



## COMPORTAMIENTO DE LOS CAMPOS POTENCIALES EN EL AREA CAYO FRAGOSO- BUENAVISTA- CAYO COCO.

**Carlos E. Sánchez Alarcón<sup>(1)</sup> y José L. Prol Betancourt<sup>(2)</sup>**

(1) Empresa de Geofísica, 19 # 910, Vedado Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba, e. mail: egmartin@cupet.minbas.cu

(2) Empresa de Geofísica, 19 # 910, Vedado Plaza de la Revolución, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect : egmartin@cupet.minbas.cu

### RESUMEN

Los datos procesados, para el área Cayo Frago- Bahía de Jigüey- Cayo Coco, provienen de los catálogos o mediante la digitalización de los mapas en reducción Bouguer de varios levantamientos gravimétricos. El objetivo que se persigue es caracterizar el comportamiento de los campos potenciales y la respuesta de estos ante estructuras reveladas por la sísmica. Después de realizadas las transformaciones del campo y su correspondiente interpretación, unido a datos sísmicos y de pozos, llegamos a varias conclusiones interesantes, entre las que sobresale la coincidencia de máximos gravimétricos con estructuras conocidas o recién reveladas por la sísmica.

### ABSTRACT

Processed data, for Cayo Frago- Bahía de Jigüey- Cayo Coco area, proceed from catalogues or by mean of Bouguer anomaly maps digitalization of several gravimetric researches. We persecute the objective to characterize potential fields behavior and the answer of this fields in presence of disclosed structures by seismic methods.

After of realized the field transformation and it interpretation in combination with seismic and well datum, we find out interesting concludes, surpassing the coincidence between gravimetric maximum and known structures or recently disclosed by seismic methods.

### INTRODUCCION

La zona de los trabajos está enmarcada dentro del área comprendida entre Cayo Coco, Cayo Frago y Bahía de Jigüey, al norte de las provincias Camaguey y Las Villas (Fig.1), en un mar poco profundo al que le es característico la presencia de una gran cantidad de bajos, arrecifes e islas muy diferentes por sus dimensiones.

Este trabajo, realizado por especialistas del Grupo de Campos Potenciales de la EG, tiene por objetivo caracterizar el comportamiento de los campos potenciales en el área, así como, la respuesta de estos campos ante estructuras reveladas por la sísmica.

### MATERIALES Y METODOS

El área de los trabajos está cubierta por cuatro levantamientos gravimétricos marinos y dos terrestres. El más abarcador de ellos [1] es sobre el Archipiélago de Camagüey en el que se incluyen los cayos Sabinal, Guajaba, Romano, Coco, Guillermo y la Bahía de Jigüey. En este levantamiento se realizaron mediciones en tierra, marinas someras con trípode y un poco más



profundas (hasta 20 m) con gravímetros de fondo. La densidad promedio de puntos por Km<sup>2</sup> es de 3.7 que cumple con la escala planificada para el mapa (1: 100 000), según las instrucciones vigentes [2].

Los puntos de apoyo iniciales (9) forman parte de la Red Estatal de Apoyo creada por el ICGC. Para las observaciones en los cayos; la posición en el plano, así como las alturas, se determinaron a partir del mapa a escala 1: 50 000. En las observaciones marinas, la profundidad de los puntos con respecto al nivel del mar se determinó por medio del escandallo para el gravímetro de fondo y la tabla graduada para las mediciones con trípode. Los puntos en el plano se ubicaron según el sistema radiogeodésico "Poisk". La precisión de las anomalías en reducción Bouguer es de  $\pm 0.58$  mGal. El campo normal se calculó según la Fórmula Internacional de Cassini de 1930

El segundo levantamiento [3], desarrollado en la región de Buenavista- Cayo Francés, incluye además los cayos Santa María y Frago. Este levantamiento fue realizado en dos etapas: una primera etapa de unos 700 Km<sup>2</sup> en 1: 50 000 y la segunda etapa (1600 Km<sup>2</sup>) en 1: 100 000. La densidad de puntos por Km<sup>2</sup> fue de 1 y 6 respectivamente. Las mediciones están referidas a la Red Estatal de Apoyo del ICGC y ubicadas en el plano mediante el sistema radiogeodésico "Poisk".

El valor normal de la fuerza de gravedad se determinó por la Fórmula Internacional de Cassini de 1930. La precisión del valor de anomalía en reducción Bouguer es de  $\pm 0.52$  mGal.

Otro trabajo gravimétrico presente en el área es el realizado al norte de Punta Alegre [4] por una Cía. Norteamericana en 1954 sobre el que existe un breve informe que no contiene datos geológicos ni indicaciones sobre la metodología de las observaciones y trabajos de gabinete. No hay datos sobre la densidad de las observaciones, los puntos de observación no están indicados en el mapa y no existe el registro de las observaciones.

El informe sólo posee un mapa de anomalías en reducción Bouguer (escala 1: 100 000 con isolíneas a 1 mGal) y mapas de anomalías residuales en la misma escala.

La nivelación de este levantamiento con los anteriores se hizo originalmente por medio de la coincidencia de algunos puntos entre las observaciones del levantamiento norteamericano con el de Buenavista- Cayo Francés. Fue imposible realizarlo con los puntos de apoyo porque en el mapa norteamericano estos puntos no están destacados del resto.

En este trabajo, para mayor seguridad se unieron los datos obtenidos al copiar el mapa norteamericano (digitalizado por isolíneas) y los correspondientes al catálogo del levantamiento sobre el Archipiélago de Camagüey. Al comparar el mapa obtenido; con el de Buenavista- Cayo Francés se observa una perfecta coincidencia.

Datos complementarios fueron extraídos del levantamiento de aguas profundas [5] realizado por especialistas de la otrora Unión Soviética en dos etapas y a diferentes escalas: una al sur de las provincias Matanzas- Habana- Pinar del Río (por debajo de la Isla de la Juventud) con escala 1: 500 000 y la otra al norte de la región bajo estudio, con escala 1: 100 000 que es precisamente el área de nuestro interés. Los puntos de medición están amarrados a la Red Nacional creada en 1987. La precisión del enlace planimétrico es de  $\pm 27$  m y el error cuadrático medio en la determinación de la profundidad es de  $\pm 2$  m. En total se hicieron 1088 Km de perfiles lineales con una red de 2- 6 x 4- 10 Km y los puntos cada 1 Km.

El campo normal fue calculado según la fórmula de Helmert de 1909, lo cual motivó que los datos de este levantamiento fueran recalculados, pero esta vez, según la Fórmula Internacional de Cassini de 1930, para poder llevarlos al mismo nivel del resto de los levantamientos. Los valores anómalos de gravedad obtenidos según la Fórmula Internacional se calcularon mediante:

$$\Delta g_B (\text{Cassini}) = \Delta g_B (\text{Helmert}) + \gamma_o (\text{Helmert}) - \gamma_o (\text{Cassini}) \quad \text{con } \sigma = 2.3 / \text{cm}^3$$

donde:

$$\gamma_o (\text{Helmert}) = 978030 (1 + 0.005302 \sin^2 \varphi - 0.000007 \sin^2 2\varphi)$$

$$\gamma_o (\text{Cassini}) = 978049 (1 + 0.0052884 \sin^2 \varphi - 0.0000059 \sin^2 2\varphi)$$



Debemos plantear que a pesar de la baja precisión en la determinación de las anomalías en reducción Bouguer ( $\pm 3.16$  mGal) la visión que se tiene del campo regional es objetiva; que es lo que, conocida esta situación, pretendimos a la hora de complementar los datos con información de este levantamiento.

La información terrestre adicional es la correspondiente a dos levantamientos diferentes: Mayajigua- Morón [6] y La Gloria [7], ejecutados fundamentalmente por especialistas de la EG entre los años 1975- 80, empleando gravímetros Sharp. La densidad de puntos por Km<sup>2</sup> es osciló entre 4 y 6, lo cual cumple con los requerimientos para la escala proyectada, todos amarrados a la Red Nacional. El error medio cuadrático del valor de anomalía en reducción Bouguer estuvo entre  $\pm 0.15$  y  $0.17$  mGal. Para el cálculo del campo normal se empleó la Formula Internacional de Cassini de 1930. Son levantamientos que cumplen con las instrucciones vigentes [2].

Entre los levantamientos de tierra firme realizados después de 1970 y los de mar somero (incluyendo los cayos) no existen áreas de superposición; por lo que la nivelación entre estos se hizo a partir de los criterios de Sazhina (reconocidos y comprobados en la práctica) que plantea que los levantamientos al norte tienen un nivel superior (del orden de  $1.3$  mGal), siendo precisamente esta la corrección que se le aplicó a los levantamientos del área bajo estudio. En resumen, el levantamiento Mayajigua- Morón y el de aguas profundas están a un mismo nivel (Red Nacional), el resto fue llevado a este nivel.

### **Acerca de las Anomalías Regionales y Locales.**

Antes de pasar a describir el comportamiento de los campos potenciales debemos remarcar dos aspectos importantes:

- a) Todas las anomalías definidas por sólo uno o dos puntos, o las anomalías en el empalme entre levantamientos deben ser consideradas como muy poco seguras.
- b) El levantamiento de aguas profundas ofrece una visión bastante buena sobre el cuadro regional, no así acerca de las anomalías locales, las que pueden estar enmascaradas por los errores en los valores de Anomalía en Reducción Bouguer.

En el Mapa de Anomalías en Reducción Bouguer (Fig.2) y en el Mapa de Anomalías Regionales del Campo Gravimétrico (Fig.3) se destacan 7 anomalías regionales: los máximos A (Fragoso), B (Cadena de máximos), C (Cayo Coco), D (Manuy) y E (Lucas), y los mínimos F (Buenavista) y G (Cayo Coco Norte). El máximo A tiene su origen en el ascenso de potentes espesores de dolomitas y calizas cretáceas muy densas, según se puede constatar en el corte de los pozos Cayo Fragoso 2 y Cayo Francés 5. En la parte superior de estos pozos se observa un considerable espesor de rocas más jóvenes (terciarias) que hacen a la anomalía menos intensa, comparada con la de Cayo Coco ( $48$  mGal). Consideramos que en líneas generales algo similar ocurre con la cadena de máximos B y el resto de los máximos gravimétricos.

No obstante es de suponer que  $860$  m de Terciario no sean capaces de provocar una diferencia tan notable entre los máximos Fragoso y Cayo Coco por lo que debemos esperar la existencia de rocas menos densas en el corte de Fragoso.

En el caso específico de la estructura Felipe no se excluye la posibilidad de que el origen del máximo local esté dado por la elevación de sedimentos bajo los espesores Terciarios, en ese caso la densidad de aquellos sería menor en relación con las rocas del Cretácico Superior reportadas en los cayos Fragoso, Francés y Coco. Así quedaría justificado también el cambio brusco de los valores de gravedad entre Cayo Coco y Felipe.

Al observar esta figura nos percatamos, además, de alternancias de máximos y mínimos desde el sur hacia el norte, lo que nos da idea de pliegues limitados al norte por fallas inversas, cuyo tope coincide con máximos gravimétricos, entonces los mínimos estarían originados por pequeñas cuencas surgidas entre estos.

La presencia de las alineaciones Q- Q' y R- R' delimita el área en dos grandes sectores: el oriental, originado por enormes paquetes de dolomitas y calizas muy densas y el sector occidental donde sobre esas rocas densas se reportan espesores de sedimentos terciarios y sin descartar el aporte de formaciones salinas que debemos esperar al final del corte.



Los mínimos F y G presumiblemente estén asociados a grandes depresiones y la consiguiente acumulación de sedimentos orogénicos y postorogénicos en éstas. Como se ha mencionado, no se excluye que a los mínimos estén contribuyendo espesores de menor densidad (salinos?) a profundidades mayores de 6 Km.

Los datos han permitido confirmar la coincidencia de estructuras conocidas (Fragoso, Cayo Coco, Manuy, Lucas; por ejemplo) con anomalías del campo gravitatorio (máximos). Al norte de Cayo Fragoso, el máximo gravimétrico coincide con una estructura revelada por la sísmica [8], estructura para ambos casos de una gran extensión (más de 40 Km). Obsérvese esto en el mapa de anomalías residuales del campo gravimétrico (Fig. 4). Además está la estructura al nordeste de Cayo Guillermo (Felipe) que forma parte de toda una cadena de anomalías en dirección noroeste.

La clara respuesta que brindan los campos potenciales ante las estructuras geológicas hasta ahora reveladas, nos permite pronosticar la existencia de 4 estructuras (Fig. 4) alrededor de las siguientes coordenadas: 357,283; 763, 328; 704,305 y 698,34; que se manifiestan en los campos potenciales como máximos gravimétricos, que tendrían el origen ya visto o ser la consecuencia de un cambio litológico con el correspondiente aumento de la densidad en ese sector.

Si se analiza el Mapa de Anomalías del Campo Magnético presentado en el informe sobre el Bloque L [1] se corrobora que el campo es tranquilo, con un mínimo regional central (alrededor de las coordenadas X= 725, Y= 325) del orden de los  $-75 \text{ } \eta\text{T}$  flanqueado por máximos regionales que alcanzan su máxima expresión hacia el sector oriental con  $175 \text{ } \eta\text{T}$ .

Es conocido que las rocas sedimentarias son poco magnéticas por lo que la respuesta del campo magnético tiene, para este caso, un vínculo directo con la posición del basamento, de aquí que la existencia del mencionado mínimo magnético sea imputable a que el basamento esté situado a una mayor profundidad. El basamento en ese lugar se estima a profundidades de 8 a 8.5 Km. [9]

## CONCLUSIONES.

Se concluye que:

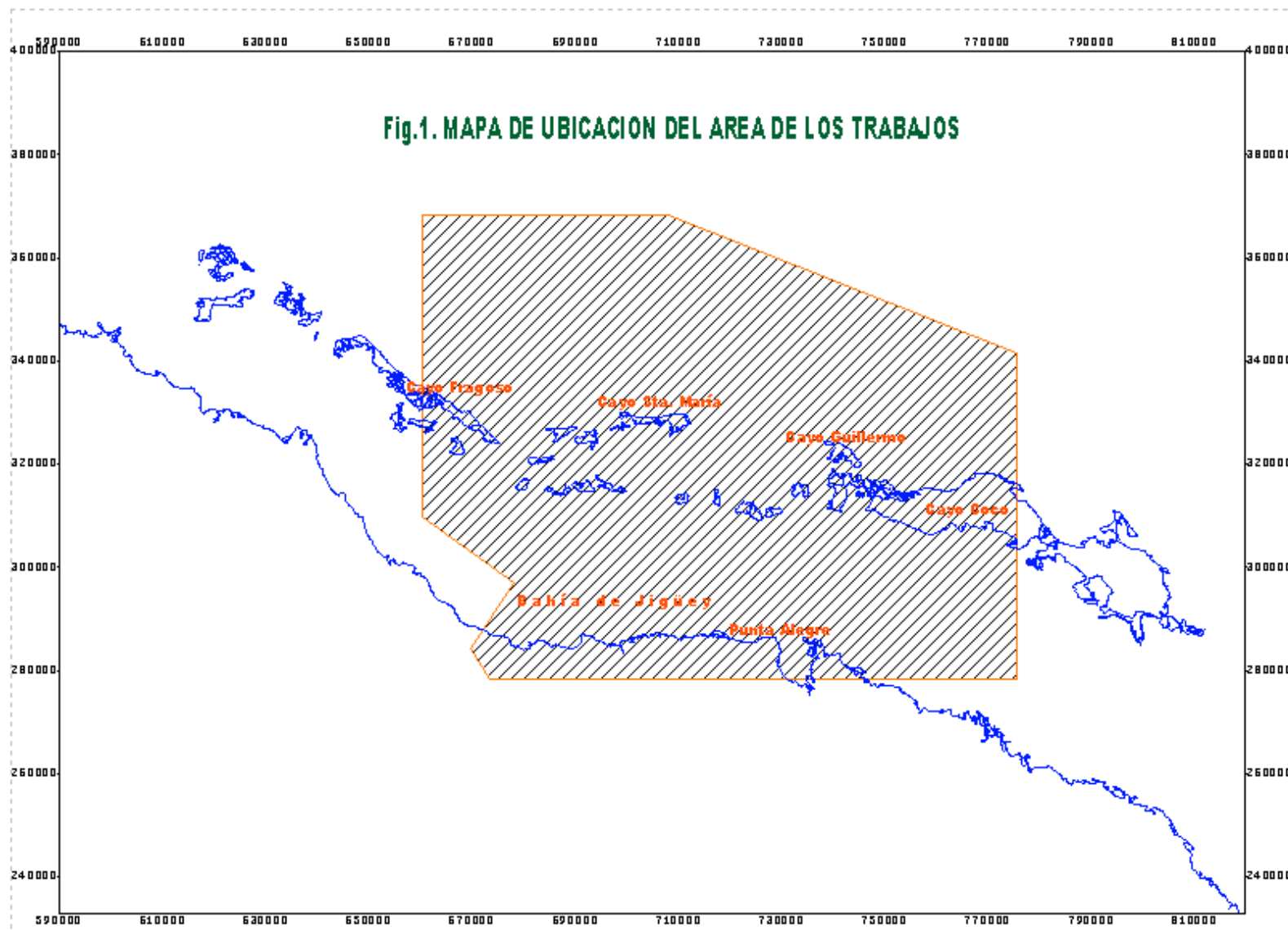
1. Las estructuras reveladas por la sísmica coinciden con anomalías del campo gravitatorio (máximos gravimétricos).
2. Las alineaciones Q- Q' y R- R' establecen una zonación del área, con un sector oriental en el que predominan los máximos gravimétricos originados por grandes espesores de dolomitas y calizas densas y un sector occidental con predominio de mínimos, donde esas mismas rocas están influenciadas por las secuencias de rocas más jóvenes de la parte superior del corte, sin descartar al final de este, la presencia de formaciones salinas de considerable espesor.
3. Como se esperaba, y atendiendo a la información de pozo, los pozos Fragoso 2 y Francés 5 se ubican dentro de un máximo gravimétrico.
4. La existencia de un campo magnético muy tranquilo, sugiere la presencia de grandes espesores sedimentarios cuya base yace probablemente a 8 u 8.5 Km

## BIBLIOGRAFÍA

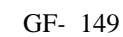
1. "Informe sobre los Trabajos Gravimétricos Marinos realizados en el área del Archipiélago de Camagüey en 1964- 65". K. Krivtsov, Yu. Kasantsev, L. Slotnikov.
2. Normas e Instrucciones Metodológicas para las Instrucciones Gravimétricas.
3. "Informe referente a los Trabajos Gravimétricos Marinos desarrollados en la región de Buenavista- Cayo Francés, efectuados durante 1962- 63". Y. A. Mijailoski, I. M. Iskander, J. P. Chernucaltsev.
4. Informe de Cía. Norteamericana. 1954. (sin más datos bibliográficos)
5. Informe de la III etapa del contrato N° 55- 044/ 5700 "Complejo de Trabajos Geofísicos Marinos Regionales y de Prospección en la parte de aguas profundas de la plataforma de la República de Cuba en los años 1986- 1988".

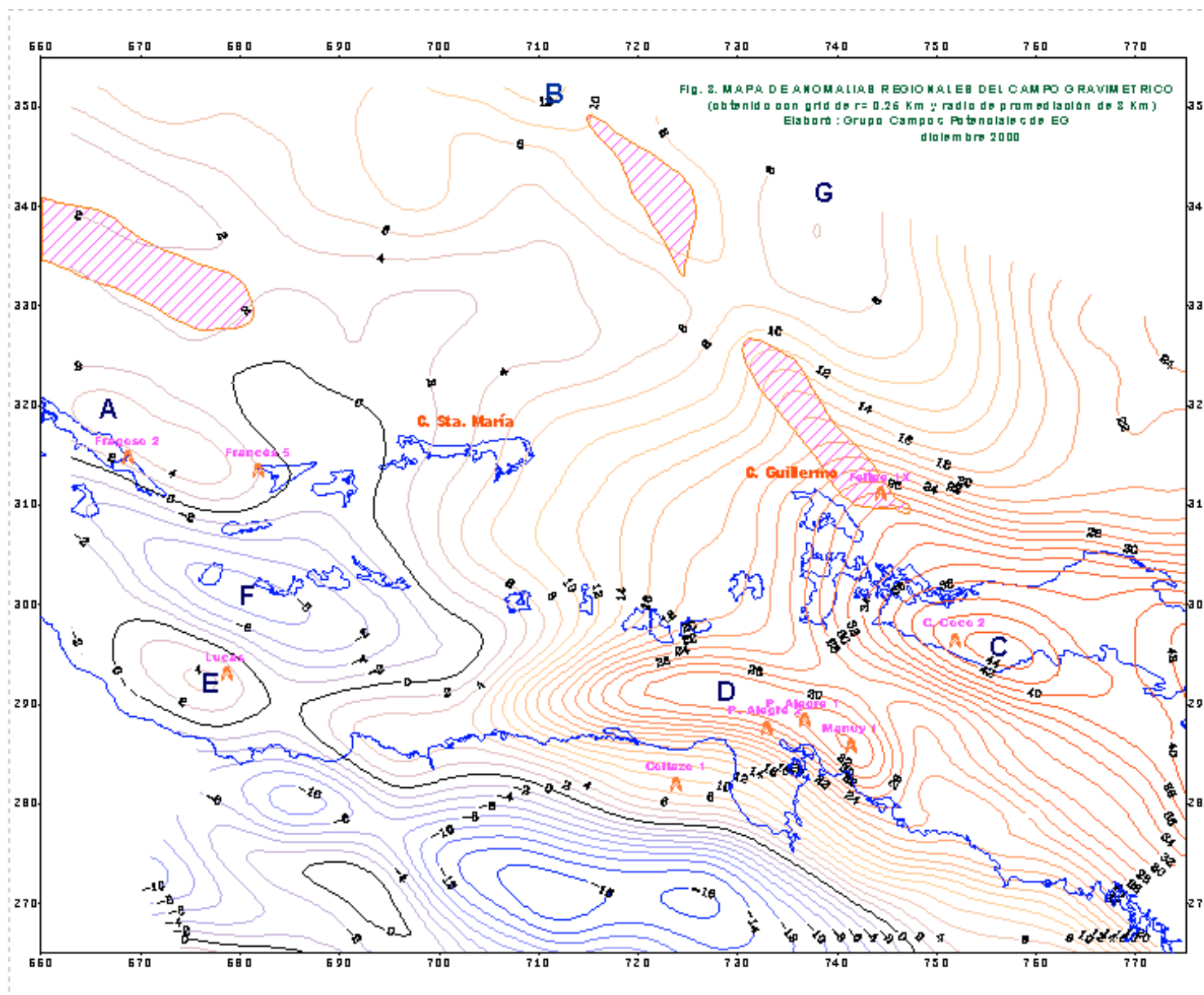


6. "Sobre los trabajos gravimagnetométricos en el área Mayajigüa- Morón a escala 1: 50 000". 1980. M. Rodríguez y J. L. Prol
7. "Sobre los trabajos gravimétricos y magnetométricos detallados en escala 1: 50 000 de la zona la Gloria". 1980. M. Rodríguez , J. L. Prol y E. Martínez
8. "Interpretación geólogo- geofísica de las líneas adquiridas y procesadas por la Cía. Braspetro en el Bloque L". 2000. E. Martínez, M. Peinó, C. E. Sánchez, H. Zambrana, A. Díaz y M. E. García.
9. Esquema Estructural por la Superficie de las rocas del Basamento 1: 500 000. J. L. Prol, G. Arriaza, R. Otero. Incluido en la Monografía del Potencial de Hidrocarburos de la República de Cuba y aguas adyacentes.

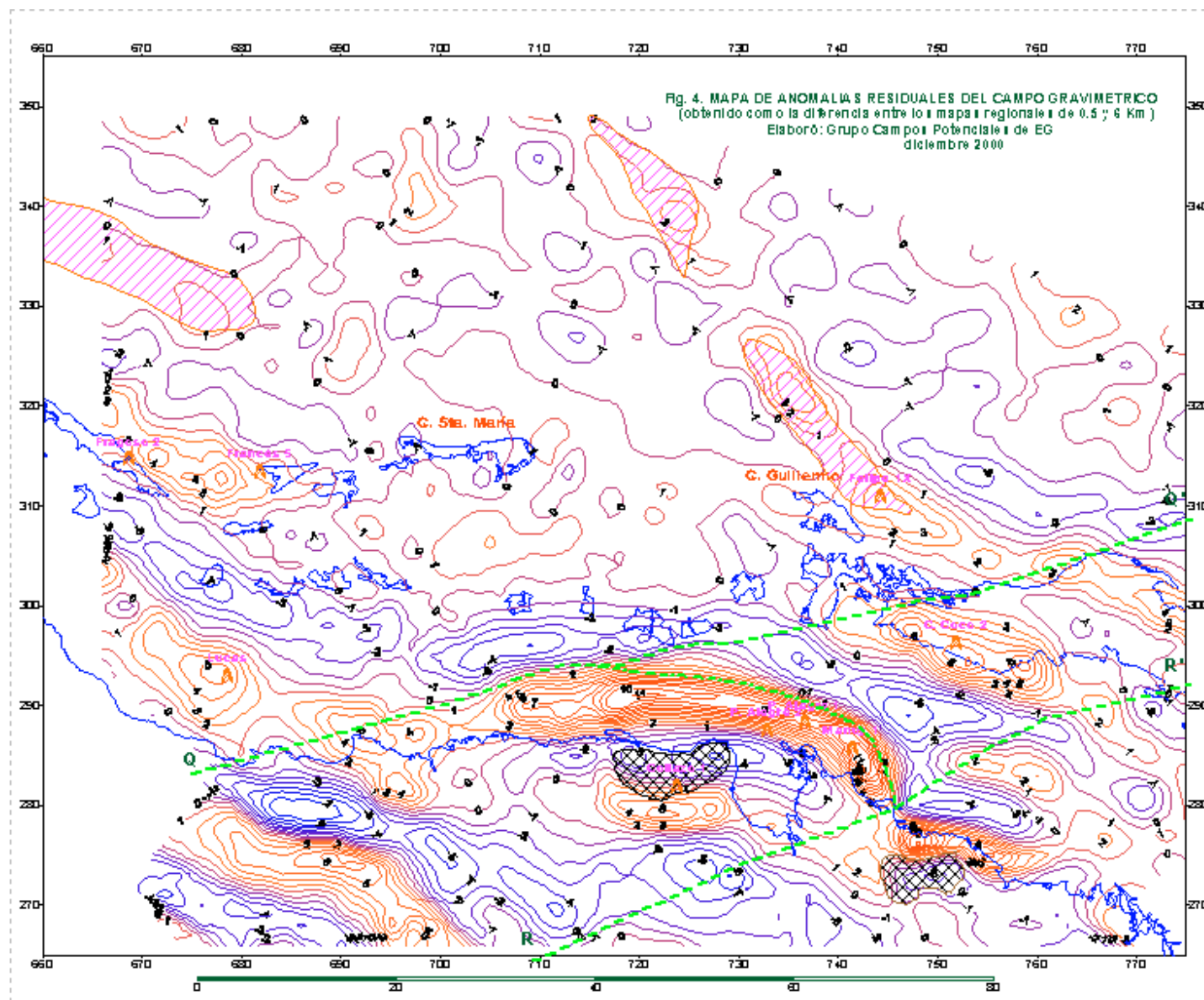












## INTEGRACION DE DATOS GEOFISICOS REGIONALES PARA LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA.

**Beatriz Rodríguez Basante**

*Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. C.elect: [proyest@ceniai.inf.cu](mailto:proyest@ceniai.inf.cu)*

### RESUMEN.

Es práctica común utilizar los datos geofísicos para el mapeo geólogo - estructural, y muchos investigadores han utilizado esta información en formato raster para aplicar técnicas de procesamiento y composición de imágenes, las que permiten manipular los datos con vistas a mejorar su visualización. Aunque estas técnicas proporcionan imágenes que facilitan la discriminación de los diferentes grupos litológicos (mapas ternarios, combinaciones del campo magnético total con su primera derivada vertical, mapas sombreados, y otros), por lo general en ellos las fronteras entre colores que representan potenciales contactos geológicos tienden a ser difusas.

En este trabajo, se muestra la utilización simultánea de diferentes tipos de observaciones geofísicas como apoyo a la cartografía geológica mediante el uso de las novedosas técnicas de procesamiento y clasificación de imágenes. Como premisa indispensable, las imágenes geofísicas generadas a partir de los datos aerogeofísicos y gravimétricos fueron comparadas con el mapa geológico, para evaluar su poder resolutivo en la diferenciación litológica del sector.

Varias clasificaciones supervisadas utilizando diferentes combinaciones de las imágenes geofísicas fueron ejecutadas y comparadas con el mapa geológico generalizado del sector. En todos los mapas de clases fueron evaluadas las características espaciales de cada clase y su grado de coincidencia con las formaciones geológicas. Fue considerada como la combinación óptima de variables aquella que dió lugar al mapa de clases de mayor coincidencia con el mapa geológico generalizado. Se pudo constatar que la efectividad de la clasificación se incrementó con la inclusión de los datos magnéticos y gravimétricos en el proceso.

### ABSTRACT

Digital image processing is one of the most recent techniques to analyze and to integrate geophysical data for geological mapping. In this paper, a variety of images generated from gravity, airborne magnetic and gamma-ray spectrometry data, from the Guaniguanico terrain, were compared with the geological map. This was taken to evaluate their effectiveness for displaying the geological units, which make them useful or not in the classification process to generate a geological map using geophysical information.

Several classifications, comprising combinations of different gravity, magnetic and gammaspectrometry images were executed and compared with the generalized geological map. In all classified image were evaluated the spatial characteristics of each cluster. This let to obtain the best combination of variables (geophysical images) to produce the classified map that shows the best coincidence with the geological map. It was found that the inclusion of magnetic and gravity data in the analysis increases the discrimination power of the dataset.

## INTRODUCCION

Con el avance tecnológico, el procesamiento de imágenes ha permitido la representación, visualización y procesamiento de los datos geofísicos de forma más rápida y eficiente. La base de estas técnicas es la representación de los datos geofísicos en un formato raster digital que permita su visualización en una pantalla de video o en un ploteador como una imagen, conteniendo la información espacial y de amplitud de los datos.

Es común utilizar los datos geofísicos para el mapeo geológico - estructural y muchos investigadores han utilizado los datos geofísicos en formato raster para aplicar técnicas de procesamiento y de composición de imágenes (mapas ternarios, combinaciones del campo magnético total con su primera derivada vertical, mapas de sombra, etc), que permiten manipular los datos con vistas a mejorar su visualización. Aunque estas técnicas, por lo general, proporcionan imágenes que muestran una buena discriminación de los diferentes grupos litológicos, las fronteras entre colores que representan potenciales contactos litológicos tienden a ser difusas. Además el agrupamiento visual de colores similares es problemático debido a que sutiles variaciones en ellos es difícil de percibir.

El análisis de grupo (clustering) ofrece la posibilidad de estadísticamente definir clases o grupos similares, partiendo de una base de datos multivariada o multicapa, sin la predisposición que lleva la interpretación visual de una imagen a color. Un mapa que muestre la extensión espacial de cada grupo o clase, en el cual las fronteras entre ellos estén claramente definidas, puede ser producido y correlacionado con el mapa geológico.

La literatura mundial reporta una gran variedad de casos en que han sido probados el análisis estadístico multivariado y las técnicas de clasificación de imágenes para el mapeo geológico, utilizando la información geofísica. Duval, J. (1977 y 1983); Harris, J. (1988); Graham y Bonham-Carter (1993); Shives et al. (1997) y Jayawardhana y Sheerd (1997) entre otros, demostraron la utilidad de los datos radiométricos en este sentido. Lanne, E. (1986); Eberle, D. (1993); Ping y Chang (1994) han demostrado que el éxito de la clasificación crece cuando los datos aeromagnéticos son incluidos en el esquema de clasificación. Schetselaar, E. (comunicación personal) incluyó además los datos gravimétricos en este proceso obteniendo buenos resultados.

En este trabajo fue investigada la efectividad del método de clasificación supervisada en el terreno Guaniguanico, como una técnica alternativa para el análisis e integración de los datos magnéticos y gammaespectrométricos aéreos, junto a los gravimétricos terrestres, con el objetivo de:

- Definir áreas con respuestas geofísicas similares y su comparación con el mapa geológico con vistas a una mejor correlación entre la geología y la información geofísica,
- Determinar la mejor combinación de imágenes geofísicas (variables) que produzcan el mapa de clases que mejor refleje la geología del área de estudio.
- Evaluar la contribución de los campos potenciales, principalmente la gravimetría, al ser incluidos en el esquema de clasificación supervisada.

Especial atención fue prestada al análisis de las imágenes de los campos potenciales. Teniendo en cuenta las propiedades físicas y las características espaciales de las formaciones geológicas presentes en el área de estudio, donde extensos y potentes afloramientos de formaciones como San Cayetano y otros menos extensos; pero con controles tectónicos como los de Esperanza y Arroyo Cangre, fue decidido probar el aporte de los mismos en este proceso de clasificación.

## MATERIALES Y METODOS

Para la confección de este trabajo fueron utilizados como materiales básicos:

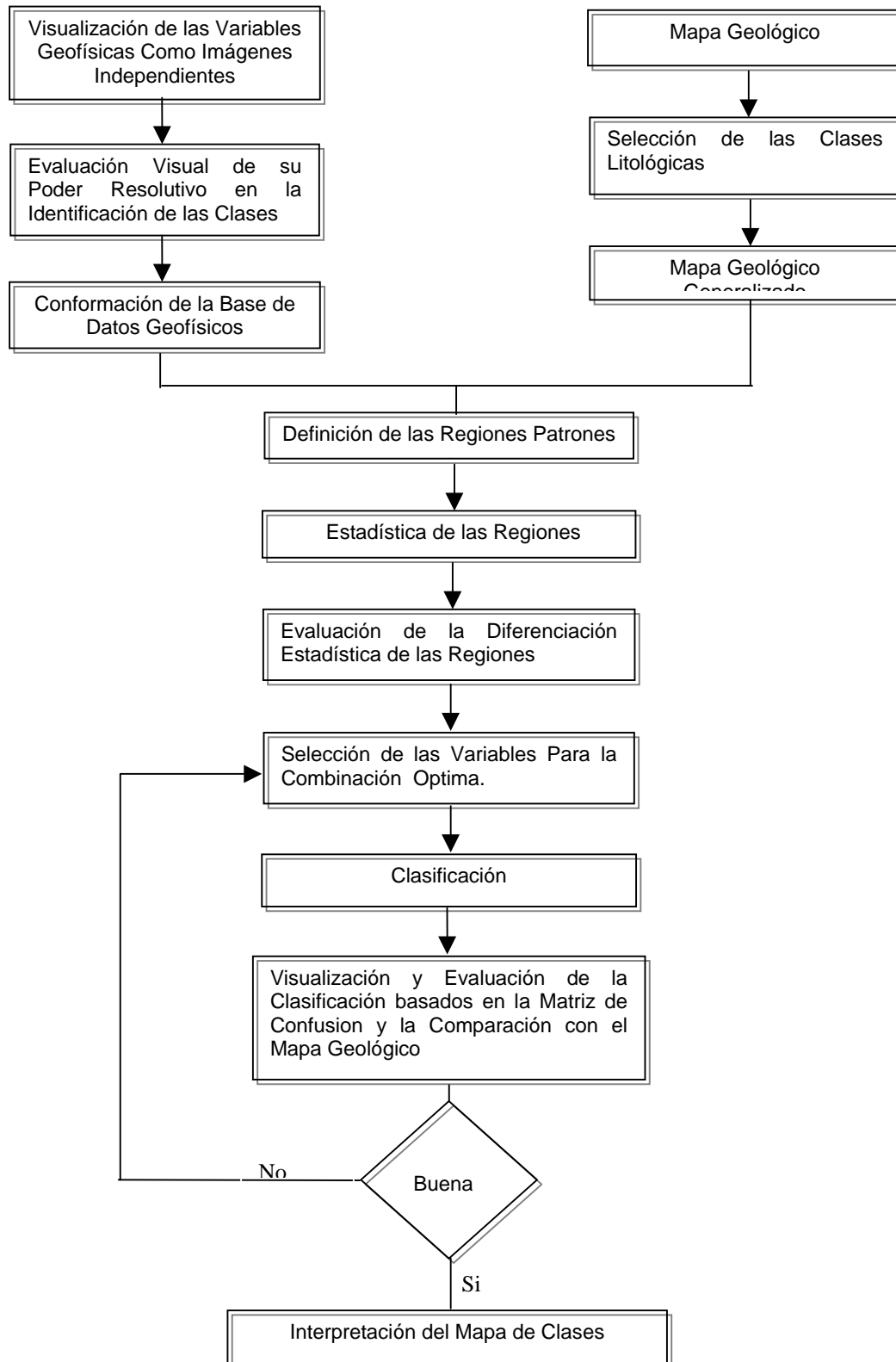
- ♦ El mapa geológico del terreno Guaniguanico (Figura No.1), generalizado del mapa geológico 1:250000 de la Academia de Ciencias de Cuba.
- ♦ La información geofísica proveniente de los levantamientos gravimétricos a escala 1:50 000 y 1:100000, realizados por las diferentes entidades geológicas del país en esa región.
- ♦ El levantamiento aerogeofísico complejo (LAGC) realizado mediante el programa de colaboración Cuba-URSS (Grid de los datos magnéticos y aerogamma-espectrométricos)

Los datos gravimétricos fueron regularizados en una red 500 x 500 m para la confección de las imágenes y los valores de los grid fueron normalizados dentro del rango 0 – 255, correspondiente a la escala de colores. Esto fue realizado para lograr que todas las variables tuvieran el mismo peso a la hora del análisis para la clasificación. El procesamiento de toda la información geofísica disponible fue realizado con el software OASIS Montaj y la clasificación supervisada con el ER Mapper.

La Tabla No. I muestra como fueron agrupadas las formaciones geológicas para conformar las once clases litológicas seleccionadas y la Tabla No. II resume las imágenes geofísicas utilizadas como variables en las diferentes combinaciones realizadas (Anexo No.1).



La metodología seguida en el proceso de clasificación supervisada, utilizando el método de máxima probabilidad, es sintetizada en el diagrama de bloque siguiente.



## DISCUSION Y RESULTADOS

La Figura No. 2 muestra el mapa de clases, resultante de la aplicación de la clasificación supervisada a las variables (1, 3, 4, 6, 11, 13, 14, y 16; Tabla II) considerada como la óptima combinación en este trabajo. Mediante su comparación visual con el mapa geológico se aprecia la gran similitud entre ambos. Esta combinación nos da además el mas alto % de coincidencia entre la ubicación de los puntos de afloramientos en la imagen clasificada y su locación real dentro de las clases litológicas, extraído de la matriz de confusión.

Con la superposición de las fronteras geológicas digitalizadas en dicho mapa de clases, se observa que la mayoría de las clases litológicas fueron aceptablemente delineadas. Algunas fronteras que no fue posible identificar durante el proceso de interpretacion cualitativo de las imágenes geofísicas, ahora se perfilan claramente en esta imagen clasificada como son los casos de: las fronteras entre las formaciones Polier y Artemisa y las formaciones Arroyo Cangre y San Cayetano. Sin embargo, existen zonas donde se requiere de futuros trabajos de verificación de campo debido a la no coincidencia entre la imagen clasificada y el mapa geológico. Estas áreas aparecen identificadas en la Figura No.2 con las letras A, B, C, D, E y F.

## CONCLUSIONES

- ♦ Para el terreno Guaniguanico, los datos geofísicos integrados en un esquema de clasificación supervisada permiten una mejor identificación de las fronteras geológicas que cuando éstos son analizados como imágenes independientes.
- ♦ La clasificación supervisada es una técnica que posibilita la cartografía geológica de una forma rápida y eficiente; pero su éxito depende del ambiente geológico particular del área en estudio (contraste petrofísico entre las litologías presentes, dimensiones de los afloramientos, características estructurales y de la calidad de los datos originales utilizados.



## REFERENCIAS.

- Duval, J. (1977): High Sensitivity gamma-ray spectrometry – state of the art and trial application of factor analysis. *Geophysics*, Vol. 42, 549-559.
- Eberle, D. (1993): Geologic mapping based on multivariate statistical analysis of airborne geophysical data. *ITC Journal* 1993-2, 173-178.
- Graham, D.F. y Bonham-Carter, G.F. (1993): Airborne Radiometric Data a Tool for Reconnaissance Geological Mapping Using a GIS. Paper presented at the Ninth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Pasadena California, USA, Febrero, 1993, 43-48.
- Harris, J. (1988): Clustering of gamma-ray spectrometer data using a computer image analysis system; in *Statistical Applications in the Earth Sciences*, ed. F. P. Agterberg and G.F. Bonham-Carter. Geological Survey of Canada, Paper 89-9, 19-31.
- Jayawardhana, P.M. y Sheard, S.N. (1997): The use of airborne gamma-ray spectrometry by M.I.M. Exploration – A case study from the Mount Isa Inlier, North West Queensland, Australia. In: *Proceedings of Exploration 97: 4<sup>th</sup> decennial international conference on mineral exploration*, edited by A.G Gubins, 1997, 741-752.
- Lanne, E. (1986): Statistical multivariate analysis of airborne geophysical data on the ES border of the central Lapland greenstone complex. *Geophysical Prosp* 34, 1111-1128.
- Ping, A. y Chung, Ch. (1994): Neural network approach for geological mapping: technical background and case study. *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, 293-301.
- Schetselaar, E. (1997): Comunicación personal sobre su trabajo de Tesis para PhD. Classification of bedrock units in densely vegetated granite-gneiss terrain by the integration of airborne geophysical data and primary field observations, Canadian Shield of Northeastern Alberta.
- Shives, R.B.K., B.W. Charboneau, y K.L. Ford (1997): The detection of potassic alteration by gamma-ray spectrometry – Recognition of alteration related to mineralisation. In: *Proceedings of Exploration'97: 4<sup>th</sup> decennial international conference on mineral exploration*, edited by A. G. Gubins, 1997, 741-752.

## ANEXO No. 1

Tabla I. Clases Litológicas obtenidas tras el agrupamiento de las formaciones geológicas.

Formaciones	Descripción Litológica	Clases Litológicas	No.
Arroyo Cangre	Metaareniscas cuarzosas, micas filíticas, esquistos	Arroyo Cangre	11
San Cayetano (miembro inf.)	Areniscas cuarsofeldespáticas, siltstones	San Cayetano 1	5
San Cayetano (miembro sup.)	Esquistos filíticos, calizas, argilitas	San Cayetano 2	4
San Vicente	Calizas Masivas, Calcarenitas,	San Vicente	10
Esperanza	Calizas organógenas, cuarcitas, argilitas	Esperanza	3
Guasasa Americano (miembro de Guasasa)	Calizas masivas y estratificadas Calizas estratificadas	Guasasa	9
Artemisa	Calizas estratificadas intercaladas con silicitas.	Artemisa	2
Polier Cacarajicara	Calizas bituminosas, Areniscas Calizas y calcarenitas	Polier	1
Pica Pica	Calizas, esquistos, olistostromas	Pica Pica	7
Guane Guane mas Guevara	Conglomerado, areniscas, areniscas arcillosas Conglomerado, areniscas arcillosas, arcilla	Guane_Guevara	6
Gabros Serpentinas		Ofiolitas	8

Table II. Variables Geofísicas probadas en el proceso de clasificación.

No.	Variables Originales	No	Variables Auxiliares
1	Potasio (K)	5	5 Relación eU/eTh
2	Torio equivalente (eTh)	6	6 Relación eTh/K
3	Uranio equivalente (eU)	7	7 Relación eU/K
4	Radiación Total (TC)	8	8 Relación eU/TC
11	Campo Magnético	9	9 Relación eTh/TC
14	Anomalía de Bouguer	10	10 Relación K/TC
		12	Campo Magnético Residual
		13	Señal Analítica del Campo Magnético
		15	Campo Gravimétrico Residual
		16	Primera Deriv. Vert. de la Anom. Bouguer.

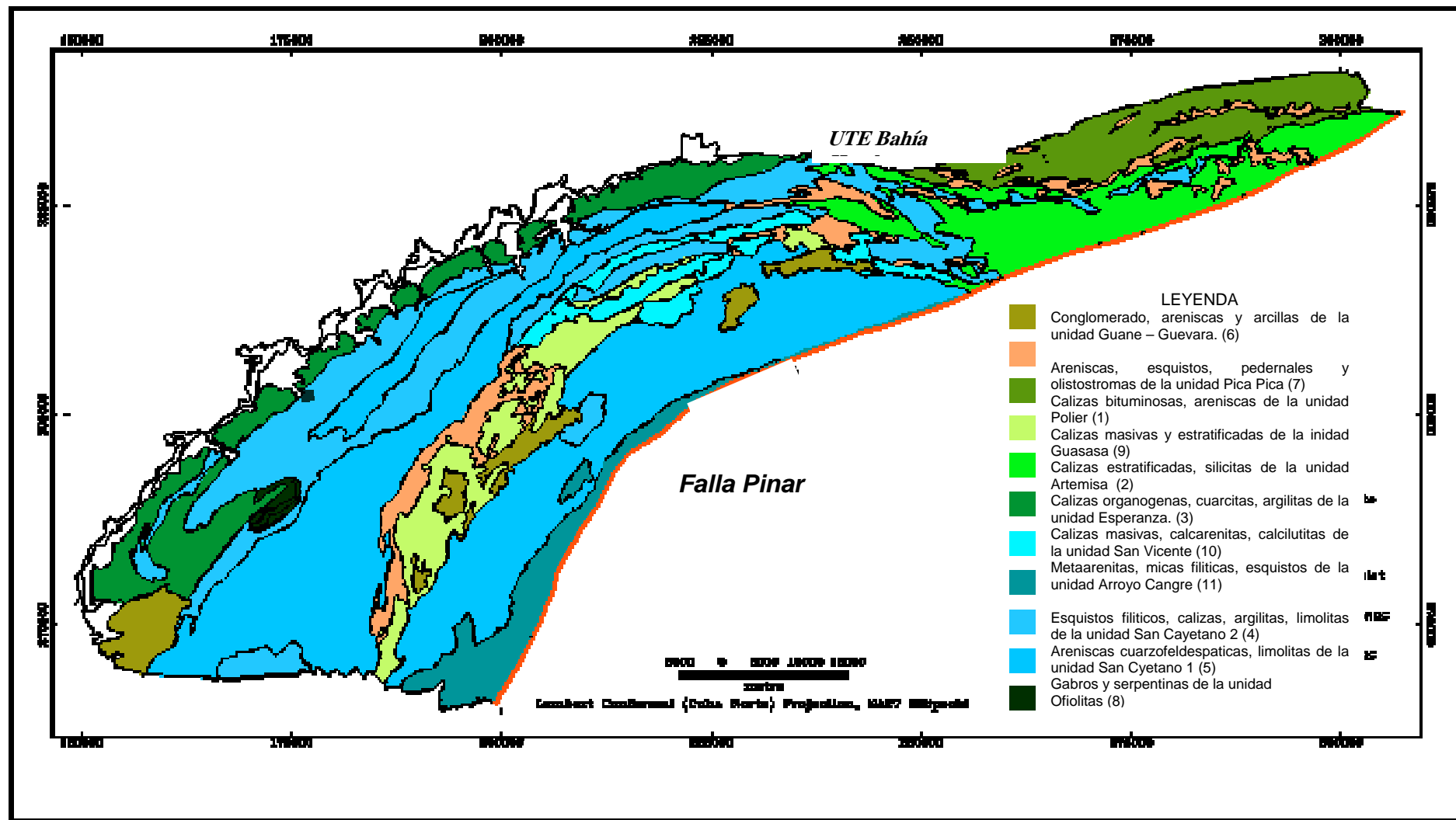


Figura No. 1. Mapa Geologico del Terreno Guaniguanico generalizado tomando como fuente el Mapa Geologico de la Academia de Ciencias (1985)

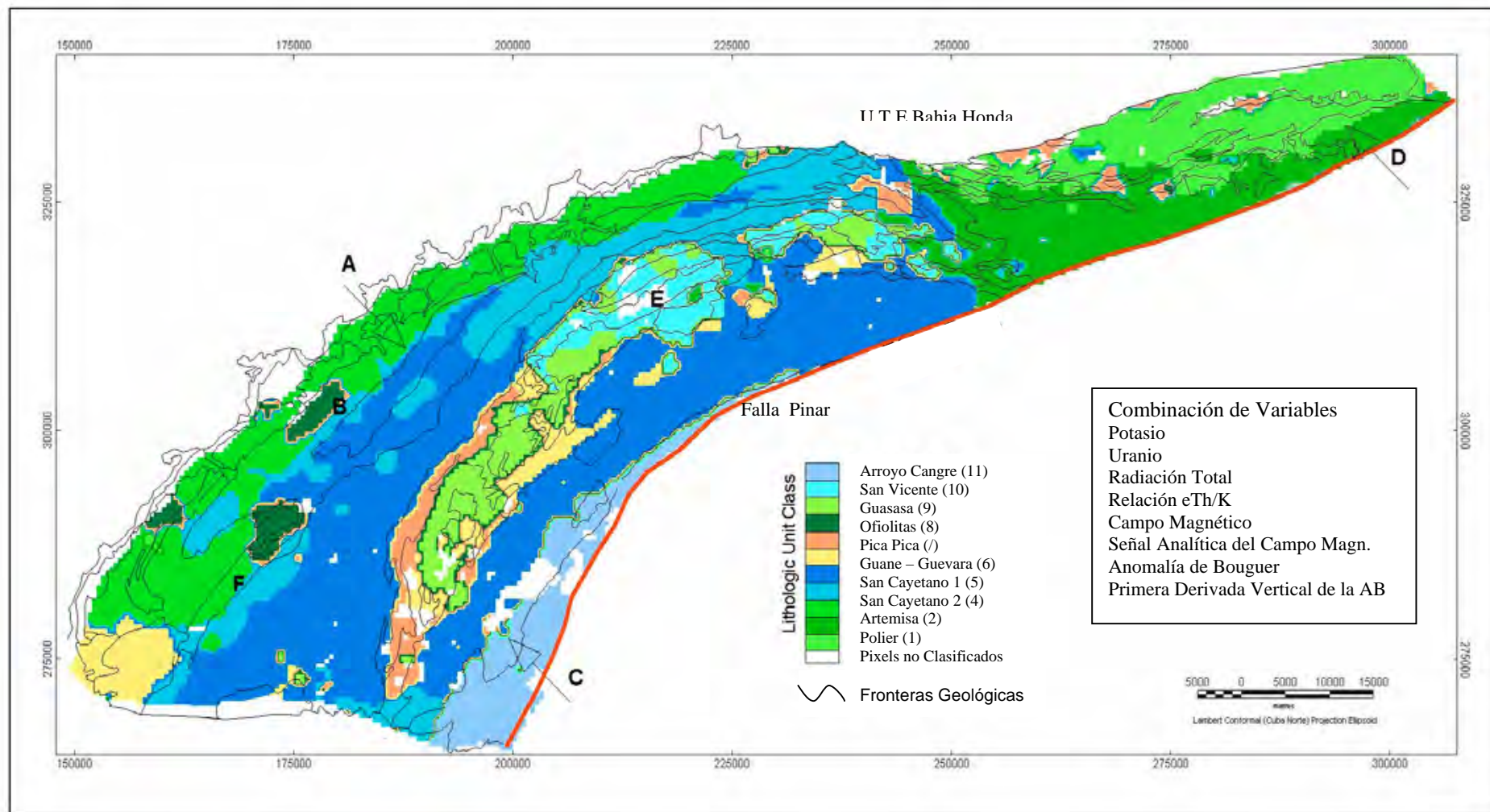


Figura No.2. Mapa de Clases Litológicas del terreno Guaniguanico obtenido a partir de la clasificación supervisada usando las variables geofísicas, incluidas en la combinación "óptima".

## EL USO DEL CAROTAJE GAMMA DISCRETO Y LA KAPPAMETRÍA EN LA CARACTERIZACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE DEPÓSITOS MARINOS FRIABLES

*Ing. Jorge Olivera, Dr. Alberto E. García Rivero, Ing. Evelio Azcuy Cabañas, Ing. Mario Campos Dueñas, MSc. Eduardo Pérez Almaguer.*  
*Instituto de Geofísica y Astronomía, calle 212, No. 2906, La Lisa, Ciudad de La Habana. Cuba. Telfax: 339497. Email: yoyi@geoastro.inf.cu*

### RESUMEN

El trabajo muestra el uso del carotaje gamma discreto y de las mediciones de la susceptibilidad magnética como herramientas de apoyo en la caracterización litoestratigráfica de sedimentos marinos friables, las cuales permiten evaluar y caracterizar los diferentes horizontes y determinar los espesores de estos sedimentos, observándose una correspondencia de estos, con el corte geológico determinado a partir de las perforaciones realizadas en el fondo marino.

La aplicación de estas técnicas permitieron diferenciar de una forma más precisa el límite de los sedimentos en estado acuoso (gel) y separarlos de los sedimentos consolidados (arena y cienos carbonatados) permitiendo con esto definir los espesores útiles de las reservas. También se muestran las características radioactivas y de la susceptibilidad magnética de las rocas del subfondo marino, las cuales constituyen el basamento de los sedimentos acumulados.

### SUMMARY

The work shows the use of the discrete carotaje gamma and of the mensurations of the magnetic susceptibility as support tools in the characterization stratigraphic of friable marine silts, which allow to evaluate and to characterize the different horizons and to determine the thickness of these silts, observing unites correspondence of these, with the certain geologic cut starting from the drilling hole carried out in the marine bottom.

The application of these techniques allowed to differ of it unites more precise form the limit of the silts in watery state (gel) and to separate them of the consolidated silts (sand and carbonated silts) allowing with this to define the useful thickness of the reservations. The radio-active characteristics are also shown and of the magnetic susceptibility of the rocks of the marine bottom , which constitute the basement of the cumulative silts.

### Introducción:

Como resultado de la ejecución de trabajos de exploración geológica de cienos carbonatados, realizados en la costa noreste de la provincia Holguin por un grupo de investigadores del Instituto de geofísica y Astronomía , se realizaron trabajos geofísicos y mediciones petrofísicas, en pozos de perforación en una red básica de 200x 200 m. Estos trabajos incluyeron mediciones de radiación gamma natural en los pozos perforados y mediciones de la susceptibilidad magnética a los testigos de perforación, todas ellas como apoyo a la caracterización litoestratigráfica. Como resultado de la ejecución de dichos métodos se pudo demostrar que los mismos constituyeron una herramienta de apoyo en la diferenciación litológica por la respuesta observada de cada campo físico ante los distintos tipos de litologías existentes tales como: material en estado fluido ( cieno

fluido, cieno terrígeno, arena fluida y mezcla entre ellas ), cieno arenoso, cieno limoso, arena, arcilla, turba, marga y caliza coralina, existiendo una correspondencia entre cada columna geológica y las curvas de las mediciones de dichos métodos.

## **Materiales y Métodos:**

Para la ejecución de este trabajo se emplearon los resultados de las mediciones de la intensidad de radiación gamma y de los valores de la susceptibilidad magnética determinados en los pozos y los testigos de perforación, a continuación pasamos a describir el empleo y fundamento de cada método.

**Método gamma discreto:** Se utilizó durante los trabajos de perforación como apoyo a los trabajos de diferenciación litológica (delimitación de espesores de capas) y como control del metraje en los pozos, garantizando con esto la calidad de los intervalos muestreados. Su empleo esta fundamentado en lo siguiente:

El método se basa en el estudio de la radiación gamma emitida por los radioelementos naturales que componen las rocas y los suelos. Es utilizado ampliamente durante los trabajos de cartografía geológica en pozo, permitiendo diferenciar los tipos litológicos de rocas debido a las siguientes características:

- 1- Las rocas en dependencia de su composición química pueden poseer diferentes concentraciones de los radioelementos naturales y por ende diferente radioactividad.
- 2- Los procesos de alteración en las rocas y suelos pueden provocar incrementos o decrementos de los contenidos de algunos radioelementos.
- 3- Las rocas de distinta composición petrográfica poseen con frecuencia distinto contenido de elementos radioactivos y por lo tanto diferente radioactividad.
- 4- Los rasgos fundamentales de la radioactividad de las rocas in situ, se mantienen en los depósitos no consolidados que la cubren.

## **Metodología**

En cada pozo se determinó el registro de la intensidad de radiación gamma natural, midiendo desde el fondo hacia arriba, tomándose lecturas de la intensidad de radiación gamma natural cada 0.5 metros. En cada punto de medición se tomaron 5 lecturas y se le determinó el promedio lo cual, garantiza una mejor caracterización del intervalo medido. Los registro de la intensidad de radiación gamma natural se realizaron con el equipo (escintilómetro) de registro analógico SRP-68-02 de fabricación Rusa.



Se tomaron lecturas al inicio y al final de cada jornada de trabajo con el patrón de referencia del equipo y sin este, permitiendo determinar la estabilidad de las lecturas y mantener un control de los valores del fondo natural en la zona de los trabajos.

Se tomaron lecturas de control del orden del 3 % del total de las mediciones, permitiendo determinar el error cuadrático medio mediante el empleo de la fórmula :

$$\delta = \sqrt{\sum (X - X_i)^2 / 2n}$$

x – valor del punto

$x_i$  - valor del punto repetido

n – número total de mediciones.

El error de las determinaciones de la intensidad de radiación gamma fue de 0.13 c.p.s, lo que garantizó una alta precisión en la determinación de las lecturas.

**Mediciones de la susceptibilidad Magnética:** Se utilizó como apoyo a los trabajos de diferenciación litológica (delimitación de capas) en los pozos perforados, su empleo esta fundamentado en lo siguiente:

La susceptibilidad magnética es la propiedad que tienen los minerales que componen las rocas de magnetizarse en presencia de un campo magnético, y por lo tanto nos da una medida de la composición de las rocas. Como es conocido lógicamente, la susceptibilidad magnética de una roca vendrá dada por el contenido de minerales ferromagnéticos que esta posea, y en menor medida por el tipo de fábrica de estos minerales, así por ejemplo las rocas que poseen granos gruesos de minerales presentan valores mayores de susceptibilidad que las de granos finos. Por lo que dadas las características geológicas de las rocas y sedimentos que se encuentran en la zona de los trabajos es posible tener un buen contraste de esta propiedad física, de ahí su poder resolutivo como apoyo en la cartografía geológica.

### Metodología

Las mediciones de la susceptibilidad magnética se realizaron directamente sobre los testigos de perforación a un intervalo promedio de 60 cm. Se tomaron lecturas de la susceptibilidad en todos los intervalos muestreados, desde el inicio hasta el final del pozo.

Para cada intervalo muestreado se procedió a tomar la muestra, dividirla en dos partes, se extrajo una mitad y se saco lejos de la influencia de materiales que pudieran provocar perturbaciones magnéticas, garantizando que las lecturas tomadas correspondieran con los valores reales de la muestra. Por la cara plana de la muestra y cubriendo toda la superficie del detector, se tomaron

tres lecturas para cada punto medido y tres lecturas en cada intervalo, logrando así una mejor caracterización y representatividad de los valores de la susceptibilidad para cada intervalo medido, después de cada medición se limpiaba el detector para evitar influencias de restos de otras litologías en la nueva muestra medida. Las mediciones se realizaron con el equipo KT-5 de fabricación checoslovaca, el cual posee una precisión de  $1 \times 10^{-3}$  U.S.I.

## Resultados y discusión:

Los valores de intensidad de radiación gamma y de mediciones de la susceptibilidad magnética para cada punto medido fueron promediados y los mismos se introdujeron en el programa EXCECEL en forma de hoja de cálculo, posteriormente, se realizaron cálculos de los estadígrafos básicos para cada una de las litologías definidas. Por los resultados obtenidos de las mediciones in situ de la intensidad de radiación gamma y de los valores de la susceptibilidad magnética se pudieron caracterizar las siguientes litologías de acuerdo a esta propiedad física, a continuación se muestran para cada una de ellas el comportamiento de los valores de radiactividad natural.

**Tabla No 1 – Comportamiento de los valores de la intensidad de radiación gamma para las rocas y sedimentos que se desarrollan en el área de investigación**

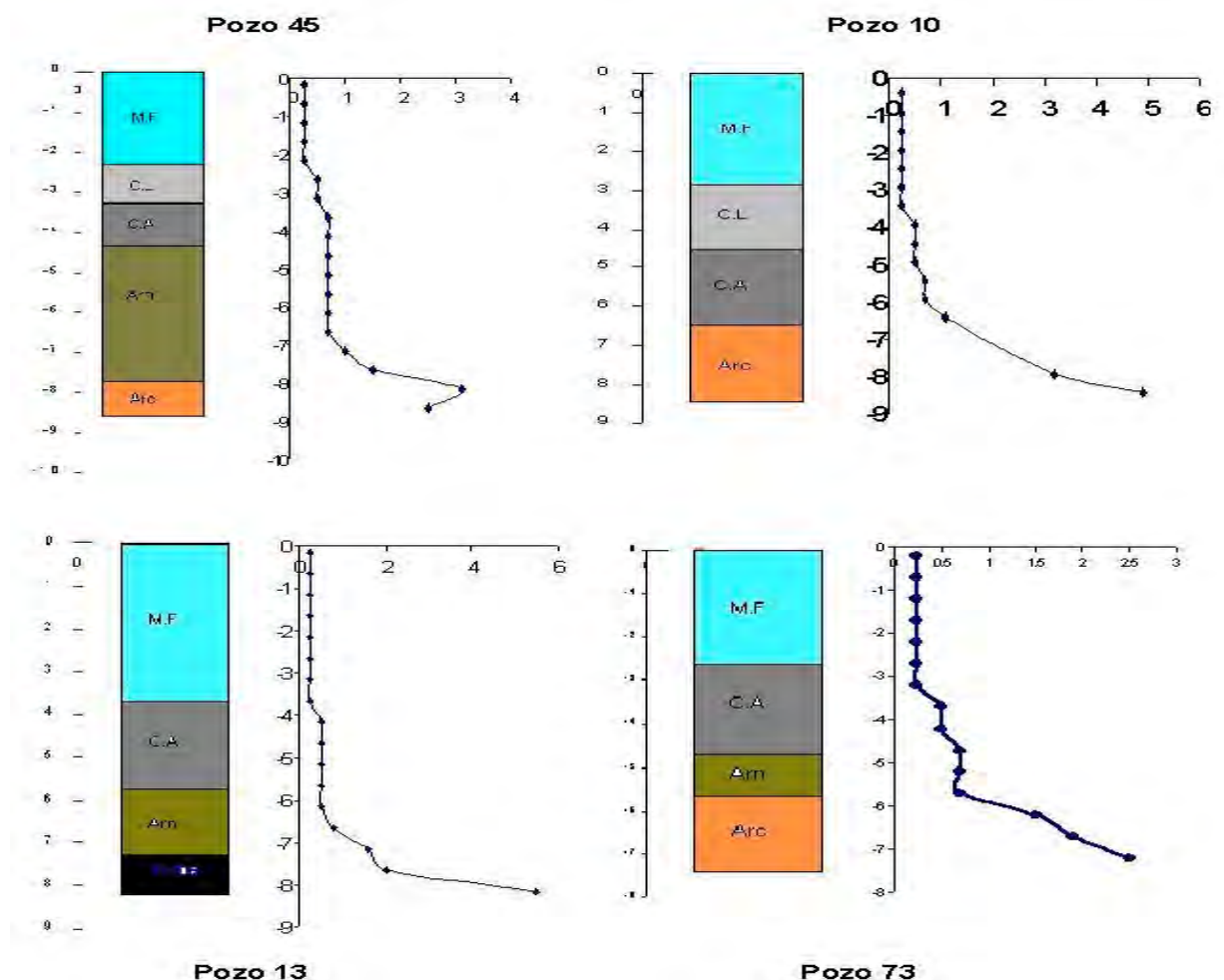
No	Litología	Estadígrafos					
		N	V. Min	V. Max	Media	σ	c.v
Rocas consolidadas							
1	Caliza	8	1	2.5	1.62	0.42	0.25
2	arenisca	2	1.5	1.5	1.5	0	0
3	marga	4	1	3	2.0	0.99	0.49
4	Turba	24	1	10.8	2.85	2.05	0.71
5	arcilla	68	0.5	4.9	1.91	0.85	0.44
Rocas no consolidadas							
6	Material fluido	480	0.2	0.5	0.26	0.06	0.23
7	Cieno limoso	78	0.25	1	0.37	0.18	0.48
8	Cieno arenoso	257	0.25	2	0.58	0.31	0.53
9	Arena	231	0.25	2.3	0.94	0.51	0.54

**Tabla No 2 – Comportamiento de los valores de la susceptibilidad magnética para las rocas y sedimentos que se desarrollan en el área de investigación.**

No	Litología	Estadígrafos					
		N	V. Min	V. Max	Media	$\sigma$	c.v

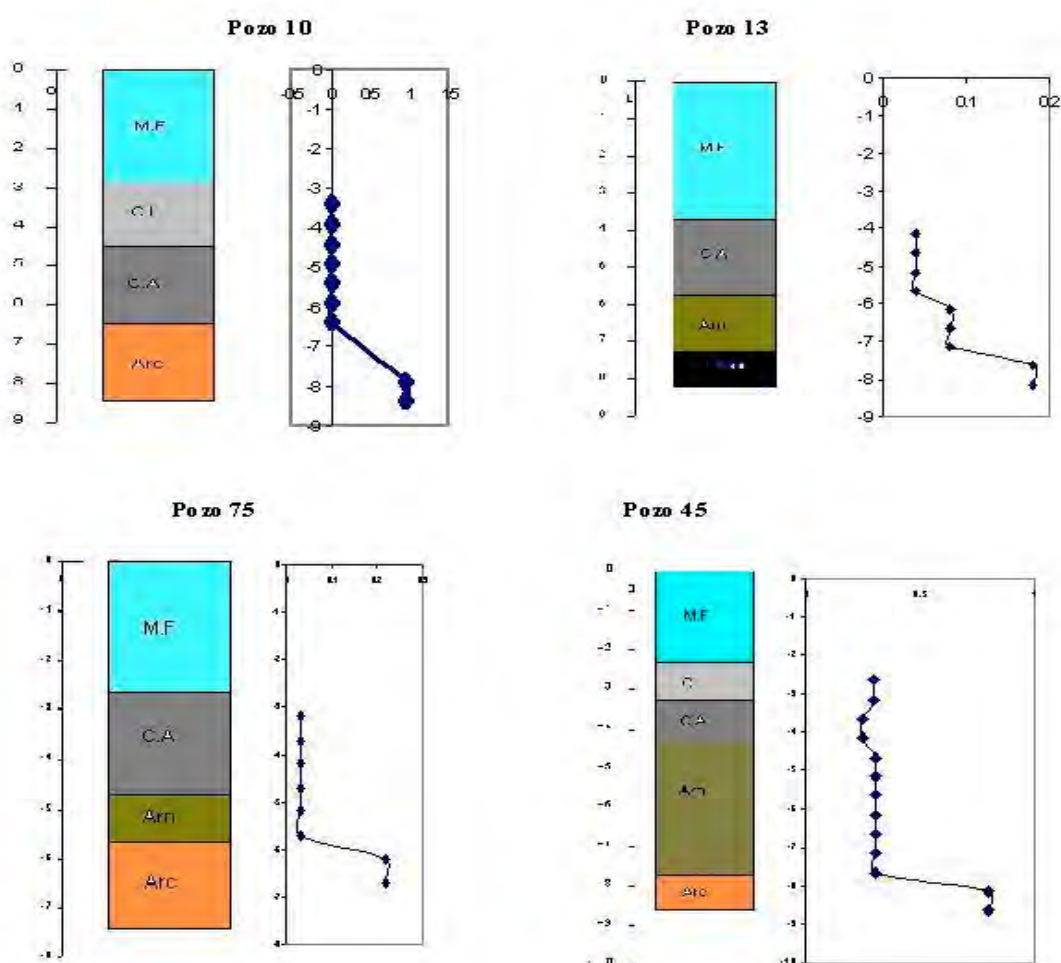
<b>Rocas consolidadas</b>							
1	Caliza	-	-	-	-	-	-
2	arenisca	2	0.31	1.66	0.98	-	-
3	marga	5	0.07	3.09	1.35	1.59	1.17
4	Turba	19	0.01	1.62	0.25	0.49	1.96
5	arcilla	63	0.04	3.37	0.65	0.50	0.76
<b>Rocas no consolidadas</b>							
6	Material fluido	51	0.035	0.22	0.099	0.06	0.6
7	Cieno limoso	86	0.016	1.15	0.076	0.14	1.84
8	Cieno arenoso	269	0.012	0.42	0.069	0.06	0.86
9	Arena	226	0.012	1.6	0.11	0.18	1.63

De la tabla No 1 podemos inferir que de acuerdo a esta propiedad física se pueden observar claramente que las rocas del piso del yacimiento (rocas consolidadas) presentan valores de la intensidad de radiación gamma natural mucho mayor que las rocas no consolidadas que sobreyacen a estas (cienos carbonatados y arenas). Por lo que el método tiene buen poder resolutivo para diferenciar estas litologías, pudiendo establecer los límites entre estas fronteras y delimitar los espesores de los sedimentos. El rango de valores de la radioactividad, según el valor medio, para las rocas consolidadas se encuentra desde 1.5 hasta 2.85 c.p.s., el comportamiento de la intensidad de radiación gamma entre ellas es muy similar, presenta poca variabilidad, excepto para las turbas, que son las rocas que mayores valores presentan y su rango de variación es más significativo. Para las rocas no consolidadas los rangos de valores de la radioactividad se encuentran desde 0.26 hasta 0.94 c.p.s. La variabilidad del comportamiento de los valores de la intensidad de radiación gamma entre ellas es pequeña, la diferencia más notable se establece entre la capa de material fluido (valores < 0.5 c.p.s) y las capas de cieno arenoso y de arena (valores > 0.5), siendo la primera la que posee los valores más bajos de la intensidad de radiación gamma natural en toda el área, por lo que el método pudo mapear esta capa, de suma importancia a la hora de establecer los espesores útiles de los sedimentos carbonatados (ver curvas de isorradadas en los pozos 45, 10, 13 y 73). No fue posible establecer una diferencia marcada entre las capas de cieno arenoso y las capas de arena ya que estas presentan un comportamiento similar de la radioactividad natural, aunque se diferencian por los valores medios, sus rangos de valores están dentro del mismo orden, de forma similar ocurre entre el cieno en estado fluido y el cieno terrígeno, donde el método no obtuvo una buena diferenciación.



El análisis de los valores de susceptibilidad magnética según los resultados mostrados en la tabla No 2 permite establecer una diferencia bien marcada entre las rocas consolidadas que forman el piso del yacimiento y los sedimentos que yacen sobre estas, por lo que el método garantiza una buena efectividad en la delimitación de estas fronteras. Lo anterior se confirma si tenemos en cuenta los valores medios del comportamiento de la susceptibilidad, observamos que las rocas consolidadas presentan los mayores valores, variando en un rango desde 0.25 hasta 1.35, dentro de estas, las rocas que alcanzan una mayor representatividad son las arcillas y son las que poseen los valores más elevados de susceptibilidad. Para las demás rocas que constituyen el piso del yacimiento, a pesar de que los valores de susceptibilidad son elevados y permiten diferenciarse, no es posible realizar un análisis confiado, por la poca representatividad que poseen los datos.

Para los sedimentos que yacen sobre las rocas consolidadas, los valores de susceptibilidad varían dentro de un rango desde 0.069 hasta 0.11, correspondiendo los mayores valores con las arenas, por lo que es posible establecer una diferencia entre estas y las capas de cieno carbonatado. Entre el material que se encuentra en estado fluido y la capa de cieno limoso, existe una pequeña diferencia, no tan contrastante como las anteriores, a pesar de que los valores de susceptibilidad magnética son mucho más altos en el material fluido ya que este viene enriquecido de minerales ferromagnéticos en estado acuoso, en muchas ocasiones, la capa de cieno limoso esta contaminada por restos de este material, lo que dificulta tener con certeza una buena delimitación de la frontera entre ambas.



## **Conclusiones:**

- 1- Las propiedades físicas ( intensidad de la radiación gamma y susceptibilidad magnética ), medidas in situ y en las muestras de los testigos de perforación, permitieron caracterizar y diferenciar las litologías existentes en la región de los trabajos. Pudiendo establecer los límites o fronteras entre los mismos. Especialmente la existente entre la capa de cieno fluido y los cienos carbonatados.
- 2- Los mayores contrastes de las propiedades físicas se establecen entre las rocas consolidadas ( rocas del basamento del yacimiento) y los depósitos de sedimentos friables ( cienos y arenas ).
- 3- Con ninguno de los métodos fue posible diferenciar la capa de cieno fluido y la de cieno terrígenos por presentar estas características constituyentes muy similares ( estado acuoso ).

## **Bibliografía:**

- 1- Trabajos de exploración geológica de cienos carbonatados desarrollados en la costa noreste de la provincia Holguín . I.G.A. 2000. Inédito.