	383,333	83,483		11,566,005
Total De Impuestos	88,728,496	212,483,479	342,860,163	193,540,527	96,730,413	28,817,967	16,656,036	979,817,081
Porcentaje De Las Ventas	30.02%	49.78%	60.32%	34.00%	19.87%	6.01%	5.39%	32.74%

A) Agotamiento del mineral oxidado de alta ley y procesamiento de un mineral oxidado de baja ley.

B) Procesamiento de un mineral de transición de buena ley, pero de alta dureza, lo que disminuye la capacidad de molienda en un 50% y disminuye la recuperación de oro y plata a la mitad de lo normal. Por esto la producción de oro cayó a menos de 250 onzas diarias.

3.- Desarrollo de un proyecto de transición con recursos propios, lo que provocó fuertes endeudamientos con suplidores y contratistas. Se estima que este proyecto en realidad terminó costando cerca de 50 millones de dólares.

Las deudas de la Rosario ascienden a más de mil doscientos millones de pesos, disponiendo tan sólo de 20 centavos por cada peso adeudado.

PERSPECTIVAS HACIA EL FUTURO

SULFUROS

No obstante la difícil situación económica por la que atraviesa la Rosario Dominicana, la realidad es que la Empresa dispone de reservas de sulfuros ascendentes a unos 100 millones de toneladas métricas, con un contenido promedio de 4 gramos de oro y 20 gramos de plata por tonelada, así como una concentración de cinc de 0.9%, lo que representaría más de cinco mil millones de dólares a precios actuales, aunque las perspectivas son de aumento en los precios del oro.

Estas reservas probadas garantizarían la operación de la planta por unos 30 años más, a un régimen de 10,000 toneladas métricas por día, con una recuperación de 1,000 onzas diarias de oro, 4,000 onzas diarias de plata y 90 toneladas diarias de cinc.

COMPARACION ALTERNATIVAS				
Minas	<i>Golden Sunlight</i>	<i>Cortez Mine</i>	<i>Goldstrike Barrick</i>	<i>Rosario Dominicana</i>
Localidad	<i>Montana E.U.A.</i>	<i>Nevada E.U.A.</i>	<i>Nevada E.U.A.</i>	<i>Cotuí Rep. Dom.</i>
Tecnología	Molienda Fina	Tostación	Oxidación a Presión	A definir
Ley Mineral	1.4 gr Au/Ton	3.5 gr Au/Ton	6.0 gr Au/ton	4.1 gr Au/Ton
Sulfuros	3.0-4.5%	< 2 %	3.0%	8 %
Producción	6,000 Ton/Día	2,000 Ton/Día	16,000 Ton / Día	9-10,000 Ton/Día
Recuperación	77 %	85 %	92%	A definir
Daños Ambientales	NO	NO	NO	NO
Funcionabilidad	O.K.	Mala	O.K.	A definir
Inversión	Moderada	Alta	Alta	
Requerida en R.D.S.A	U.S.\$130 Millones	U.S.\$297 Millones	U.S.\$297 Millones	

ROSARIO DOMINICANA, S. A.		
EXPLOTACION SULFUROS		
METODO	Tostación	Molienda Fina + Flotación
Inversión U.S.\$	297 millones	130 millones
Ventas Oro U.S.\$	132.48 m / año	119.71 m / año
Ventas Plata U.S.\$	3.28 m / año	6.38 m / año
Totales U.S.\$	135.76 m / año	126.09 m / año
Costos de Producción	-72.60 m / año	-107.35 m / año
Costos Financieros	-39.39 m / año	-17.19 m / año
Saldo Anual	U.S.\$ 23 Millones	U.S.\$ 1.55 Millones

Para la explotación de los sulfuros fueron contempladas las opciones de tostación, biolixiviación y lixiviación a presión, siendo las dos últimas descartadas debido a que la biolixiviación o lixiviación bacteriana sólo ha sido probada en plantas pequeñas que no sobrepasan las 1,000 toneladas diarias y que la lixiviación a presión implicaba muy altos costos operacionales.

En diciembre de 1990 el gobierno dio luz verde al Proyecto de Los Sulfuros, y, quedando sólo la opción de tostación, se encaminaron pruebas finales en los laboratorios de Lurgi Metallurgie Industriebau-GmbH, en Alemania, considerando la tecnología de tostación Lurgi y la tecnología de tostación Fuller, optando Rosario por la tecnología de tostación Lurgi, la que fue presentada oficialmente por los ejecutivos de la Rosario el miércoles 25 de marzo de 1992 en una reunión a la que fuimos invitados profesionales, ejecutivos y periodistas ligados a la minería dominicana.

Bajo esa óptica ya habían sido invitadas 18 grandes empresas mineras de prestigio internacional para que ofertaran la ejecución de un proyecto llave en mano. De esas 18 firmas, sólo seis fueron calificadas en octubre de 1991, aunque los dos primeros lugares han sido posteriormente otorgados a la inglesa Davy McKee-American Express y a la brasileña Paulo Abib-Andrade Gutiérrez, la primera con una oferta global de U.S.\$248.5 millones y la segunda con una oferta de U.S.\$199.98 millones. Obviamente que estas ofertas, entregadas el 27 de mayo de 1992, fueron evaluadas no sólo en su aspecto económico, sino en todo su alcance de trabajo.

No obstante, en los últimos meses Rosario Dominicana ha dado marcha atrás con la tecnología de tostación, pues las visitas realizadas a algunas minas sugieren ciertos problemas con la aplicación de esta tecnología, además de que la Empresa teme que la alta inversión para la planta de tostación, la cual asciende a unos 297 millones de dólares, provoque una reacción adversa por parte del Gobierno.

Por esta razón solicitó a Davy McKee preparar un análisis comparativo de la opción de tostación versus una nueva opción de molienda fina y flotación, análisis que fue entregado el pasado mes de enero y donde se aprecia que el costo de operación para molienda fina más flotación es de U.S.\$29.41/Ton en contra de

Resumen Ejecutivo						DAVY
Opciones de Tostación: Molienda Fina y Flotación ESTUDIO DE Sulfuros PUEBLO VIEJO						
ROSARIO DOMINICANA, S.A.						
Opción:						
Descripción	Tecnología de Tostación LURGI Lavado de Caliza de Gas Residual de Tostador		Tecnología de Tostación FULLER Lavado de Caliza de Gas Residual de Tostador		Molienda Fina y Flotación Molienda Fina= P=80 -10 Micron.	Molienda Fina y Flotación Molienda Fina= P=80 =5 Micron.
	Capacidad Diseño TPD	10.000	15.000	10.000	15.000	10.000
%Rec. de Oro a Dore	83,0%	83,0%	83,0%	83,0%	64,0%	75,0%
%Rec. de Plata a Dore	35,0%	35,0%	35,0%	35,0%	50,0%	68,0%
Inversión en Millones / US\$	296,85	386,53	271,13	355,72	124,17	129,55
Costo/Operac. U.S.\$/ton	19,89	17,37	19,89	17,37	27,28	29,41
Vida de la Mina/Años	17	11	17	11	17	17
Tasa Interna de Retorno	6,21	5,73%	8,43%	8,68%	14,54%	22,47%

TPD= Toneladas métricas por día

NOTAS:

- 1) 3 Gr / ton Grado de Corte de Oro
- 2) Precio de Venta US\$ 340 / Onza de Oro
- 3) Tasa de Interés del Préstamo 8%
- 4) Período de Pago del Préstamo: 12 Años para Opción 10.000 TPD
10 Años para Opción 15.000 TPD
- 5) Capital de Explotación del Propietario excluido del Costo de Capital del Proyecto.
- 6) Depreciación e Impuestos están excluidos de la Evaluación Financiera.

U.S.\$19.89/Ton para la opción de tostación. Sin embargo, molienda fina sólo requiere una inversión de 130 millones de dólares.

Davy McKee ha calculado una tasa Interna de retorno de 22.47% para la opción de molienda fina, asumiendo ventas de cinc por valor de 28.65 millones de dólares anuales, pero advirtiendo que la presencia de mercurio, arsénico o cadmio dentro del cinc, podría provocar un rechazo del producto en el mercado. En ese mismo informe se dice que "la venta de concentrado de cinc es esencial para la viabilidad de este proyecto", y es que si excluimos el cinc del análisis económico, la tasa interna de retorno del proyecto cae a -1.03% (negativa).

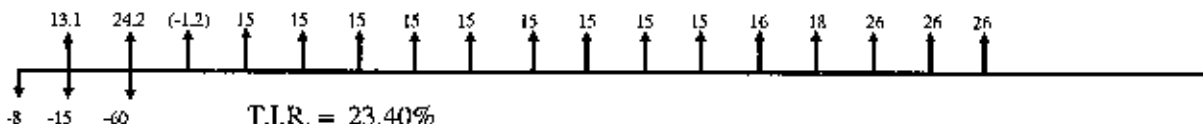
Rosario Dominicana, está consciente de que no puede echar hacia adelante la opción de molienda fina con un costo de producción de U.S.\$29.41 por tonelada, lo que hace que la rentabilidad del proyecto dependa esencialmente de las ventas de cinc, y un proyecto de oro y plata, no puede apoyar su rentabilidad en las ventas de un subproducto como el cinc. Por esta razón, se está analizando esta opción de molienda fina con una inversión de 83 millones de dólares, en lugar de la inversión de 130 millones contemplada por Davy McKee y con un costo operativo de U.S.\$26.00/Ton, en lugar de los U.S.\$29.41 originalmente propuestos. Parte de esta inversión sería para duplicar la capacidad de molienda de la planta.

De esta forma, la tasa interna de retorno se elevaría a 23.40% sin las ventas del cinc y a 38.18% con las ventas

del cinc. Bajo esta óptica el proyecto es viable indistintamente de la comercialización del cinc, y la inversión sería escalonada, con montos de 6, 15 y 60 millones de dólares respectivamente, pero con producción de oro y plata a partir de este mismo año 1993. Innegablemente que esta sería la mejor opción en las actuales circunstancias.

**PROYECTO EXPLOTACION SULFUROS ROSARIO DOMINICANA
METODO: MOLIENDA FINA + FLOTACION**

A:



NO SE CONSIDERAN VENTAS DE CINC

V.P.N, $i = 8\% = \$141 \times 10^6$

I = 8%

N = 12 Años (Período Amortización Préstamos)

Vida útil = 17 Años

Au = U.S.\$340.00/Onza Troy. Ag = U.S.\$4.00/Onza Troy

Costo de Producción = U.S.\$26.00/Ton Met.

Recuperación = 600 Onzas Au año 1; 800 Onzas Au a Partir del año 3.

1000 Onzas Au a Partir del año 4.

Cinc = U.S.\$300.00 / Ton Met.

B:



CONSIDERANDO VENTAS DE CINC

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Aunque originalmente la Rosario Dominicana había anunciado que la tecnología de tostación Lurgi garantizaba la recuperación del 98% del dióxido de azufre liberado en el proceso, y que las emisiones al medio ambiente serían inferiores a 180 partes por millón; hoy día, la propia Rosario tiene sus reservas respecto a la funcionabilidad del método y entiende que para garantizar una verdadera protección del medio ambiente es necesario desestimar la tecnología Lurgi y recurrir a la opción de molienda fina más flotación, ya que en esta metodología no habría producción de dióxido de azufre, pues el mineral sería finamente molido hasta 5 micrones y luego cianurado, con lo que desaparece cualquier posibilidad de dióxido de azufre y se garantiza la protección ambiental.

CONCLUSION

La recuperación de la Rosario Dominicana, S.A., es una variable que depende de una inversión inferior a 100 millones de dólares, con un proceso de explotación que garantice costos operacionales inferiores a 26 dólares por tonelada y recuperación de oro entre 800 y 1000 onzas troy por día. La plata y el cinc representarían beneficios marginales. No obstante, Rosario requiere de la asesoría de una firma extranjera con amplia experiencia en sulfuros, la cual pueda gerenciar el proyecto en las más amplias condiciones de rentabilidad.

AGRADECIMIENTOS

Al llegar al final de esta obra es preciso extender nuestras sinceras e infinitas gracias a todas aquellas personas e instituciones que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo de los estudios geológicos aquí presentados, así como a las personas e instituciones que gentilmente nos invitaron a disertar sobre esos temas, y a todos quienes asistieron a las mismas. Gracias al Dr. Mario Read Vitini, Gobernador del Banco Central de la Rep. Dom. por apoyar al Museo Nacional de Historia Natural en esta nueva publicación geológica.

Agradecemos a la Rosario Dominicana, S. A., especialmente al Mayor General Antonio Imbert B, Milke Seaward, Norman Russell, Miguel Peña, Victor Beras C., Germán Gómez T. y Enrique Vidal por la confianza que siempre depositaron en nosotros, del mismo modo que agradecemos a Cosme Rodríguez, Nelson E. Suárez, Junji Ito, Rune Johansson, Reyito, Bartolo, Facundo, Freddy, Chucho, Soto y Casilla por su extraordinaria colaboración en los trabajos de exploración aurífera en Loma Nandita.

Agradecemos a la Corporación Dominicana de Empresas Estatales y a la Dirección General de Minería por su aportes en favor del proyecto para la elaboración del Cemento Puzolánico, principalmente al Ing. Caonabo Javier C. quien siempre ha tenido fe en este proyecto. También han sido valiosos los aportes de Epifanio Rojas, René Jorge, César Mojica e Hipólito Calix, además de la Falconbridge Dominicana, donde gentilmente fueron realizadas las pruebas de difracción de rayos X.

Gracias sinceras a Epsa-Labco y al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI), quienes hicieron posible los estudios geológicos de las presas de Chacuey y Maguaca. Gracias al Dr. Manuel Gómez Achezar, al Ing. José Ordeix (E.P.D.), al Ing. Yovanny Pimentel, al Ing. Nelson E. Suárez, al Ing. Fernando Jiménez y a Lissandro Herrera.

Del mismo modo, los estudios geológicos de la Sierra de Neiba no hubiesen sido posibles, sin la colaboración del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, especialmente del Ing. Odalis Pérez Pérez, Ing. Emmanuel Shachnai, Ing. José F. Febrillet, Ing. Nelson E. Suárez e Ing. Eddia Bueno. Estos estudios sirvieron de base para definir el comportamiento hidrogeológico de las calizas de esa región.

Gracias a la Dirección General de Minería, al Ing. Gerald Ellis, a la Lic. Yomara Linares, al Dr. Walter Eberle, al Agrím. Lorenzo Varona y a otros tantos que siempre han colaborado con nuestros trabajos geológicos.

Gracias al Colegio Dominicano de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores (CODIA), principalmente al Ing. Manuel de la Rosa Saldivar, al Ing. Arismendy Rivas, al Ing. Luis Rodríguez, al Ing. Carlos Difoné, al Ing. Eliseo Morfe, al Ing. Ramón Núñez R. y al Ing. Gustavo Tejada quienes en múltiples ocasiones nos invitaron para disertar sobre muchos de los temas aquí recogidos. Agradecemos también al Ing. Tirso Peláez, quien a través de la revista CODIA ha publicado algunos de estos trabajos.

Gracias al Ing. Caonabo Javier Castillo, quien en su condición de Director General de CORDE auspició las conferencias que presentáramos en Saint Croix, Islas Vírgenes, en la 12a Conferencia Geológica del Caribe.

Gracias también a la Fundación Siglo XXI y al Grupo ECOCARIBE, especialmente al Lic. Eduardo García Michel, al Lic. Manuel Cocco y al Lic. Isidoro Santana, quienes auspiciaron la conferencia relativa a la Situación de la Rosario Dominicana, S.A. Agradecemos también al Museo Nacional de Historia Natural, en nombre de su Director, el Dr. Abelardo Jiménez Lambertus, quien decidió apoyar incondicionalmente esta publicación, y gracias al profesor Eugenio de Js. Marciano, quien siempre nos apoya en este tipo de publicaciones, al igual que el Lic. Renato O. Rimoli.

Gracias a Teresa y a Clara quienes trabajaron duramente en la mecanografía, a Dioris Pérez, Belén Barranco, Abelardo Jiménez y Anísla Risi por su gran colaboración para la revisión de los textos; y a Clara Gómez, Benigno Polanco y Miguel Frómata por sus extraordinarios aportes en la diagramación e impresión.

Gracias a toda la prensa por su continuo apoyo, especialmente a Carlos T. Martínez, Bonaparte Gautreaux P., José Alberto Martínez, Christian Jiménez, al Listín Diario, Pedro Caba, José Diego, Hernán Santana, Miguel Guerrero y Víctor Merejo.

A mis familiares y amigos, principalmente los que siempre han apoyado estas iniciativas y a los que como Rosita, Marianela, Alvin, Angie y Stephanie, han debido soportar mi ausencia por 'Andar Recogiendo Piedras entre los Montes'.

PUBLICACIONES ANTERIORES DEL MNEH:

- EL CONGLOMERADO BULLA, 1981.
- FORMACION MERCADO, 1981.
- FORMACION LA ISABELA - PLEISTOCENO TEMPRANO, 1982.
- ASPECTOS GEOLOGICOS E HIDROGEOLOGICOS DE LA REGION SUROESTE, 1983.
- GEOLOGIA DE LA SIERRA DE BAHORUACO, 1989.

RAFAEL OSIRIS DE LEÓN

1994

Conferencias Geológicas

Santo Domingo, R. D.

Publicado en agosto de 1994.

COLOFON

**Esta publicación consta de 1,000 ejemplares,
se terminó de imprimir el día 3 de agosto de 1994,
en la División de Impresos y Publicaciones
del Departamento Administrativo,
Banco Central de la República Dominicana.**

Hemeroteca-Biblioteca



010568

