



LA REGION DE EL COBRE: UN REANALISIS DE SU FAVORABILIDAD DESDE EL PUNTO DE VISTA GEOFÍSICO.

R. Sánchez Cruz⁽¹⁾, E. Escobar⁽²⁾, X. Casañas,⁽¹⁾ N. Petrus⁽¹⁾, A. Oviedo⁽¹⁾

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. E Mail: rscruz@igp.minbas.cu

(2) Sociedad Cubana de Geología. Filial Santiago de Cuba. E Mail:tonyp@copextelsc.co.cu

RESUMEN

El yacimiento El Cobre ha sido objeto por casi 40 años de una incesante actividad de prospección geológica, cumplimentando ese viejo axioma minero de "buscar donde hay", lo que hoy posibilita la posesión de un importante caudal de información que permite sustentar hipótesis sobre génesis y perspectivas. Dos poblaciones diferentes conforman el universo de datos existentes: los primeros, mayoritarios, provenientes de las prospecciones y exploraciones; los segundos, resultados de los trabajos regionales. Hoy, una vez "agotada" la mina, es allí, en la periferia del yacimiento, donde la lógica, la experiencia y la economía conducen.

En este trabajo se resumen algunos criterios vertidos sobre la región apoyados en los procesamientos más actuales de la información en un área de casi 100 km² extendida sublatitudinalmente en el flanco N del yacimiento El Cobre, utilizándose principalmente los distintos canales del LAGC 1:50000 de Cuba, vinculando sus resultados con los posibles orígenes de las anomalías, brindándose los rasgos de la tectónica y de las posibles fuentes mineralizantes. Asimismo se ligan los criterios de prospección eléctrica de las menores escalas con los criterios regionales, fundamentalmente magnéticos y espectrométricos.

Se brindan consideraciones sobre la perspectividad del área, siempre dirigida hacia la costa: Alta, El Ermitaño, La Victoria, Buey Cabón, hacia el "eje magmático sureño", única fuente de aporte de las soluciones mineralizantes ?... de igual manera se cartografía la extensión del lineamiento tectónico NNE El Cobre y su ortogonal, al parecer todavía perspectivas para la localización de la mineralización.

ABSTRACT

The El Cobre deposit has been object for almost 40 years of an incessant activity of geologic exploration, executing that old mining axiom of "looking for where there is", what today facilitates the possession of an important flow of information that allows to sustain hypothesis about genesis and perspectives. Two different dataset conform the universe of existent data: the first, majority, coming from the explorations; the seconds, as results of regional works. Today, once the mine is over, is there, in the periphery of the deposit, where the logic, the experience and the economy drive us.

Some ideas about the region, now supported in the most modern process of information reprocessing over almost 100 km² extended mainly along side the northern flank of the mine had been used based mainly over the different channels of the Airborne Magnetic and Spectrometric Survey, scale 1:50000 of Cuba, linking their results with the possible origins of the anomalies, and being offered the features of the tectonic and the possible sources of ores. Also in this paper appear mixed the prospecting electric principles of the smallest scales works with the regional basements, fundamentally magnetics and spectrometrics approaches.

Considerations are offered about the perspectivity of the area, that has ever been guided toward the coast: Alta, Ermitaño, La Victoria, Buey Cabón: toward the South magmatic axis", only source of contribution of the mineralizing solutions ?... in a same way the cartography of the extension for NNE fault El Cobre and their quadrature component, apparently still highly perspective for the localization of new prospecting targets.



Introducción

Existe, dentro del conjunto de datos regionales una tercera fuente de datos que enriquece los fondos sobre el conocimiento del yacimiento y sus flancos: las investigaciones científicas, que en ambas direcciones, atacando el problema de la génesis del yacimiento y la perspectividad de la región, generalizan toda la información existente. Los trabajos más consistentes en la evaluación regional en esos años, resultaron ser los temáticos, los que mantuvieron la esperanza en la perspectividad de la región, sin embargo fueron los últimos trabajos, fundamentalmente de prospección geoquímica y aerogeofísica, realizados con el fin de evaluar las potencialidades auríferas de la región los que renovaron el interés sobre el área al revelar la existencia del pequeño depósito de oro Barita, (1).

Los trabajos temáticos, sin estar a salvo de insuficiencias, rescatan sin embargo un período de 20 años de un enfoque dirigido exclusivamente hacia la prospección y/o exploración de cobre, ya que desde 1969 con los trabajos de T.Grechaniuk et al. 1969, no se habían realizado trabajos de escala regional en el área. Bien es cierto que otros autores realizaron serias reinterpretaciones con los datos existentes, pero casi ninguno había aportado datos reales nuevos en el sector. Los autores más consistentes en la evaluación regional, en esos años, resultaron ser geofísicos, los que con distintos enfoques, reinterpretaciones y modelos (5, 15, 16, 17), mantuvieron la esperanza en la perspectividad de la región. De esa manera surgen los primeros modelos petrofísicos del yacimiento (11) en conjunto con los modelos físico-geológico de la región E. Escobar et al.(6). Los últimos trabajos regionales son los de J.M. Izquierdo et al. 1992, los que tratan de poner al día los conceptos más avanzados de la geología, tratando de salvar los enfoques existentes desde 1969. Estos trabajos incorporaron gran cantidad de información geofísica, mucha de ella rescatada de los datos pre existentes. Escobar E.; Sánchez R. et al. (7) en ese trabajo insisten en tratar de explicar los campos físicos de la región de El Cobre, dentro del contexto del arco volcánico paleogénico de la Sierra Maestra, ya que hasta ese momento los puntos de vista de la prospección se enfocaban de una manera más local. En otros trabajos publicados sobre el Arco Volcánico Paleogénico, Sánchez R. y Escobar E. (15,16,17) introducen el sector de El Cobre y su conocido depósito dentro de sus hipótesis sobre la zonación metalogenética de todo el arco Volcánico Paleogénico, explicando la existencia del depósito de sulfuros dentro de su zonación S-N, Fe – Cu porfirítico, Sulfuros (metales preciosos) – Mn donde El Cuero-La Victoria, El Cobre (Barita)- Botija puede ser un ejemplo.

Los últimos trabajos de prospección y exploración en el área, muy importantes y numerosos, todo el tiempo estuvieron dirigidos a asegurar las reservas de la mina, pero a la usanza de la época: todos carecían de un modelo sobre el cuál replantearse los objetivos de prospección y están de manera general muy circunscritos a las inmediaciones cercanas al depósito por los cuál tienen menos peso en este trabajo. Los últimos datos de estos trabajos, han sido aportados por J.A. Luna, H. Barrabí, M.Rodríguez, A. Porro, V.Ushakov, L.Roshkov, V. Gaiev y otros. En el período '93-'98, la A.E.I. Joutel Resources Ltd.-Geominera S.A. realizaron algunos trabajos de prospección regional, fundamentalmente geoquímicos y aerogeofísicos, con el fin de evaluar las potencialidades auríferas del sector, muy importantes por cuanto renovaron el interés sobre ella y descubrieron el depósito de oro Barita (2). El último trabajo temático realizado (Casañas X. 2000. 3) dirigido fundamentalmente a explicar las características geólogo-mineralógicas del yacimiento, ha vertido nuevos e importantes datos a la región, reafirmando las ideas existentes sobre la pertenencia del yacimiento El Cobre al tipo Kuroko (J. Moreira et al, 2000. 12; Russell, N.; Moreira J.; Sánchez, R. 2000, Ref.14 y otros), definiendo por la mineralogía presente la posible existencia en el flanco norte del yacimiento de cuerpos de sulfuros masivos de metales base con oro, (3).



Diferentes trabajos regionales que incorporan toda la Sierra Maestra tratan de explicar el magmatismo y por ende la mineralización en base a la existencia de las estructuras vulcano plutónicas interpretadas de diferentes fuentes: Arseniev, Y. y Sánchez Cruz R. 1977 (8), interpretan las estructuras anulares a partir de las fotos aéreas y los datos geofísicos; Sánchez Cruz R. y Escobar E. et al. (15,16,17) ponderan la existencia de un segundo eje magmático norteño, cuasi paralelo al aflorado al S representado por la cadena de plutones granitoides ribereños, asociándolo a un arco paleogénico abortado o a restos del arco volcánico cretácico 2002 (18) para explicar los datos geofísicos y su zonación metalogénica S-N en la Sierra Maestra. Pérez C.; Villena, M.; Calzadilla M. 1991 presentaron mapas de las distintas estructuras anulares presentes en la Sierra Maestra a partir del estudio del espectro de color de imágenes cósmicas. Pérez R.; Triff, J.; Chang, J.L. et al. 2003 generalizaron la información existente y en base a los trabajos de Donskij V. y otros presentan un catálogo de las estructuras existentes y su vinculación espacial con algunas de las manifestaciones cercanas a la EVP por ellos reinterpretadas. Los trabajos petrológicos y petrográficos más completos en el área han sido desarrollados por Pérez, M.; Eguipko, O.; Marí T.; Sukar, K.; Rodríguez, R.; Méndez, I. Navarrete, M. y otros en distintas etapas; los tres primeros definieron la comagmaticidad de las secuencias volcánicas presentes.

Materiales y Métodos

Se han utilizado los mapas del Levantamiento Aeromagnético de Cuba a escala 1:100000 de V. Rimánov 1962 y del LAGE de Cuba en escala 1:50000 (4), para las diferentes transformaciones realizadas, en particular se utilizan las matrices de datos espectrométricos de U, Th y K y el canal Integral. Los datos de los trabajos de Prospección y Exploración se usan para fijar las distintas anomalías. Un aporte sustancial lo aporta el mapa de las anomalías de Bouguer residual y otros datos geofísicos confeccionado a partir de los datos de P. Tokariov 1967 por Escobar E. et al. (7). Se incluyen además los datos de Magnetometría terrestre Z_a solo correspondientes a sus valores mínimos principales.

Discusión

Magnéticamente el sector de los trabajos está representado por campos débiles de intensidades cercanas a las primeras centenas de ηT . Las positivas vinculadas a la aparición de rocas volcánicas de composición medio básica-básicas, (Yarayabo, Melgarejo, Los Guaos etc.) y las negativas a zonas de desmagnetización producto de los procesos de alteración hidrotermal ligados al vulcanismo y a rocas volcánicas de composición media-ácida (Ceibabo). El eje de desbalance magnético coincide con el graben Boniato-Dos Palmas inmediatamente al N del yacimiento.

El sector de los trabajos (Fig. 1) está representado en el mapa aeromagnético 1:100000 de V. Rimánov 1962 principalmente por anomalías débiles y moderadas del campo T_a en el cuál se destacan los tres mínimos casi puntuales que cartografían la traza magnética de la falla El Cobre con dirección ENE. Inmediatamente al norte puede observarse el máximo de San Vicente (Melgarejo), una anomalía alargada cuasilatitudinal de + 2.0 mOe. de intensidad y los máximos magnéticos de Los Guaos, Bellaire, Yarayabo y Perú, estos últimos fuera del área, con mayor intensidad y una forma isométrica circular muy bien marcada. Se observan algunos gradientes interesantes que pueden ser interpretados como dislocaciones, sobre todo flanqueando al máximo San Vicente (Melgarejo), a lo largo de la Sierra de Puerto Pelado y, cuyos gradientes se extienden con rumbo sublatitudinal y pueden estar relacionados con el sistema de fallas de San Pedrito más al E. Más hacia el N se observa una zona de campo magnético muy tranquilo, entre 0.0 mOe. y -3.0 mOe. que coincide bastante bien con el graben



Boniato-Dos Palmas. El mapa aeromagnético 1: 50000 (a partir de Chang et al. 1991) fue reprocesado con dos direcciones anisótropas ortogonales: N 70°E y N 30°W seleccionándose la primera de ellas más acorde a la dirección regional del buzamiento sublatitudinal.



Figura 1. Mapa Aeromagnético. V. Rimanov, 1962.

En el mapa magnético se destacan bien los máximos de Los Guaos, Sabana y Ceibabo, cada uno correspondiente a eventos magmáticos contrastantes con las secuencias tobáceas y sedimentarias que los circundan. En el mapa de V. Rimanov 1962, Los Guaos un pequeño cuerpo subvolcánico de andesibasaltos de aspecto porfírico, hoy un yacimiento de piedras para la construcción, se manifiesta con solo 1.0 mOe. Ceibabo es un pequeño máximo de algo más de 0.0 mOe. al parecer mucho más superficial y posiblemente de composición andesítica. Sabana muy bien definido por la isoanómala de -2.0 mOe. caracteriza a un cuerpo, también superficial de dacitas.

En el análisis de la contribución de la tectónica en el cuadro magnético actual, brinda oportunidad también a las componentes ortogonales a la falla de plumaje El Cobre: un buen ejemplo pueden resultar las fallas Ermitaño, de dirección casi longitudinal que desplaza un poco la anomalía San Vicente (Melgarejo), y flanquea la estructura Perú; y la falla Mina Grande, de dirección aproximadamente NNW-NW, ambas fallas pudieron estar comprometidas con la mineralización en el depósito El Cobre dado que en el flanco N de la cantera de la mina varios eventos tectónicos de aproximadamente esa dirección, también se representan. Fallas ortogonales a la falla El Cobre conforman al parecer otro sistema de fracturas ligadas a la mineralización y que pueden ser seguidas en los mapas del recálculo ascendente del campo magnético anómalo, CAA hasta 5000 m. de altura.

Todos los recálculos realizados de una u otra manera resaltan paulatinamente la importancia de la dirección orthogonal a El Cobre: con desplazamiento entre pequeñas anomalías y límites de débiles gradientes y sobre todo con la conformación de un gran eje de mínimo magnético en esa dirección. En el mapa de V. Rimanov 1962 a la diestra de la falla se ubica un campo magnético débil pero variable de muchas anomalías locales; en su parte siniestra un campo tranquilo de -3.0 mOe. Al parecer este eje de mínimos en la orthogonal de El Cobre tiene relación con la falla límite de bloque Río Seco (F. Sánchez en 1), entre 3 – 4 Km. hacia el W en dirección paralela. La amplitud de dicho mínimo hace pensar más en una zona de fallas que en un estrecho límite tectónico.

El evento San Vicente (Melgarejo), en el límite meridional de la pequeña meseta de Botija está acompañado por dos pequeños máximos magnéticos: el primero menos expresivo, con solo 0.5 mOe. de intensidad y el segundo con 2.0 mOe. muy semejante a San Vicente, más con Az. 75°-80° y de menos dimensión por la longitud (cerca de 2Km.), ambos son referidos como Perú, (7). Todos estos máximos, San Vicente(Melgarejo) incluido pueden ser cartografiados por sus valores positivos de $G_{B(Residual)}$ algo menores que 1.0 mgl. (Escobar E. y Sánchez R. 7) y no son más que muestras de los que Izquierdo J.M.; Davidenko V. et al. 1992 mencionan como magmatismo fisural en la región, de composición andesítica y andesi-basáltica, a la luz de sus densidades 2.70 T/m³, (6) pero no puede descartarse una composición más dacítica como ocurre con otros cuerpos subvolcánicos de la región. Lo más importante es que la existencia de todos queda comprobada por dos métodos independientes.



Al W de San Vicente (Melgarejo) ocurre una de las zonas anómalas magnéticas más interesantes del sector y de la Sierra Maestra en general: una anomalía de extensión ENE de 3.0 mOe. de intensidad, la anomalía Manier al suroeste del Puerto de Moya. Lo interesante radica en su dirección e intensidad, análogas a las que caracterizan a la falla El Cobre en las inmediaciones del depósito homónimo. Al igual que la referida a El Cobre, Manier no tiene en su vecindad anomalías magnéticas positivas de la que pueda considerarse su parte dipolar norteña; todo lo contrario colinda con otra mucho más compleja de igual intensidad, pero que al parecer corresponde a las ramas laterales de la curva sobre una estructura en forma de dique subvertical emplazado según NW. En los trabajos preparatorios de Sánchez R. y Escobar E. '87 para los trabajos de Izquierdo et al. 1992 (7) esta zona se propone como perspectiva para la localización de la mineralización análoga a El Cobre. La anomalía Manier está muy bien delimitada al E con la anomalía San Vicente (Melgarejo) en la zona de Puerto Pelado por las fallas Mina grande de dirección NNW-NW arriba citadas. El acentuamiento del eje de mínimos con la altura del recálculo posibilita la pertenencia de la fracturas a eventos anteriores a los neotectónicos y por lo tanto la habilitan como posible canal de las soluciones hidrotermales mineralizantes.

Donskij V. en (7) ubicó varias estructuras vulcano plutónicas EVP en las cercanías de yacimiento: El Cobre propiamente dicha y Ermitaño. La interpretación morfológica del campo magnético admite varias lecturas que pueden estar asociadas a estructuras anulares sean de uno u otro origen. Las que mejor se manifiestan en las escalas más regionales, son las que cartografían cuerpos subvolcánicos o cúpulas de ruptura intrusiva sobre todo cuando las rocas que las conforman son de composición media-básica- básica, ya citamos Los Guaos. Sin embargo la EVT El Cobre uno de cuyos cuerpos subvolcánicos ha sido cartografiado bajo la mina Escobar E.; Mondelo F. 1991 (7) no se manifiesta en el campo magnético. Pueden más los procesos mineralizantes y por ende desmagnetizantes que la susceptibilidad magnética elevada de las rocas volcánicas subyacentes y es necesario la utilización de la gravimetría para que su estructura queda claramente establecida, pese al agrietamiento y la disminución de la densidad de las rocas que también es afectada por los procesos hidrotermales, parcialmente compensados por el aumento de la densidad que provoca la mineralización depositada (7).

En el modelo físico geológico del yacimiento (E. Escobar et al. 7) puede observarse la extensión de las rocas volcánicas del cuerpo subvolcánico El Cobre por debajo de las secuencias vulcanoclásticas y sedimentarias en la parte norte del yacimiento hasta la coordenada Lambert Y= 158000 Cuba Sur inclusive, lo que incluye la anomalía magnética de San Vicente (Melgarejo) en el borde norteño de la estructura. La forma sinuosa de la curva de $G_{B(Residual)}$ bajo el depósito se explica por diferenciaciones de la cúpula, agrietamiento y mineralización. Este enfoque nos permite extender la perspectividad del sector norte del depósito, al menos hasta el límite norteño de San Vicente (Melgarejo) y una vez más pondera la contribución positiva que pudo tener el magmatismo fisural norteño con la mineralización del depósito y magnifica además la importancia del sistema de fallas NW-NNW ya mencionado. La extensión sublatitudinal de las fallas por San Vicente (Melgarejo), sistema de San Pedrito elongan hacia el este y el oeste la perspectividad del sector: la anomalía Manier y las anomalías de El Pajuil, Cadenas lo fundamentan.

No solo los rasgos magnéticos sustentan las ideas de perspectividad del flanco norteño del depósito, sino que las características espectrométricas presentes pueden resolver algunas incógnitas del desciframiento estructural de la región. La falla de plumaje el Cobre sin dudas estrechamente vinculada a la mineralización sulfurosa que conformó el yacimiento homónimo, está muy bien representada en el mapa del radioelemento Th. con un cambio de nivel a modo de escalón que separa en general secuencias al sureste preponderantemente más thoríferas que las estériles que aparecen en el noroeste de la dislocación (Fig. 2). Para el destaque de la



relación de las anomalías de Th. a lo largo de la falla se utilizó el reprocesamiento de la información con una anisotropía de los datos de dirección N 70° W y suponiendo cuerpos dobles en longitud respecto a potencia. Como colofón puede observarse el mapa del parámetro $W=qTh/qU$, donde aparecen en el extremo noroeste, aparentemente estéril, anomalías interesantes de esta relación y evidentemente relacionadas con el vulcanismo en el área y posiblemente con la mineralización metálica, lo que comprueba la importancia de la realización de distintas transformaciones conocidas a los datos AGE para resolver tareas eminentemente cartográficas sobre diferentes escenarios y con distintos fines.

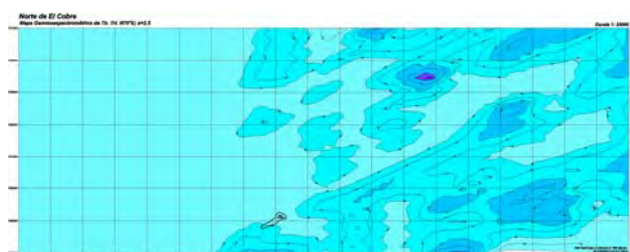
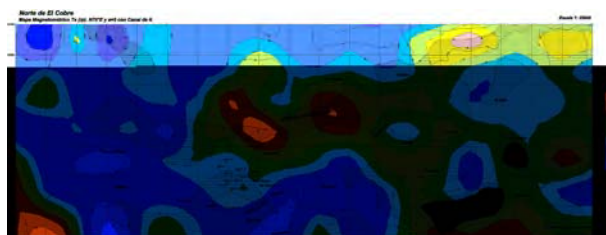


Figura. 2 Mapa de contenidos de Th.

Las anomalías del elemento K de igual nivel a las que aparecen sobre la zona de alteración del depósito pueden ser asimismo cartografiadas hacia el NW del mismo, correlacionándose bastante bien con el sector hasta el momento más interesante en

los flancos NW de El Cobre. Otras anomalías de mucha mayor intensidad, pueden ser observadas hacia la parte E del mapa Fig. 3 sin dudas relacionadas a rocas, también más magnéticas; Los Guaos puede ser el mejor ejemplo, aunque la composición entonces de las rocas volcánicas presentes debe ser mucho más dacítica.

Figura. 3 Mapa Aeromagnético con anomalías de K y SEV de PI.



La utilización de los métodos eléctricos, fundamentalmente el PI en sus variantes de gradientes medios y de SEV respondió a las expectativas depositadas. En todos los casos las anomalías cartografiadas han resultado ser de carácter mineral, útil o no. La variante de SEV utilizada en el flanco N del depósito detectó en casi todos los casos cuerpos de mayor cargabilidad a la profundidad de no más de 100-120 m. La existencia de anomalías de PI abiertas en el flanco N, las más remarcables, las que rodean al Hospital A. Grillo de 4% de polarizabilidad y las que flanquean el poblado de El Cobre, demuestran que las perspectivas de hallar mineralización profunda es elevada, bajo el poblado asimismo se cartografían tres anomalías gravimétricas de 0.2-0.4 mgl. Muchas de las perforaciones realizadas no cumplimentan los criterios para ser consideradas totalmente negativas o de comprobación de anomalías. Dichas anomalías de PI, detectadas en su mayoría con tecnología de los '60, aunque son totalmente verificables, no pueden ser correctamente interpretadas; en otros casos la utilización de gradientes medios como variante y dipolos de corriente AB con separaciones mayores de los 1000m., pudo provocar la pérdida de información anómala superficial.

Anomalías importantes como la 68-4 fueron comprobadas con el pozo S-5; donde se realizaron Cuerpos Cargados para determinar la extensión de la mineralización E. Escobar 1987 (9) en los perfiles de detalle se destaca la existencia y se brindan los parámetros de interpretación de cuerpos minerales pequeños muy relacionados, capaces de ser seguidos con nuevas perforaciones, que no fueron realizadas en las etapas subsiguientes, pero que dan fe de lo resolutorio de los métodos de PI y Cuerpo Cargado. La estrategia a seguir puede estar ligada a la realización de nuevos trabajos de PI variante DD con el fin de realizar interpretaciones más reales antes de la perforación. La inexistencia de datos de trabajos con métodos EM nos impide brindar un evaluación de su efectividad, los únicos datos existentes sobre el comienzo del uso de MAXMIN en el área (R.Sánchez y J.L.Chang, 2002, comunicación verbal) refieren en el



brazo oriental de la anomalía de PI, 68-1 de A. Grillo una buena respuesta del método, empero el gran escollo a vencer en la utilización de EM en el sector es la gran cantidad de ruidos debidos a fuentes antropogénicas, dado lo poblado del área. Todas las conclusiones extraídas sobre la perspectividad del flanco N de El Cobre se verifican mutuamente con las ideas establecidas acerca de los posibles modelos de yacimientos a prospectar en la región. Los trabajos mineralógicos detallados (3) demuestran que las mineralizaciones filoneanas de metales básicos con oro pudieron ser depositadas en el flanco N del actual depósito, (si se cumple la pertenencia de este como todo parece indicar al modelo de yacimientos Kuroko, 12,14) sobre el paleo fondo marino. Considerando el buzamiento de las secuencias volcanogénicas y vulcanosedimentarias, el N parece ser la única oportunidad de existencia para ese paleo fondo (3). La existencia sobre ese sector además de anomalías de Reflectancia Espectral en las imágenes LANSAT (Pardo M. 2002, Comunicación verbal), es otro punto más para validar la perspectividad del área.

Los criterios de prospección hacia el flanco S (Ermitaño, Alta, y otras) del depósito no sufren invalidez alguna con estas afirmaciones. Otras EVT, Ermitaño por ejemplo pueden estar ligadas a las fuentes de soluciones hidrotermales mineralizantes, incluso las ideas sobre la existencia de volcanes polígenos en el área aseveran la existencia de consanguinidad (18) de los cuerpos volcánicos durante el eoceno. Si bien es cierto que por la temperatura de formación de las diferentes mineralizaciones a esperar, es posible que las más importantes, (Casañas X. 3) por resultar filoneanas se hallen hacia el N.

En el sector del depósito El Cobre, los diferentes tipos de menas existentes necesitan de un atento análisis a la hora de interpretar los resultados de los campos físicos. Las dificultades antes radicaban en conocer si las anomalías de PI se vinculaban a cuerpos de menas sulfurosas o a mineralización diseminada, fundamentalmente pirítica en los contactos de los cuerpos subvolcánicos diques y sills, luego de los trabajos de J.A.Luna et al. 1992, (10) que resultaron un hito por el descubrimiento de la mineralización estratiforme polimetálica, y los trabajos de la misma autora (3) en el descubrimiento de la mineralización aurífera del nuevo depósito Barita, la tarea de explicar dichas anomalías se complica aún más. La comprobación de las ideas sobre la mineralización filoneana y de metales básicos de Casañas, X. 2000, (3), tornará casi imposible la asignación del tipo de mineralización a uno u otro modelo físico-geológico y/o petrofísico, a partir de los campos físicos, sin realizar nuevos trabajos que avalen esas mineralizaciones. Los modelos existentes entonces (Mondelo F. et al. y E. Escobar et al. 11, 6, 7), a su vez necesitarán revisión. Empero, nada de ello es óbice para seguir considerando la franja N de El Cobre - El Pajuil, hasta el entronque del camino viejo de El Cobre como perspectivo para la aparición de otro tipo de mineralización de stockwork y/o filoneana.

Si existe un sector favorable desde el punto de vista aerogeofísico por su grado de semejanza a la región del depósito de El Cobre lo es sin duda El Manier, al sur del Puerto de Moya, sus anomalías magnéticas entre 250-300 η T son el doble más intensas que las de El Cobre, pero sin U y K. Los datos para su fundamentación son escasos, pero no existe explicación pausable para su mínimo alargado y estrecho como no sea una zona tectónica sublatitudinal Caimana, y en las proximidades de El Cobre ya es bastante para trabajar.

Conclusiones

El estudio de los distintos campos físicos en los alrededores del yacimiento El Cobre confirman la posibilidad de encontrar nuevos sectores perspectivos para la aparición de mineralización. En dependencia de su cercanía al depósito los más favorables son: zona inmediatamente al N del



yacimiento, desde el poblado y por la dirección NW-NNW-N; zona E en El Pajuil, etc. y El Manier al S y SW del Puerto de Moya. No se analizaron las opciones al S del yacimiento dónde se realizan ya labores de prospección de oro.

Referencias Bibliográficas

- Alioshin, V.; V. Shelagurov; V. Varvarov; F. Sánchez; O.Eguipko; M. Pérez, et.al. 1975. "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico Complejo y sus Búsquedas escala 1: 100000 y 1: 10000 en la parte Nor-Oriental de las Montañas de la Sierra Maestra, años 1972-75". Archivo O.N.R.M. 1982.
- Botrill, T.; J.A. Luna; A. Porro; M. Pérez et al. 1996."Informe de Cierre de los trabajos en la Concesión el Cobre, de la AEI Joutel Resources Ltd.-Geominera S.A. Archivo O.N.R.M.
- Casañas, X. 2000. "Geología y Mineralogía de El Cobre. Cuba Oriental". Tesis para la obtención del Grado de Doctor en Ciencias Geológicas. Universidad de Barcelona. 2000.
- Chang Bravo J.L. et al. 1991, "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las provincias de Santiago de Cuba y Holguín, sector Pinares de Mayarí". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Escobar Pérez, E.; R. Sánchez Cruz.1983."Algunas Consideraciones sobre las perspectivas de Aparición de Mineralización Cuprífera en la Sierra Maestra". Resúmenes I Conferencia Científico Técnica de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1983.
- Escobar Pérez. E.; F. Mondelo. 1991. "Estructura Vulcano Tectónica El Cobre. Características Físicas Regionales". IV Conferencia Científico de la Empresa Geominera Oriental. Santiago de Cuba, 1991.
- Izquierdo, J.M.; V. Sherchniov; A. Fernández; E. Escobar; V. Donskij; R. Sánchez Cruz; M. Estrugo; M. Torres; J. Rodríguez; M. Gentoii; H. Dieguez; J. Cobo. 1991. Informe del Tema 401.03 "Fundamentación de las Direcciones de Prospección Preliminar y Prospección Detallada para Cobre en la Región del Campo Menífero El Cobre, Incluyendo la Cuantificación de los Recursos Pronósticos". Archivo IGP. La Habana.
- Kuzovkov, G.; Y. Arseniev; R. Sánchez Cruz; R. Quesada, 1977. "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Geológico Complejo y sus Búsquedas escala 1: 100000 y 1: 10000 en la parte Sur de las Montañas de la Sierra Maestra durante los años 1975-77". Archivo O.N.R.M. 1982.
- Luna, J.A., M. Rodríguez, H. Barrabí, I. Sosa et al. 1989."Búsquedas detalladas en los flancos y Horizontes Profundos del yacimiento El Cobre". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Luna, J.A., M. Rodríguez et al. 1992."Resultados de los Trabajos de Exploración Zona Sur del yacimiento El Cobre". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Mondelo, F.; E. Escobar, A. Leyva, 1989."Modelo Petrofísico del yacimiento El Cobre". Resúmenes I Congreso Cubano de Geología y Geología del Caribe Occidental, La Habana, 1989.
- Moreira J.; J.L. Torres; J. Montano; A. Morales; F. Bravo; A. Suárez; R. Lavandero; R. Sánchez Cruz. 1999. " Modelos de depósitos minerales. Algunas consideraciones genéticas y criterios para su exploración. Metales preciosos y base". Archivo O.N.R.M., I.G.P. La Habana.
- Prieto, R.; I. Padilla; L. Lufriú; R. Sánchez Cruz, 1993. "Informe sobre los Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo en el sector Sierra Maestra". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Russell, N.; J. Moreira; R. Sánchez Cruz. 2000 "Volcanogenic Massive Sulphide Deposits of Cuba. P. 241-258 in VMS Deposits of Latin América, Geological Association of Canadá, Mineral Deposit Division. Special Publication No.2 (SRK Consulting & Smithsonian Institution. 2000).
- Sánchez Cruz, R.; E. Escobar; C.M. Rosales. 1984. "Mineralización de Hierro y de Cobre y su vínculo Téctono-Magmático en la Cordillera de La Sierra Maestra". Resúmenes del VI Congreso Centroamericano de Geología. Managua, Nicaragua. 1984.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1993. "Aspectos Geólogo-Geofísicos de la aplicación de diferentes modelos metalogenéticos, para la prospección de oro en la región de la Sierra Maestra". Resúmenes GEOCIENCIAS'93, Filial Oriental de la Sociedad Cubana de Geología, (SCG).
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1994. "Aproximación al Modelo Físico-Geológico del Arco Volcánico Paleogénico Cubano". Resúmenes II Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, 1994.
- Sánchez Cruz, R.; E.M. Escobar Pérez. 1994. "Aproximación al Modelo Físico-Geológico del Arco Volcánico Paleogénico Cubano". Resúmenes II Congreso Cubano de Geología y Minería. Santiago de Cuba, 1994.



Sánchez Cruz, R.; E. Escobar Pérez; M. Pérez; N. Petrus; A. Oviedo.2002. "El Arco Volcánico Paleogénico y la Consanguinidad entre sus Estructuras Vulcano Plutónicas: un acercamiento geofísico al problema. Comunicación Verbal.

...un poblado de cuatro siglos de existencia, perdió su principal fuente de sustento, reabrir la mina de El Cobre es algo que por minero y cubano nos obliga: pueblo y Virgen del Cobre, patrona de cubanos y mineros lo agradecerán.



LA CLASIFICACION DE RECURSOS Y RESERVAS DE MINERALES UTILES SOLIDOS Y PROBLEMAS VINCULADOS CON SU APLICACIÓN.

Jorge L. López- Álvarez, Lázaro V. Guzmán- Castillo

Oficina Nacional Recursos Minerales, Salvador Allende # 666 Centro Habana, Ciudad de la Habana, Cuba, C. Elect. : jorge@onrm.minbas.cu y lazaro@onrm.minbas.cu

RESUMEN.

La Clasificación de Recursos y Reservas de Minerales Sólidos fue aprobada por el Ministro de la Industria Básica y publicada en la Gaceta Oficial de la República de Cuba.

En este trabajo se da una panorámica acerca del contenido y aplicación de la misma, se explica como han evolucionado los diferentes sistemas de Clasificación en nuestro país, y demuestra que esta Clasificación está acorde a las clasificaciones mas utilizadas en el mundo, que parten de la estimación de reservas a partir de modelos de recursos y en los cuales para la determinación de reservas, independientemente de los factores geológicos y otros, también juega un papel fundamental el factor económico.

Se señala que con esta clasificación y otras leyes y regulaciones de reciente promulgación, nuestro país cuenta con la documentación aceptada internacionalmente en las condiciones económica actuales, que facilita la interpretación y para el acceso de la inversión nacional y extranjera en la industria minera.

Por último se dan ejemplos de los principales problemas que se han presentado en un año de aplicación, mostrándose los errores cometidos cuando se reportan recursos y reservas de minerales, sobre todo en la información al Balance Nacional de Recursos y Reservas de Minerales y los Informes Geológicos, así como también algunos ejemplos de aplicación de la misma cuando se realizan las solicitudes de concesiones mineras a la ONRM.

En las conclusiones se explican los puntos básicos para la aplicación correcta de la Clasificación y se señalan las ventajas demostradas de la misma.

ABSTRACT.

The Classification of the Resources and Reserves of Solids Useful Minerals was approved by the minister of the Basic Industry and published in the Official Gazette of the Republic of Cuba.

The present work gives a panoramic about the content and application of this document. It explained how the different systems of Classification of Resources and Reserves in our country had evolved, and it demonstrates that this Classification is in agreement to those classifications used in the world that are based on the estimate of reservations starting from models of resources and in those which for the determination of reservations independently of the geologic factors and other, it also plays a fundamental paper the economic factor.

It is pointed out that with this classification and other laws and regulations of recent promulgation, our country has the internationally documentation accepted under the current economic conditions that it facilitates the interpretation and the access of the national investment and foreigner in the mining industry.

Lastly, examples are given of the main problems that they are had presented in a year of application, being shown the errors when resources and reserves of minerals are reported mainly in the information to the National Balance of Resources and Reserves of Minerals and the Geologic Reports, as well as some application examples of the same one when they are carried out the applications of mining concessions to the ONRM.

In the conclusions the basic points are explained for the correct application of the Classification and are shown the advantages of it.



Introducción.

En 1999 la ONRM circuló por las diferentes entidades que tienen que ver con la actividad geólogo – minera, una nueva Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos elaborada por los autores, la cual fue finalmente aprobada tomándose en cuenta las observaciones y criterios de los especialistas.

Este trabajo va dirigido a nuestros geólogos y especialistas que tienen que ver con esta actividad, con el objetivo de aclarar y/o facilitar la comprensión de algunos conceptos que en ella se expresan, y que la misma constituya un apoyo en la problemática de la clasificación y evaluación de los recursos y reservas de minerales útiles sólidos. Pensamos que el debate de este tema en un foro como este, servirá para aclarar las inquietudes, así como para aumentar el dominio del asunto en cuestión.

Discusión.

En ese trabajo analizamos los principales sistemas de Clasificación de Recursos y Reservas aplicados en Cuba en la etapa revolucionaria, pretendemos examinar sucintamente, las principales clasificaciones de recursos y reservas utilizadas en Cuba así como presentar y evaluar algunos problemas que se han presentado hasta el momento, por la aplicación de la nueva clasificación.

Los sistemas fundamentales que se han aplicado y tomamos en cuenta son:

- ✓ Norma Cubana NC-93-07-201.
- ✓ Instrucción para la Clasificación de los Recursos y reservas de Minerales Útiles Sólidos. ONRM. 1996.
- ✓ Clasificación de los Recursos y Reservas de minerales Útiles Sólidos, ONRM, 1999.

♦ La norma NC-93-07-201 de 1987 (Clasificación y requisitos generales de las reservas y los recursos pronósticos).

Tomaba como base la Clasificación de Recursos y Reservas que se aplicaba en la URSS y los países socialistas de Europa del Este, la cual consideraba dos criterios para la clasificación:

El criterio de Grado de Conocimiento Geológico y el Económico

Las reservas se clasificaban por el grado de conocimiento geológico en A, B, C1, C2
Por el criterio económico en Balanceadas y No balanceadas.

Clasificaba también recursos pronósticos en categoría P1, P2, P3

Se consideraba el grado de complejidad de la estructura geológica, diferenciando cuatro grupos (I, II, III, IV) y el grado de preparación de los yacimientos para su asimilación industrial.

Se definen las reservas de mineral útil, ("in situ") como la cantidad de mineral útil determinada por los trabajos geológicos en el subsuelo o en los residuos de las industrias.

Recursos Pronósticos: Recursos aun no descubiertos pero que su presencia se puede suponer por las premisas geológicas y otros resultados de los trabajos geológicos.



♦ **La Instrucción para la clasificación de recursos y reservas de minerales útiles sólidos –ONRM, 1996.**

Primera clasificación cubana que parte del modelo de recursos para estimar reservas y que tuvo como referencia la clasificación de recursos y reservas que se aplicaba en el mundo occidental y en especial en los EUA (Buró de Minas de los E.U.A., 1989), también la Clasificación Internacional de las Naciones Unidas (Consejo Económico y Social, Naciones Unidas, 1997).

Al igual que en la clasificación anterior en esta se toman en cuenta los criterios de: Grado de Estudio (conocimiento geológico) y el Criterio Económico.

El criterio de la complejidad del yacimiento, se consideraba implícitamente durante el estudio del yacimiento también la afectación económica que por esta causa incidía en los trabajos geológicos.

Las características fundamentales de este sistema son:

*Tiene un papel preponderante el significado económico.

*Define el recurso mineral como un término general en el cual están incluidas las reservas.

*La Clasificación es de aplicación a los recursos minerales "in situ".

*Se establece la diferencia entre recursos y reservas.

*Define las reservas como la parte de los recursos minerales de la que puede extraerse de forma rentable o en límites cercanos a la rentabilidad unos o varios minerales útiles en el momento de su determinación, incluyendo sólo los componentes económicos y marginalmente económicos.

*Por el criterio de Grado de Estudio (conocimiento geológico), los recursos los clasifican en Identificado y No Identificado.

*Los Identificados son: Medido (Probada), Indicado (Probable), Inferido(Posible) y dentro de ellos se definen las reservas.

*Dentro de los Recursos Identificados se consideran los recursos llamados subeconómicos. Los No Identificados: Hipotéticos y Especulativos.

*Por el criterio económico clasifica en: económico (para una explotación rentable), marginalmente económico (explotación en límites cercanos a la rentabilidad) y subeconómico(explotación no rentable en el momento de su determinación).

Como se señaló por el criterio económico define que sólo entran en reservas aquellas consideradas económicas o marginalmente económicas. El resto formarían parte de los recursos.

♦ **Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos, ONRM, 1999.**



En este acápite se centra el análisis fundamental y los objetivos de este trabajo.

Esta clasificación retoma la tendencia actual de estimar y clasificar reservas partiendo de modelos de recursos (Australasian Institute of Mining and Metallurgy- AIMM-1996).

Esta clasificación está acorde al modelo aceptado internacionalmente (Commite on Reserve Definitions of CIM, 1996) , en el caso nuestro, fue elaborada de acuerdo a nuestras particularidades nacionales, y considerando documentos de las Naciones Unidas para la clasificación de reservas/recursos combustibles sólidos y sustancias minerales.

Las diferentes clasificaciones de otros países, tienen un perfil puramente para minerales metálicos, la nuestra, se ha adecuado para que se aplique tanto a los minerales metálicos como a los no metálicos.

Entre las cuestiones que son remarcables en esta clasificación, es que quedan claramente definidos los conceptos de recurso y reserva.

Puntualizamos los dos conceptos fundamentales que aquí se manejan:

Recurso Mineral: Concentración de minerales o elementos útiles sólidos que existen en la corteza terrestre tanto, en superficie como en profundidad, cuyas características hacen posible su extracción económicamente favorable en condiciones actuales o futuras. Se clasifica en Identificado y No Identificado.

El Recurso Mineral Identificado se clasifica en: Medido, Indicado e Inferido.

El Recurso Mineral No Identificado se clasifica en Hipotético y Especulativo.

Al definir el recurso mineral se tendrá en cuenta sólo los datos del estudio geológico, que permita corroborar su perspectiva de explotación con ventaja económica.

Están exentos de la aplicación de parámetros tales como la pérdida y dilución. Su categoría apropiada depende de la calidad de los datos, su confiabilidad y exactitud.

O sea el recurso mineral tiene un interés económico potencial, pero las ganancias no han sido establecidas

Reserva Mineral: Es la parte o totalidad del Recurso Mineral Medido o Indicado que puede ser extraído con utilidad económica, considerando las pérdidas y dilución, según las condiciones reales asumidas en el Estudio de Factibilidad o Prefactibilidad Económica.

Los estimados de reservas minerales provienen de los recursos, en cuya estimación se han considerado criterios mineros, tecnológicos, legales, económicos, medioambientales, sociales y gubernamentales.

La reserva mineral se clasifica en: Probada y Probable.

La reserva Probada implica el mas alto grado de confianza en el estimado.

Si ocurrieran cambios en algunos de los parámetros que afectan la viabilidad económica en alguna o todas las reservas y se convierten en no factibles entonces estas reservas deben ser



reclasificadas como recursos. No obstante la aplicación de esta reclasificación no es absoluta, ya que por ejemplo si se da el caso que los cambios esperados son a corto plazo o de naturaleza temporal y la dirección de la Entidad ha tomado la decisión deliberada de operar sobre una base no económica (Ej. caída de los precios del producto, que se espera que sea de corta duración, inundación temporal de la mina, etc.), entonces las reservas quedan como tal.

Resumiendo: la reserva es la parte del yacimiento que puede ser extraída o puede ser puesta en producción legalmente con ganancias

El termino de reservas debe aplicarse cuando se tiene financiamiento y se hayan realizado todos los trámites legales.

En el momento de definir una reserva, hay que tener un nivel de inversión que permita convertir una decisión de producción en un complejo minero. Se requiere:

- ◆ Estudio de Factibilidad de producción con resultados positivos.
- ◆ Compromiso de desarrollar una mina que produzca.
- ◆ Realizar los tramites legales requeridos, tener otorgada la concesión
- ◆ Tener garantizado el financiamiento.

Problemas derivados de la aplicación de la nueva clasificación.

El primer documento en que se ha aplicado la nueva clasificación plenamente, ha sido el Balance Nacional de Recursos y Reservas (BNRR) al 1/1/2000 y paulatinamente en los informes geológicos y en las solicitudes al Registro Minero.

Se han confrontado los problemas siguientes:

- ◆ Se transformaban mecánicamente las anteriormente llamadas reservas Posibles a recurso Indicado o reserva probable sin tener en cuenta que:
 - Según la nueva clasificación los recursos posibles por su bajo grado de conocimiento y precisión no constituyen la base de reservas.
 - La estimación de estos recursos casi siempre da un valor sobrestimado y en ellos no es posible establecer la continuidad de la mineralización.
 - Yacimiento que tenían ‘reservas posibles’ y en realidad por la gran cantidad de trabajos realizados se correspondía con un Recurso Indicado y no se hacía la adecuación correctamente.
- ◆ Se presentaron para yacimientos de alta complejidad (de los anteriormente clasificado como grupo IV), categoría de recurso Medido y de reservas Probada, sin tener en cuenta que estos son depósitos con alta variabilidad natural en los cuales los trabajos de exploración no permiten detallar Recursos/reservas para clases de mayor confianza.
- ◆ Deficiencias en la determinación de la continuidad de la mineralización, ya que en la precisión de la misma debe tenerse en cuenta la calidad y detallamiento del estudio geológico(el grado de confiabilidad de la interpretación geológica), la calidad del muestreo y de las determinaciones realizadas, la red: (densidad y distribución) de los laboreos, la



precisión en el procesamiento de los datos. Ejemplo: Yacimiento de arena San Miguel de Bagá, donde recursos clasificados en alta categoría no se confirmaron.

- ♦ Yacimiento que anteriormente se explotaban en baja categoría (Posible o Inferido) y que producto del avance de la explotación y el conocimiento podía valorarse su paso a una categoría superior y no se hacía, lo que de hecho implicaba una deficiente clasificación.
- ♦ En algunos yacimiento se planteaba la explotación considerando que los mismos se podían explotar indistintamente en reserva Probada o Probable si en fin de cuenta ambas eran reservas, sin tener en cuenta que las reservas probadas tienen el mas alto grado de confiabilidad del estimado y solo excepcionalmente por la irregularidad de algunos yacimientos se admite el comienzo de la explotación en reservas Probables, esto por el alto costo que implicaba para la exploración un mayor detallamiento, sin embargo, durante la explotación debe elevarse el grado de conocimiento a reservas Probadas.
- ♦ Como se ha visto, la definición de reserva de esta clasificación implica que la misma es minable, extraíble , o sea, proviene de un Recurso Medido o Indicado afectada entre otros por la pérdida, dilución y que la explotación sea rentable clasificando reservas Probadas y Probables.

Los problemas mas comunes eran no evaluar ni estimar correctamente las perdidas y/o dilución y no hacer o realizar correctamente la evaluación económica del depósito.

- ♦ Empresas que trabajan en condiciones de irrentabilidad y no se tiene en cuenta que los cambios que afectan la viabilidad económica implica que debe analizarse su reclasificación a recurso.
- ♦ Relacionado con lo anterior, a veces no se tenían bien definidos, en el caso que lo hubieren, los pilares de seguridad y los recursos abandonados y no se consideraban estos cuando había que definir reserva.
- ♦ Una cuestión pendiente de resolver es la determinación del error permisible en la delimitación y precisión de las diferentes categorías de recurso y reserva, esto es importante en la exactitud de la determinación del recurso y reserva para la estimación del riesgo relativo.

Hay que tener en cuenta que el grado de certeza en la estimación está asociado a la variabilidad natural del depósito mineral , este se mide mediante el coeficiente de variación y el grado de confiabilidad depende de la investigación geológica realizada, el muestreo, la cantidad de datos, la confiabilidad de los análisis , la precisión en la ubicación de las labores y otros.

Conclusiones.

- El poco dominio y conocimiento de la Clasificación ha conllevado a los errores antes señalados.
- Si se tiene en cuenta que las reservas son las que intervienen en el proyecto minero, si estas no son bien estimadas, puede tener efecto en la viabilidad del proyecto.
- La aplicación de la clasificación no debe hacerse de forma mecánica, debe tenerse en cuenta las características geológicas del depósito mineral en cuestión.



- Debe hacerse el monitoreo de la Clasificación para diferentes tipos de yacimientos de tal manera que sirva para lograr las precisiones correspondientes.
- Como se puede ver el sistema de clasificación que se presenta está acorde a lo que se utiliza internacionalmente y es viable para la inversión en la Industria minera.
- Constituye un paso en la aplicación de nuevos conceptos en la exploración y explotación de los minerales útiles sólidos en el cual el papel preponderante lo sea la racionalidad (tecnico-económica) y lograr la explotación de nuevos yacimientos con beneficios económicos para el país.

Bibliografía.

AUSTRALASIAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY-AIMM. (1996). Australasian code for reporting of identified mineral resources and ore reserves. The AusIMM Bulletin (4): 1-19.

BURO DE MINAS DE LOS E.U.A. Y SU SERVICIO GEOLOGICO(1989): Principios de la clasificación de los recursos y las reservas de minerales.

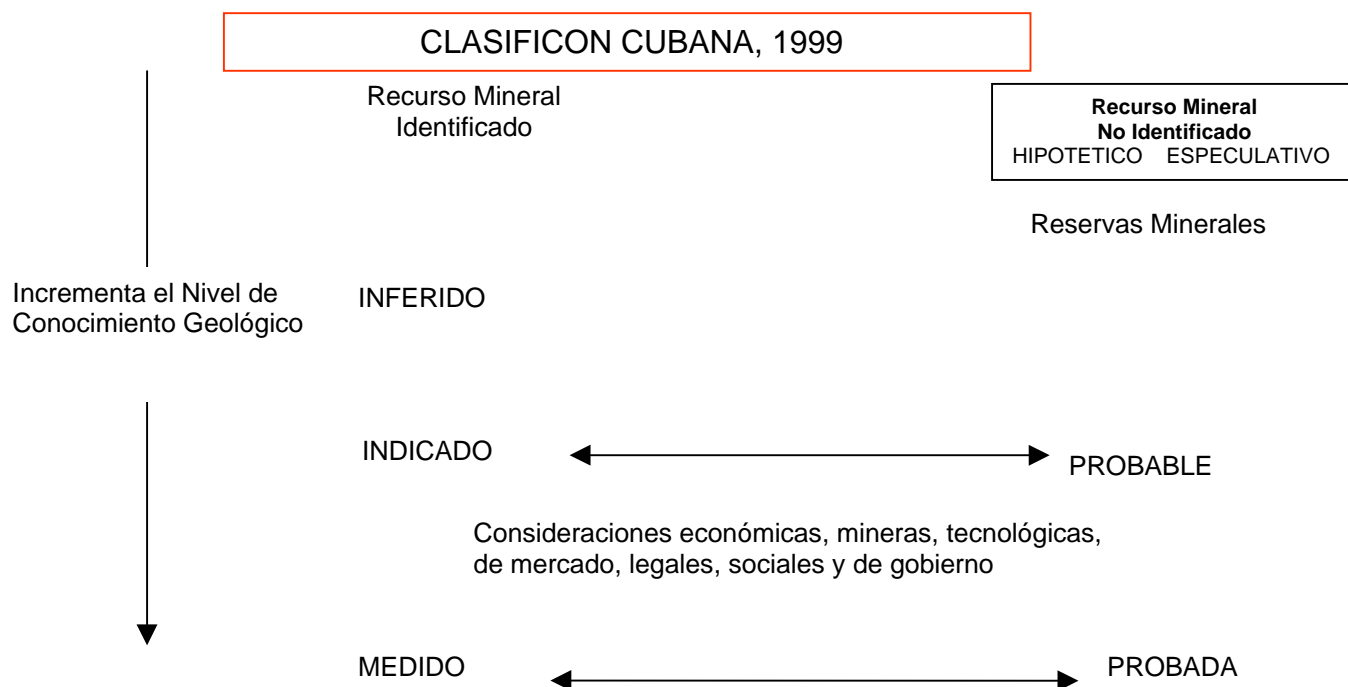
CONSEJO ECONOMICO Y SOCIAL NACIONES UNIDAS(1997) Marco Internacional de las Naciones Unidas para la Clasificación de reservas/recursos. Combustibles sólidos y sustancias minerales.

COMITE ON RESERVE DEFINITIONS OF CIM(1996): Mineral resource/reserve classification: categories, definitions, and guidelines.

NC-93-07-201 (1987) Clasificación y Requisitos Generales de las Reservas y los Recursos Pronósticos.

ONRM. (1996) Instrucción para la Clasificación de los Recursos y reservas de Minerales Útiles Sólidos.

ONRM. (1999) Clasificación de los Recursos y Reservas de minerales Útiles Sólidos.



MEMORIAS GEOMIN 2003, LA HABANA, 24-28 DE MARZO. ISBN 959-7117-11-8



MODELO TRIDIMENSIONAL Y REESTIMACIÓN DE RECURSOS (ARENA PARA LA CONSTRUCCIÓN) AL OESTE DE GUANE.

Raydel Toirac Proenza.

Universidad de Pinar del Río, Calle Martí # 270, Pinar del Río, Cuba; CP: 20100.

RESUMEN

El presente trabajo esta dirigido a la reestimación de los recursos de arena de los sectores Guasimal y 20 de Mayo, localizados al oeste de Guane. Los sectores se ubican dentro de los depósitos aluviales de la zona y fueron evaluados a finales de la década del 80 durante los trabajos de prospección de arena para la construcción al oeste de Guane.

Inicialmente toda la información generada durante la investigación de dichos sectores fue convertida a formato digital. Las bases de datos creadas fueron revisadas y depuradas para eliminar todos los posibles errores. El análisis exploratorio de datos y la variografía se realizó con el objetivo de caracterizar la variabilidad espacial de las distintas variables estudiadas (% de arena, grava y fino) y seleccionar el método de estimación a emplear en el modelo de recurso.

Los modelos geológicos de ambos sectores fueron confeccionados en 2D y 3D y para el contorno de los cuerpos de arena se utilizaron los mismos criterios (condiciones minero técnicas) que en trabajos anteriores. Finalmente se generó el modelo de recurso para ambos sectores. El método seleccionado para este fin fue el modelo de capa lo cual se justifica por la forma lenticular de los cuerpos evaluados.

El estudio anterior contempla dos variantes: una donde se incluye el tamiz 4.76 mm como arena a solicitud de la Industria de materiales de la construcción de Pinar del Río y otra donde se excluye el tamiz 4.76 mm como exige la norma; sin embargo, a diferencia del presente trabajo, no tiene en cuenta la variación de la potencia media en la banda intercontorno.

El presente trabajo demuestra la efectividad del método (modelo de capa) utilizado para este tipo de depósitos.

ABSTRACT

The present work is directed to the reestimation of the sand resources of the Guasimal and 20 de Mayo sectors, located to the west of Guane. The sectors are located inside the alluvial deposits of the area and they were evaluated at the end of the decade of the 80 during the prospecting works for construction sand in the west of Guane.

Initially all the information generated during the investigation of this sectors was converted to digital format. The created databases were revised and verified to eliminate all the possible errors. The exploratory data analysis and the variography were carried out with the objective of characterizing the space variability of the different studied variables (% of sand, burdens, fine and module of fineness) and to select the estimation method to use in the resource model.

The geologic models of both sectors were made in 2D and 3D and for outlining of sand bodies the same approaches used in previous works were applied. Finally the resource model was generated for both sectors. The selected method for this end was the grid model based on the lenticular shape of the evaluated bodies.

The previous study contemplates two variants: the first one included the sieve 4.76 mm in the sand fraction as it was requested by the industry of building material of Pinar del Río and other one, where the sieve 4.76 mm is excluded according to the norm. However, contrary to the present work, it does not take into consideration the mean thickness variation in the interlimit band.

The present work demonstrates the effectiveness of the method (grid model) used for this type of deposits.



Introducción

La arena es uno de los principales materiales empleados en la industria de la construcción. Actualmente en el país en general y en Pinar del Río en particular existe un déficit de esa materia prima, máxime después del paso de los 2 huracanes por el territorio. Es por eso que los depósitos Guasimal y 20 de Mayo que fueron estudiados al final de la década del 80 cobran nuevamente vigencia y constituyen el centro de este trabajo.

Aunque los métodos automatizados de estimación de recursos cuentan ya con varios años de práctica a nivel mundial en nuestro país su introducción se ha visto demorada motivado por 3 causas fundamentales: resistencia al cambio, falta de softwares especializados, falta de know-how. Este trabajo pretende acercarse a esta temática a partir de la reestimación de los recursos de arena que poseen los depósitos antes mencionados.

La zona pertenece a los municipios de Guane y Mantua en la provincia de Pinar del Río. Se extiende a todo lo largo de la carretera que las une con una longitud de 13.6 Km. y un ancho de 3 Km. El pueblo de Guane, por lo cercano que se encuentra al área de estudio es el centro socioeconómico más importante. Además, se localizan otras poblaciones como son la de Juan Gómez y 20 de Mayo. El área se localiza en el extremo oeste de la hoja cartográfica 3382-I "Guane a escala 1:50 000" editada por el ICGC en el año 1978.

En la región se destacan las formaciones del Cretácico Paleógeno, Neógeno y sedimentos del Cuaternario, los cuales constituyen el objetivo de nuestro trabajo. El área investigada pertenece a la zona tectónica facial Guaniguanico.

Metodología

La metodología empleada se seleccionó sobre la base de los objetivos iniciales del trabajo, las características de la información con que se contaba y los softwares disponibles para realizar el trabajo. El diagrama de flujo del trabajo se muestra en la **Fig.1** mientras que la descripción general de los distintos pasos se detalla a continuación. Todo el procesamiento de la información se realizó empleando las posibilidades del Surfer 7.0 y del Microlynx 6.0.

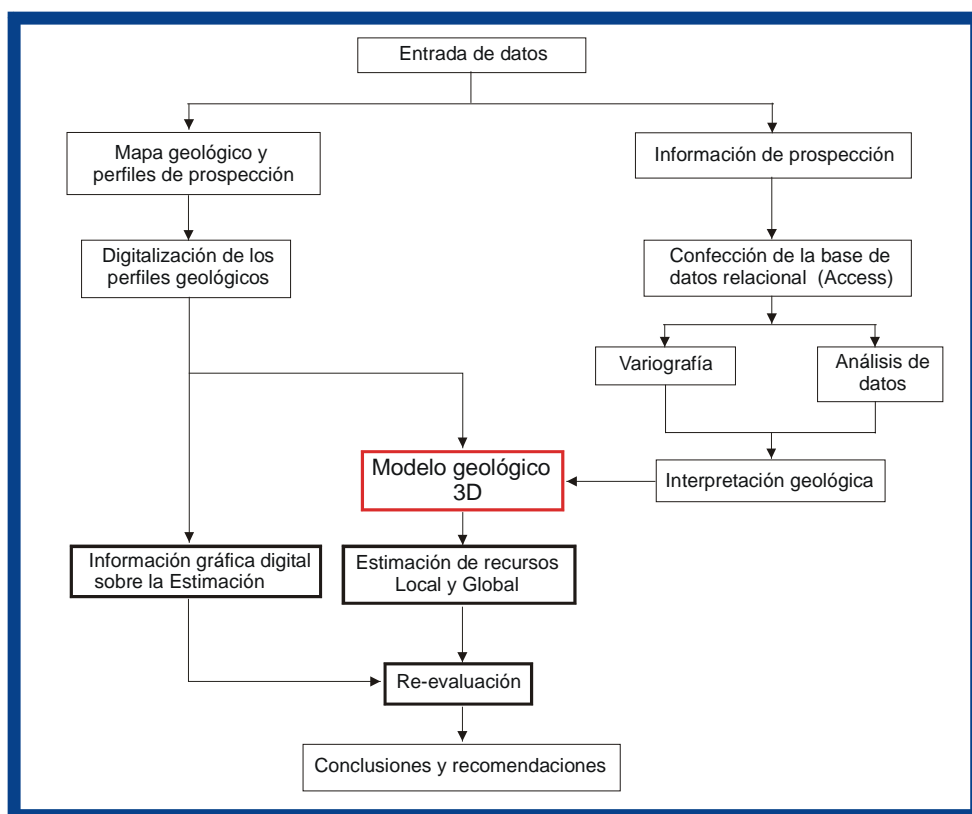


Fig.1 Diagrama de flujo.

Información de partida

Para la ejecución de este trabajo se empleó la información de la prospección (Búsqueda orientativa y detallada) en los sectores 20 de Mayo y Guasimal recopilada en 1987. La base de datos cuenta con 44 pozos de la búsqueda orientativa y 90 pozos de la prospección detallada. De los 90 pozos, 50 pertenecen a Guasimal mientras que el resto es de 20 de Mayo. A las muestras tomadas se le realizaron análisis granulométrico, análisis químico-mineralógico, determinación de la materia orgánica y propiedades físico - mecánicas.

Entrada de datos

Toda la información disponible se encontraba en copia dura por lo que fue necesario introducir manualmente todos los datos referentes a ambos yacimientos, para la entrada de datos se empleó Excel 97. La información de prospección fue organizada desde el mismo comienzo en tres tablas. La primera de ellas contiene la información sobre las coordenadas de la boca de los pozos, en la segunda se recoge todo lo referente a los análisis realizados así como la litología de las distintas muestras en la última base de datos se guarda toda la información sobre la inclinometría de los pozos. Una vez que se tiene la información en Microlynx se procedió a digitalizar interactivamente en la pantalla de la computadora los perfiles de prospección realizados durante la investigación del yacimiento. Para la realización de dichos perfiles y el contorno de las capas de arena se emplearon los mismos requerimientos industriales que los usados en 1987.



Requerimientos de la materia prima para su uso como hormigón:

- ☆ Potencia máxima de la cobertura 2m.
- ☆ Potencia mínima industrial 1.0m.
- ☆ Relación cobertura – roca útil 1:1.
- ☆ Módulo de finura 2.2.
- ☆ Contenido mínimo de arena 50%.
- ☆ % de grava ($< \text{ó} =$) 10% (Retenido en tamiz 4.76mm).
- ☆ % del material fino $< 50\%$ (Pasa por el tamiz 0.149mm).

Para la confección de los perfiles y producto de limitaciones técnicas del software utilizado fue necesario rotar y trasladar el sistema original de coordenadas de manera tal que los perfiles de prospección quedaran orientados en la dirección norte-sur.

Análisis Exploratorio de Datos.

Este paso se realiza con el objetivo de establecer el carácter estadístico de la potencia (2D) y los porcentos de arena, grava y fino presentes en la materia prima y cuantificar su continuidad espacial. El análisis exploratorio de datos consiste en el cálculo de algunos estadígrafos de la estadística descriptiva, la construcción de histogramas y curvas de frecuencia acumulativa y el chequeo de la normalidad de los datos. Esto posibilita determinar el tipo de distribución de la información que se posee, detectar la presencia de valores huracanados y la existencia de poblaciones complejas (bimodalidad o multimodalidad). Esta etapa es de suma importancia pues permite una plena familiarización con los datos y facilita la toma de decisiones acerca de las posibles técnicas de interpolación que se deben usar en el momento de la estimación (Estévez, 1999).

La estadística descriptiva se calculó para los dos sectores de forma independiente. La **Tabla I** muestra la estadística elemental de los porcentos de arena, grava y arcilla (3D).

Para determinar si los datos se ajustan a una determinada distribución se realizó la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov- Smirnov (**Tabla I**). De sus resultados se deduce que los porcentos de arena, grava y fino se ajustan a una distribución normal en el sector 20 de Mayo. Esto se corrobora al analizar los histogramas de los valores originales así como el hecho de que en todas las variables los valores de la media y la mediana son muy parecidos mientras que el coeficiente de variación es muy cercano a 1. Los datos del yacimiento Guasimal no siguen una distribución normal.

El análisis estructural o Variografía se realizó para investigar y cuantificar la variabilidad espacial del componente útil en el sector de estudio. El variograma es la herramienta geoestadística más importante en la determinación de las características de variabilidad espacial del fenómeno estudiado, es decir tener conocimiento de cómo la variable cambia de una localización a otra, se define, como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentales separados a una distancia h (Journel y Huijbregts, 1978).



Tabla. I Estadística elemental de los porcentos de Grava, arena y fino (3D).

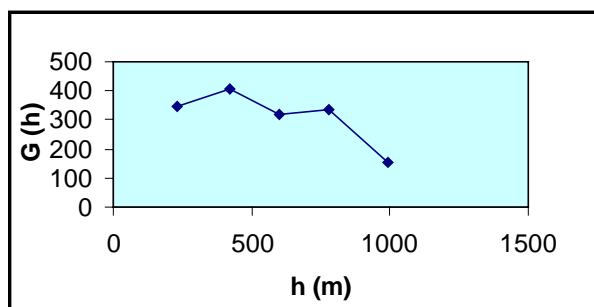
	20 de mayo			Guasimal		
	Grava	Arena	Fino	Grava	Arena	Fino
Cantidad de datos	31.00	31.00	31.00	57.00	57.00	57.00
Mínimo	0.00	43.68	7.14	0.00	15.44	9.94
Máximo	32.90	79.78	44.78	35.62	88.40	83.54
Rango	32.90	36.10	37.64	35.62	72.96	73.60
Media	13.41	63.25	23.15	7.68	62.34	30.12
Mediana	12.94	64.48	21.60	5.92	66.14	27.22
Varianza	105.34	97.17	90.53	68.31	247.16	283.98
Desviación estándar	10.26	9.86	9.51	8.27	15.72	16.85
Coeficiente de variación	0.77	0.16	0.41	1.08	0.25	0.56
Asimetría	0.36	-0.16	0.57	1.35	-1.21	1.70
Kurtosis	-1.10	-0.87	-0.01	1.57	1.56	2.87
Kolmogorov-Smirnov stat	0.12	0.09	0.10	0.18	0.13	0.22
Critical K-S stat, alpha=.10	0.22	0.22	0.22	0.16	0.16	0.16
Critical K-S stat, alpha=.05	0.24	0.24	0.24	0.18	0.18	0.18
Critical K-S stat, alpha=.01	0.29	0.29	0.29	0.21	0.21	0.21

El estudio se inicia con el cálculo de los variogramas experimentales (isotrópico y direccionales), posteriormente el análisis de anisotropía y por último, si es posible, el ajuste de los modelos teóricos que describen la continuidad espacial de la mineralización en la parte estudiada del depósito.

En nuestro caso el análisis estructural fue realizado solamente para el caso 3D pues es el que posee suficiente cantidad de información. Un ejemplo de los variogramas omnidireccionales calculados para las distintas variables se muestra en la **Fig.3**.

Fig.3 Variograma omnidireccional calculado para la arena en el Sector Guasimal.

Queda claro, por la forma errática y desordenada de las funciones estructurales, que las variables estudiadas poseen una alta variabilidad por lo que no se pudo detectar la estructura espacial de la variabilidad. Solo el variograma para el fino en el yacimiento 20 de Mayo reveló una clara continuidad espacial con un alcance de alrededor de 500m. La alta variabilidad revelada impide el empleo de técnicas geoestadísticas para realizar la estimación, es por eso que en el modelo de recurso se empleó el método de inverso de la distancia al cuadrado para interpolar las distintas variables estudiadas.



Creación del Modelo Geológico

El objetivo de este paso es crear un modelo geométrico tridimensional de los yacimientos, que representen la posición y la forma de las distintas unidades geológicas presentes en el área. El modelo geológico 3D se emplea para aplicar control geológico a la estimación de recursos. El software empleado soporta dos maneras diferentes de construir el modelo geológico:

1-Método de los perfiles, se fundamenta en una serie de perfiles o secciones, regularmente espaciadas. Las distintas unidades se digitalizan en las secciones y posteriormente se correlacionan los perfiles (puntos de inflexión) para conformar el modelo de alambre (wireframe) y a partir de este se confecciona el modelo geométrico 3D del yacimiento.

2-Método de las superficies se basa en la generación de 2 planos que limitan los cuerpos u objetos geológicos por la parte superior e inferior (tabla alta y tabla baja). Posteriormente las superficies generadas son modeladas empleadas el algoritmo de TIN (red de triángulos irregulares). Los puntos (x,y,z) que yacen en las distintas superficies se extraen automáticamente de la base de datos o se extraen de los perfiles o secciones digitalizadas.

En nuestro caso por las características que poseen las capas de arena y por las interrupciones y acúñamientos que poseen se empleó una combinación de ambos métodos.

Modelo de recurso y estimación del rendimiento de arena, grava y fino

En el modelo de recursos el porcentaje de arena, las reservas (m^3) y las reservas recuperables (beneficiables) son estimadas sobre la base del modelo geológico tridimensional anteriormente creado y con el uso de técnicas de estimación. El software empleado ofrece dos métodos para la confección del modelo de recursos: modelo de bloque y modelo de capa. La selección del método que se debe emplear en cada caso depende de la morfología y la distribución de la ley de los cuerpos minerales.

El modelo del bloque consiste en una serie de bloques (voxels) regulares, apilados en tres dimensiones para abarcar un volumen en el espacio. El tamaño del bloque debe reflejar el tamaño de la unidad de selección minera a ser usada, además debe ser lo suficientemente pequeña para permitir la definición exacta de la forma del cuerpo. Este modelo es conveniente para yacimientos tridimensionales con mineralización diseminada y masiva (Microlynx, 1998).

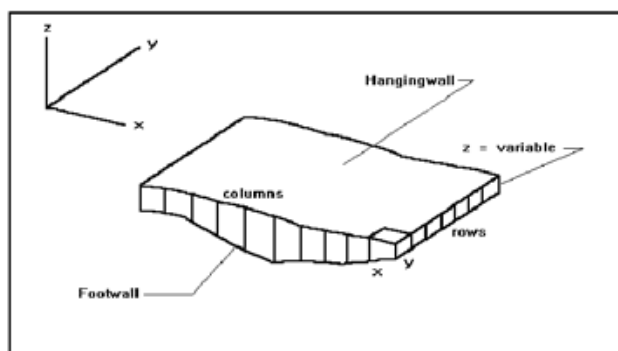
El modelo de capa es muy similar al modelo del bloque, este consiste en una serie de bloques que tienen los tamaños regulares en dos dimensiones mientras la tercera dimensión de cada bloque es variable y depende de la potencia de los cuerpos minerales.



El modelo de capa se emplea en depósitos tabulares donde la dimensión transversal (vertical) del cuerpo es pequeña comparado a sus magnitudes laterales (horizontales) y la variación de la ley para el depósito es pequeña. En esta investigación el modelo de capa fue el seleccionado para estimar las reservas de ambos depósitos, la selección se basó en la forma lenticular de las capas evaluadas. El tamaño de bloque empleado se seleccionó considerando el criterio manejado en la literatura donde se recomienda emplear un tamaño que varíe entre 1/4 y 1/5 de espaciamiento medio entre los pozos (Houlding, 1994).

Fig.2 Definición del modelo de capa.

Finalmente el porcentaje dentro de cada bloque del modelo de capa se estima usando las técnicas de interpolación espacial disponibles. Por último se confeccionó un reporte de recurso y se construyeron tablas con las estimaciones realizadas.



Resultados

Se emplearon las potencialidades del SIG 3D Microlynx. El modelo geológico se generó a partir de la digitalización en la pantalla de la computadora de los límites o contornos de las capas de arena (método de los perfiles o perímetros). La interpretación se realizó según los perfiles empleados durante la prospección de los yacimientos. Los perfiles se ubican cada 200m y se orientan en la dirección norte-sur.

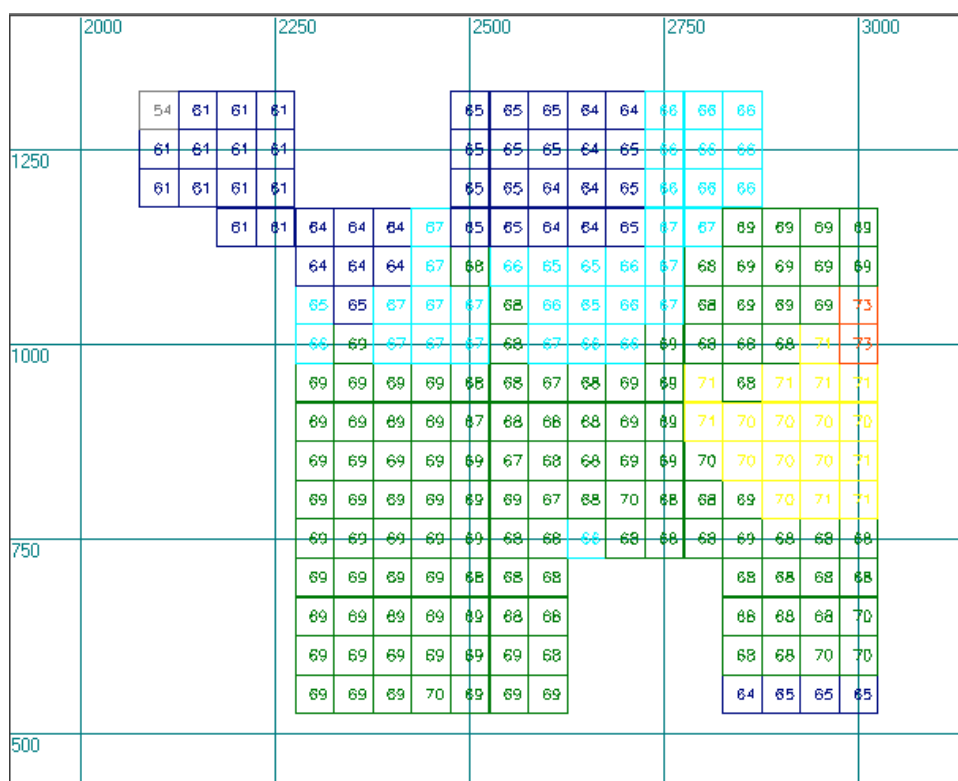
A partir de los contornos (perímetros) se derivaron los puntos que yacen en la tabla alta y en la tabla baja de los cuerpos de arena. Posteriormente los modelos digitales de ambas superficies fueron construidos empleando el algoritmo "red de triángulos irregulares" (TIN). Las superficies generadas se emplean posteriormente para restringir el modelo de recurso del yacimiento.

Para construir el modelo de recurso de los yacimientos se empleó, como se explicó anteriormente, el modelo de capa. Dicho modelo consiste en bloques que poseen dimensiones fijas en el plano horizontal y altura variable. La altura depende de la potencia de los cuerpos minerales y se determina a partir de los modelos de elevación digital del techo y piso obtenidos durante la construcción del modelo geológico del yacimiento. El tamaño del bloque escogido fue del 25% de la red de prospección.



Una vez construido el modelo de capa se estima dentro de cada bloque las distintas variables de interés: volumen, contenido de arena, grava y fino. Como no fue posible modelar la estructura espacial de la variabilidad de los distintos parámetros estudiados se empleó el método de inverso de la distancia al cuadrado para estimar dichas variables dentro de cada bloque. La **Fig.4** muestra los resultados de la estimación de los porcentajes de arena dentro de cada bloque del modelo de capa en el Sector Guasimal. La interpretación de estos mapas permite establecer las zonas más arenosa dentro de cada yacimiento.

Fig.4 Rendimiento de arena, Sector Guasimal





Conclusiones

Del presente trabajo se derivan las siguientes conclusiones:

1. Las técnicas automatizadas de modelación 3D de cuerpos minerales y estimación de recursos brindan muy buenos resultados en los depósitos de arena estudiados.
2. Los porcentajes de arena, grava y fino se ajustan a una distribución normal, mientras que la información del yacimiento Guasimal no se ajusta a esta ley de distribución.
3. El análisis estructural demostró la alta variabilidad de los contenidos de arena, grava en los yacimientos, esto se explica por la génesis aluvial de dichos depósitos.
4. Los recursos de los yacimientos 20 de mayo y Guasimal ascienden a:

Yacimiento	Recursos (m ³)	Recursos beneficiables (m ³)	Arena (%)	Grava (%)	Fino (%)
Guasimal	1898327.68	1285547.50	67.72	7.25	25.06
20 de mayo	534726.97	365485.88	68.35	10.20	21.27

Recomendaciones

1. Aplicar la metodología empleada a otros depósitos de arena de la provincia.
2. Realizar el recálculo para otros posibles usos de la materia prima y empleando distintas variantes de requerimientos industriales.

Bibliografía

- Estévez, C.E. 1999 3D Oroboddy Modelling and Resource Estimation of the Júcaro Deposit, Pinar del Río, Cuba.
- Golden Software, 1995 Surfer Manual.
- Hernández, J. L. 1987 Informe de búsqueda orientativa y detallada de arena para la construcción al oeste de Guane.
- Houlding, S. W., 1994, 3D Geoscience Modelling. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Hong Kong, 309 pp.
- Journel, A. & Y. Ch. Huijbregts (1978): Mining Geostatistic, Ed. Academic Press, 600pp.
- Lynx mining systems, 1998, MicroLYNX98. MicroLYNX Reference Manual. Surf.



EVIDENCIAS MINERALÓGICAS DE MAGMATISMO ALCALINO EN LOS NIVELES MANTÉLICOS DE LA FAJA OFIOLÍTICA MAYARÍ-BARACOA (CUBA ORIENTAL)

J.A. Proenza⁽¹⁾, J.C. Melgarejo⁽¹⁾, F. Gervilla⁽²⁾, A. Rodríguez-Vega⁽³⁾, R. Díaz-Martínez⁽³⁾

(1) *Departament de Cristal·lografia, Mineralogía i Dipòsits Minerals. Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Martí i Franquès, s/n, 08028, Barcelona. E-mail: joaquin@natura.geo.ub.es*

(2) *Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra y Departamento de Mineralogía y Petrología (CSIC-Universidad de Granada), Avda. Fuentenueva, s/n, 18002 Granada*

(3) *Departamento de Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Las Coloradas s/n, 83320, Moa, Huguín, Cuba*

RESUMEN

Los niveles mantélicos de la Faja Ofiolítica Mayarí-Baracoa (FOMB) encajan abundantes depósitos de cromita, los cuales han sido formados en un manto litosférico suboceánico en una zona de suprasubducción. Entre estos depósitos destaca el yacimiento Potosí, en el cual se pueden reconocer dos eventos de intrusiones magmáticas que cortan y/o “impregnan” los cuerpos de cromitas. El primer evento ha dado lugar a la cristalización de noritas olivínicas pegmatíticas, las cuales han reaccionado con las cromitas preexistentes. La zona de contacto entre las cromitas y las noritas olivínicas se caracteriza por presentar una atípica asociación mineral formada por cromita ($\#Cr = 0.51-0.64$, $\#Fe^{3+} = 0.14-0.29$), ilmenita (con alta proporción de componente geikielita, hasta 12.7 % en peso de MgO), rutilo, magnetita, sulfuros de Fe-Ni-Cu, ortopiroxeno ($En_{83-86}Wo_{1.4-4.9}Fs_{12-15}$; $TiO_2 = 0.42-0.58$ % en peso), plagioclasa alterada, olivino ($Fo = 86-87$), kaersutita ($\#Mg = 82-87$; $TiO_2 = 4.42-5.78$ % en peso; $Cr_2O_3 = 1.28-1.71$ % en peso) apatito ($Cl/F = 0.33-0.48$), baddeleyita ($HfO_2 = 1.5-2.0$ % en peso) y zirconolita ($CaZrTi_2O_7$).

La zirconolita es un óxido raro de Ca-Zr-Ti, que ha sido descrito mayoritariamente en relación con magmatismo alcalino. La zirconolita de Potosí representa la primera descripción de zirconolita en niveles mantélicos ofiolíticos. En el diagrama triangular Zr-Ti-Ca, la zirconolita presente en las cromitas de Potosí se localiza en la parte correspondiente a bajos contenidos de Ca y altos de Zr. La zirconolita de Potosí presenta los contenidos más altos de Y descritos en zirconolitas terrestres ($Y_2O_3 = 10.13-11.06$ % en peso). Los contenidos de REE_2O_3 varían entre 9.25 y 10.7 % en peso, y los de HfO_2 alcanzan valores de hasta de un 1 % en peso.

La “exótica” asociación mineralógica presente en las cromitas de Potosí es el resultado de la intrusión de un fundido silicatado alcalino (rico en volátiles, Ti, Zr, Y, REE) que reacciona con las cromitas provocando la disolución parcial y la recrystalización de la cromita. Los altos contenidos en volátiles quedan reflejados en la cristalización de apatito rico en F y Cl, y la alta actividad de Ti en el fundido queda registrada en los altos contenidos de TiO_2 presentes en la kaersutita (4.42-5.78 % en peso) y en los ortopiroxenos (0.42-0.58 % en peso). Los fundidos a partir del cual cristalizaron las noritas olivínicas y que reaccionaron con las cromitas de Potosí eran ricos en Na+K (ej: kaersutitas con valores de $Na_2O+K_2O > 3.5$ % en peso), favoreciendo el transporte de Zr. Trabajos experimentales sugieren que la solubilidad del Zr se incrementa hasta 4 % en peso en fundidos con alta relación álcali/alúmina.

La presencia de fundidos alcalinos en los niveles mantélicos de la FOMB puede estar relacionada con la evolución de una cuenca de trasera de arco. En un ambiente de este tipo la adición de sectores mantélicos “fértiles” a la cuña de suprasubducción, favorecida por *subduction roll-back*, provoca características geoquímicas muy heterogéneas (desde típicas signatures tholeiíticas hasta alcalinas).



GEOLOGIA DEL YACIMIENTO BASAL LA ROSA(MIOCENO) EN EL AREA DEL PROYECTO PILOTO DE INYECCIÓN DE AGUA. FACTIBILIDAD DE EXTENSION.

Tomas Labrador Olarte (1), Mario Castillo (2) René Faria (3), José Gregorio Morillo(4) y Joana García(5)

(1) Urb. La Sabana, Av. 3, Nº 86, Mérida, Edo. Mérida, Venezuela. A.P. 5101, E-mail: tomaslolarte@hotmail.com

(2) Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Av. Tulio Febres Cordero, Mérida, Edo. Mérida, Venezuela. A.P. 5101, E-mail: castilmh@ing.ula.ve

(3) Unidad de Explotación Lagomar. Distrito Maracaibo, Petróleos de Venezuela S.A. Centro petrolero, Torre Boscán, Piso 2, Maracaibo, Edo Zulia, Venezuela, E-mail: fariarb@pdvsa.com

(4) Unidad de Explotación Lagomar. Distrito Maracaibo, Petróleos de Venezuela S.A. Centro petrolero, Torre Boscán, Piso 2, Maracaibo, Edo Zulia, Venezuela, E-mail: morilloju@pdvsa.com

(5) Unidad de Explotación Lagomar. Distrito Maracaibo, Petróleos de Venezuela S.A. Centro petrolero, Torre Boscán, Piso 2, Maracaibo, Edo Zulia, Venezuela, E-mail: garciajk@pdvsa.com

RESUMEN

El presente trabajo se fundamentó, en la geología del yacimiento Basal La Rosa de la Formación La Rosa(Mioceno), en el área del proyecto piloto de inyección de agua y sus adyacencias, en el Bloque I de la Unidad de Explotación Lagomar, Lago de Maracaibo, Venezuela, con el fin de realizar una interpretación actualizada de los modelos estratigráfico, estructural, petrofísico y sedimentológico, al igual que desarrollar un plan de explotación y recuperación de hidrocarburos a corto y mediano plazo.

Como parte de este estudio, se procedió a la revisión y correlación de los marcadores estratigráficos, con los que posteriormente se elaboraron 54 secciones estratigráficas a lo largo del área en estudio. Se dividió de tope a base el Miembro Santa Bárbara de la Formación La Rosa en 4 subunidades: Santa Bárbara 1, Santa Bárbara 2, Santa Bárbara 3 y Santa Bárbara 4, las cuales corresponden a secuencias depositacionales completas.

Luego se procedió a cotejar esta información con los núcleos de los pozos VLA-0725 y VLA-1321, pertenecientes a las áreas VLA-12 y VLA-6/9/21 pertenecientes al Bloque I, estableciéndose para el miembro Santa Bárbara de la Formación La Rosa un espesor promedio de 43 pies de secuencias de areniscas, limolitas y lutitas, las cuales se depositaron discordantemente sobre la Formación Misoa del Eoceno, en un ambiente deltáico dominado por ríos.

A partir de las interpretaciones realizadas de los registros de cada pozo, se elaboraron los mapas de facies para cada subunidad, y se procedió a la interpretación estructural del área, generándose para ello 54 secciones transversales y 2 mapas estructurales (discordancia del Eoceno y tope del Miembro Santa Bárbara)



Se procedió a caracterizar petrofísicamente el yacimiento Basal La Rosa, con la cual se elaboraron los mapas de isopropiedades. Se realizó el cálculo del Petróleo Original En Sitio (POES), el Factor de Recuperación de petróleo y las Reservas Recuperables.

Con base en todo los análisis realizados se definieron las posibles oportunidades de desarrollo para este yacimiento, proponiéndose 4 nuevas localizaciones y 4 trabajos de recompletación, uno de estos último como inyector de agua. Se espera que todos estos pozos arrojen un total de 2100 barriles de petróleo al día como mínimo, a razón de 300 barriles de petróleo por pozo.



KIMBERLITAS KOLOUDU. EXPLORACIÓN MAGNÉTICA COMO HERRAMIENTA DE PROSPECCIÓN MINERAL A GRAN ESCALA.

Jorge Luis Chang B ⁽¹⁾, A. Barroso ⁽²⁾, F. Mondelo ⁽³⁾.

(1) Instituto de Geología y Paleontología. V. Blanca y L. del Ferrocarril, S/n. S.M.P, Ciudad Habana. chang@igp.minbas.cu. Cuba.

(2) Empresa Geominera Camagüey. Ciudad de Camagüey. Prov. Camagüey.

(3) Empresa Geominera Oriente. Ciudad de Santiago de Cuba, Prov. Santiago de Cuba.

RESUMEN.

La exploración magnética constituye la herramienta básica fundamental para la prospección diamantífera, dada las características que exhiben las estructuras hospederas de mayor ocurrencia en la naturaleza a nivel mundial: las Chimeneas kimberlíticas. La fuerte magnetización de la mayoría de las chimeneas kimberlíticas, determina el importante papel de la exploración magnética en su prospección y delimitación.

La presente contribución resume los resultados del levantamiento magnético, primera investigación de exploración geofísica llevada a cabo en la región minera de Kerouané, Alta Guinea, República de Guinea. Los trabajos con carácter exploratorio estuvieron encaminados a la identificación y cartografía de posibles estructuras tubulares o chimeneas de explosión del tipo kimberlítico, potencialmente portadoras del preciado mineral.

Como resultado del mismo fue distinguida una zona de fractura alargada, que podría constituir una importante evidencia del ambiente geológico propicio para la ocurrencia de chimeneas de explosión; y asociada a la cual fueron revelados un grupo de rasgos geométricos dados por disposiciones equiaxiales de las isolíneas de intensidad de campo magnético, las que podrían estar vinculados a estructuras kimberlíticas en profundidad.

ABSTRACT.

Magnetic exploration are the strong geophysical methods in the diamonds prospecting, due to the characteristics physical properties that exhibit the structures hosted of more occurrence in the nature at world level: the kimberlite diatreme. The strong magnetization of most of the kimberlite pipes, determines the important paper of the magnetic exploration in its prospecting and delimitation.

The present contribution summarizes the results of the magnetic survey, first investigation of geophysical exploration carried out in the Kerouané mining region, Highlands Guinea, Republic of Guinea. The works with exploratory character were guided to the identification and cartography of possible tubular structures or pipes of explosion of the kimberlite type, potentially sources of the valuable mineral.

As a result of this research it was distinguished an area of large extensional fracture that could constitute an important evidence of the favorable geologic environment for the occurrence of pipes; and associated to which, there is a group of geometric features given by equiaxial dispositions of the magnetic intensity contour line, those that could be linked to kimberlite structures in depth extension.

INTRODUCCIÓN.

Hoy en día las técnicas geofísicas son comúnmente empleadas en todo el mundo en la búsqueda de Kimberlitas, la mayor fuente conocida de diamantes. Sin embargo estas no han estado siempre exentas de limitaciones y dificultades. Generalmente las respuestas geofísicas sobre las chimeneas resultan complejas, denotando la heterogeneidad de las Kimberlitas y por ende la variabilidad de sus propiedades físicas (Macnae J, 1979), a lo cual se suma la variación en la naturaleza de las respuestas de una región a otra, o un área a otra.



Las chimeneas kimberlíticas para ser detectadas, sus propiedades físicas deben ser notoriamente diferentes de aquellas en las rocas circundantes. Desde el punto de vista magnético el contraste en la respuesta esta dado por la magnetita y la ilmenita dentro de los aparatos kimberlíticos. Según investigaciones (Fesq et al, 1975) las Kimberlitas en general pueden contener entre un 5 y un 10 por ciento de hierro en forma de óxidos; los que por norma en las partes de material no alterado se presentan como magnetita, cuya alta susceptibilidad provoca una respuesta magnética fuerte. Sin embargo la ilmenita esta presente a todo lo largo del aparato o chimenea, y en dependencia del contenido de titanio en la ilmenita puede o no ser magnético. Mientras mas elevado sean los contenidos de titanio, mas bajo será el punto de Curie, y por ende hace que la susceptibilidad magnética sea muy cercana a cero y evite significativas magnetizaciones remanentes en la ilmenita (Mc Elhinney, 1973).

Sin embargo lo que mas favorece la búsqueda es precisamente los rasgos de las anomalías, las que reflejan las formas geométricas mayoritariamente tubulares de las diatremas kimberlíticas.

El modelo clásico de una chimenea es generalmente de forma cónica, semejando una zanahoria, por lo que su proyección superficial adquiere generalmente formas circulares, lo cual significa se excluyan geometrías ovaladas y/o alargadas elipsoidales. Las Kimberlitas generalmente ocurren en racimos dispersos de forma aparentemente aleatoria sobre una gran área, por lo que resultaría muy difícil encontrar una única y aislada chimenea.

Las Kimberlitas son mayoritariamente de composición ultrabásica ígnea, pueden ocurrir en forma de Sills, Diques y Diatremas (chimeneas). Los sills y diques son raramente explotables (Gerryts, 1970) y son las chimeneas las que mayor numero de depósitos aportan, sin embargo

tan solo una de cada cien contiene un depósito económico (Brummer, 1978; Kamara, 1981). No obstante a ello, las investigaciones se justifican por los cuantiosos dividendos que estos pudiesen reportar. Estimaciones económicas al respecto (Hausel et al, 1979) plantean que el valor de este mineral es tal que un depósito económico podría contener significativamente menos que una parte por millón (1ppm) de diamante.

El presente trabajo tuvo lugar en "Koloudou", localidad situada dentro de la región minera de Kerouane, aproximadamente a unos 145 Km. al sureste del centro administrativo de la ciudad de Kankan, Alta Guinea, República de Guinea (Fig. 1).

Kolodou en la actualidad constituye una importante zona minera por su potencialidad diamantífera, existiendo hoy discretos niveles de extracción de diamantes producto de la explotación de acumulaciones aluviales algo dispersas, reveladas y seguidas a partir de pequeñas campañas de trabajos geoquímicos, sin que se emprendiera hasta el presente una



Fig. 1

Zona de los trabajos de Magnetometría.



campana de exploración geofísica a mediana o gran escala para determinar la posición de las fuentes de aporte.

La prospección de estructuras kimberlíticas a partir de un levantamiento magnético terrestre, constituyó el objetivo fundamental de las investigaciones cuyos resultados se muestran en este trabajo.

ASPECTOS METODODLOGICOS DE LOS TRABAJOS.

Los trabajos de levantamiento magnéticos fueron conducidos sobre una red de 126 Km. de líneas con dirección N-S con puntos de observación cada 25 m y separación entre líneas 100 m, mediante el empleo de tres equipos (*Sistemas portátiles ENVI-MAG manufactura Scintrex, Canadá*); uno empleado como estación de variación (B.S.) y las dos restantes móviles sobre la red de investigación.

La metodología empleada consistió en el levantamiento o barrido total del área por las líneas en ambos sentidos: N-S, y S-N de forma aleatoria, con un espaciamiento para las mediciones de 12.5 m (lecturas en puntos intermedios de la red de observación). Los sensores magnéticos fueron acarreados en la espalda de los operadores (altura aproximada respecto a la superficie del terreno: 1.5 m) en modo semiautomático de registro, con tiempo de exposición para las observaciones de 0.5 seg. y una autosintonía de la unidad de registro sobre un campo magnético total de 31 500 nT propio de la zona de los trabajos.

De igual forma la estación de monitoreo de las variaciones diurnas (B.S.) fue ajustada a un mismo nivel de campo magnético total (31 500 nT), empleándose en modo automático de registro para un tiempo de exposición de 2.0 seg.

RESULTADOS DEL LEVANTAMIENTO MAGNETICO. DISCUSIÓN

El levantamiento magnético en apoyo a la exploración de diamantes tuvo como objetivo básico la cartografía tectónico estructural del área y la detección de patrones anómalos que pudiesen estar vinculados con estructuras tubulares o chimeneas de explosión del tipo kimberlítico; para lo cual se obtuvo como material primario resultante el mapa de intensidad de campo magnético con cubrimiento total del área de exploración a escala 1:10 000.

Una aproximación al ambiente tectónico del área fue extraída a partir del mapa magnético, donde el cuadro regional aparece distinguido por una intensa zona de fracturación; reflejada aquí como una franja alargada de mínimos magnéticos intensos con dirección SE-NW, desarrollada en la mitad norte del área (Fig. No.2. Mapa de intensidad de campo magnético total) y que se extiende aproximadamente desde la posición 1300 N de la línea L-1000 E hasta la posición 2000 N de la línea L-1000 W. Esta franja tectónica denotada en lo sucesivo como *Zona de ruptura*, podría estar indicando una zona de fracturación o marcar un límite de conjunción tectónica dada la evidencia de afloramientos de Gabros(?) en forma de paquetes, posiblemente abortados a la superficie como consecuencia misma de los esfuerzos tectónicos de compresión.

Tal como habíamos anticipado, al emplazamiento de diatremas kimberlíticas les son favorables la existencia de zonas de debilitamiento tectónico y fracturación; y precisamente esta franja o zona de ruptura podría significar la existencia de un ambiente tectónico favorable para la



ocurrencia de Kimberlitas toda vez que durante su formación y emplazamiento en muchos casos las intrusiones magmáticas canalizan a través de las intersecciones de fallas.

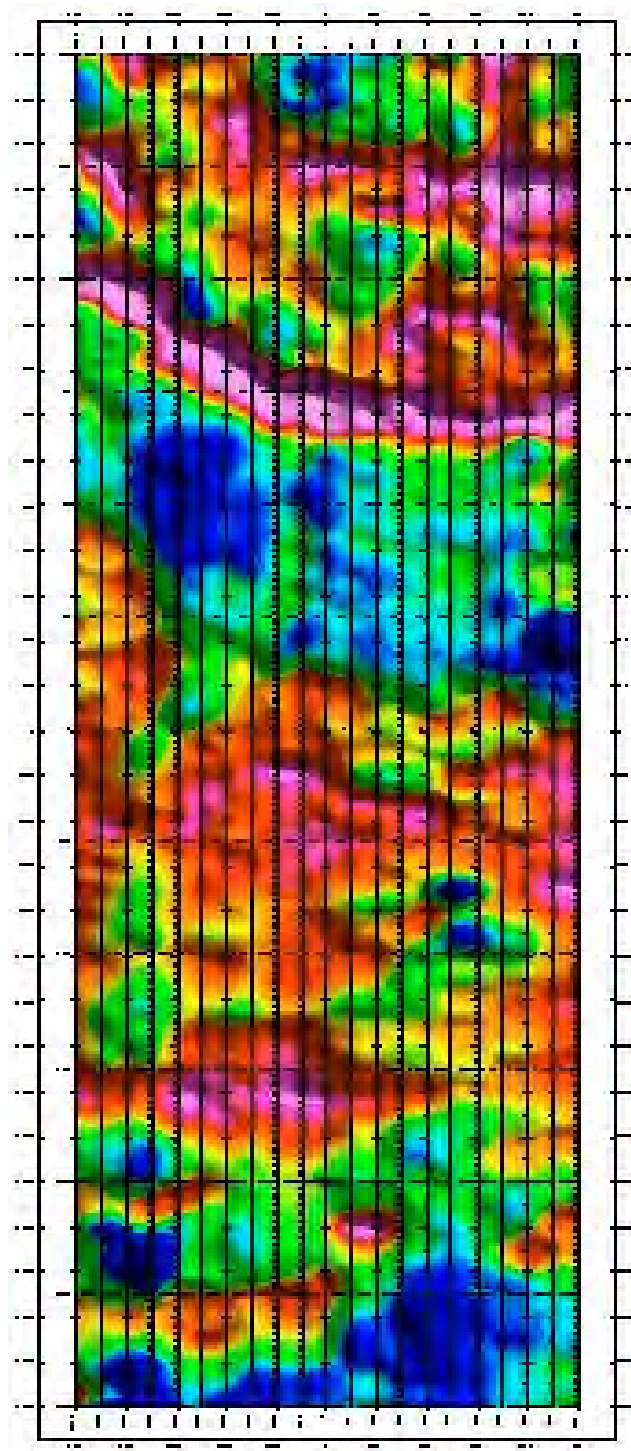


Fig. No. 2 Mapa de intensidad del campo magnético total. Kolodou.



De la información magnética es posible observar que aparentemente muy vinculado a esta zona de ruptura, aparecen en el campo magnético local una serie de rasgos tectónico-estructurales reflejados como disposiciones geométricas circulares de las isolíneas de intensidad de campo magnético que podrían estar asociados a posibles estructuras anulares con extensión en profundidad. En la gran mayoría de estas aparecen como reflejos superficiales de estructuras circulares u ovaladas dadas por máximos anómalos relativos de intensidad de campo magnético con centros de valores disminuidos de ΔT y hasta valores mínimos (de signo negativo) en algunos de estas.

Sin embargo algunas de estas supuestas estructuras determinadas de manera directa a partir de anomalías del campo magnético exhiben dimensiones en el plano cercanas al kilómetro o mayores, lo cual parece resultar muy superiores a las dimensiones típicas o características para estas estructuras; de manera que al no disponerse de informaciones complementarias: *fotos aéreas, imágenes satelitales, mapas geológico-estructurales, etc.*, y una limitado grado de informatividad de los resultados hasta aquí disponibles, se procedió a ensayar otros procesamientos para los datos magnéticos obtenidos.

Para ello se practicaron primeramente cálculos del campo magnético local a diferentes alturas, a saber 15 m y 30 m, con el propósito de eliminar la influencia de efectos superficiales, resaltando además las respuestas de estructuras con la consiguiente expresión en profundidad. Como resultado del recalcu a alturas superiores (*upward continuation*) para 15m y 30m fue posible observar la sostenibilidad de un gran numero de estructuras anulares, no obstante para el proceso de selección no era conveniente limitarse a pocos elementos, por lo que otros resultados debían ser conseguidos.

Así fueron procesados de igual forma tanto los datos originales como las transformaciones hasta aquí obtenidas mediante el software Gridddepth, procesamiento en el cual se logra la estimación puntual de profundidades a partir de la deconvolución 3D de Euler para la matriz de datos; obteniéndose a partir de ello, cálculos de profundidades de las fuentes magnéticas para diferentes rangos o niveles. Dicho tratamiento se asume para diferentes modelos geológicos, lo cual permite simular e identificar rasgos de estructuras a diferentes profundidades, siendo valido en este caso la estimación de profundidades para modelos de geometría cilíndrica o similar: *pipe, sphere*.

Esta segunda aproximación matemática permitió destacar a partir del empleo de los dos modelos geológicos antes mencionados, un numero mayor de patrones geométricos circulares y tubulares (teniendo en cuenta su expresión en profundidad), cuyas dimensiones más pequeñas resultaban mas cercanas a las dimensiones planimétricas reales de las Kimberlitas; y que por tanto las situara en una posición más favorable para su posible vinculación con la geometría exhibida por las chimeneas de explosión kimberlíticas.

De igual forma un numero determinado de rasgos magnéticos anómalos, reflejados como disposiciones equiaxiales de las isolíneas de intensidad de campo magnético y que podrían ser correlacionados con posibles estructuras anulares con extensión en profundidad fueron revelados por el levantamiento magnético. Dada la naturaleza y características de los objetos de búsqueda fueron consideradas tanto intensas anomalías equiaxiales de valores elevados como también fuertes epicentros de signos negativos.

De esta manera la totalidad de las supuestas estructuras destacadas a partir de la integración de todos los criterios geomagnéticos, así como argumentos auxiliares o de apoyo tales como: la coincidencia con elementos de la red hidrográfica, fueron contempladas para su análisis y



selección; de ellas se escogieron aquellas que mayor numero de criterios o correlaciones evidenciaran, denominándose con la nomenclatura K1, k2, k3, etc, conformándose un: "Catalogo de anomalías anulares con posible asociación a estructuras kimberlíticas". El resultado final de esta interpretación se muestra en la Fig. No 3.

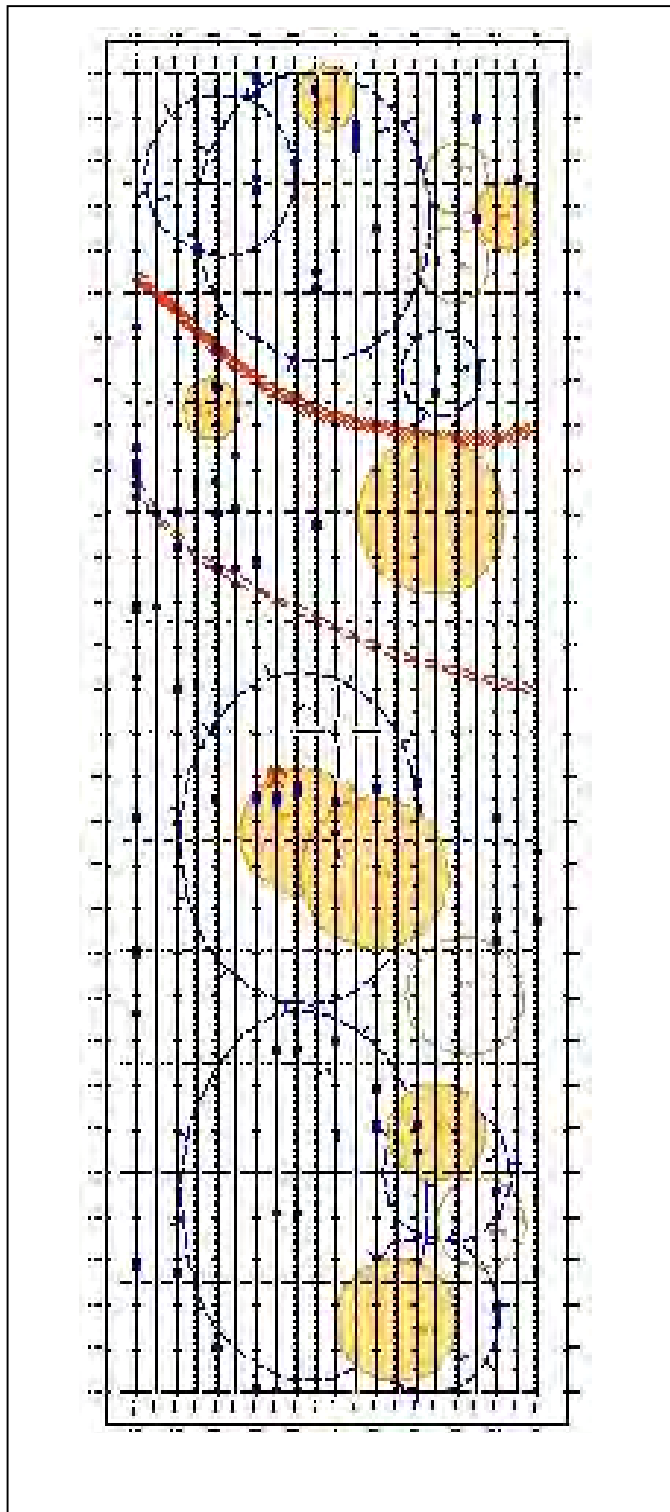


Fig. No. 3 Esquema reducido del mapa de interpretación, Sector Kolodou.



CONCLUSIONES.

La existencia misma de acumulaciones aluviales resultaba el indicador mas alentador para la búsqueda de estructuras kimberlíticas, la extracción de diamantes en una extensa zona permitía inferir la existencia cercana de fuentes de aporte en el área. De aquí que la dispersión de los pequeños depósitos aluviales y el conocimiento del hábito de ocurrencia de las chimeneas kimberlíticas en forma de enjambres permitió suponer que el objeto de búsqueda deberían resultar un conjunto de patrones geométricos superficiales con determinada expresión en profundidad.

A su vez la composición petrográfica de cualquier kimberlita es muy heterogenea; y dichas variaciones están en dependencia de los procesos de emplazamiento, la cantidad y naturaleza de las rocas de caja involucrada dentro del aparato volcánico, y el numero y grado de los subsecuentes procesos de erosión e intemperismo. Es por ello que todos los rasgos magnéticos revelados y destacados por los diferentes procesamientos no muestran un patrón común de comportamiento.

Desde el punto de vista geofísico, los patrones geométricos revelados vienen reflejados por un grupo de anomalías magnéticas equiaxiales de diámetro variable, que apuntan hacia la posible existencia de una agrupación de estructuras columnales con desarrollo a ambos lados de la Zona de ruptura o fracturación; franja tectónica esta, que constituye sin dudas un elemento importante para considerar un ambiente geológico favorable en la ocurrencia de chimeneas de explosión.

A partir de los resultados obtenidos, no es posible establecer un patrón único de comportamiento o regularidad en la respuesta magnética, lo cual es característico para las estructuras kimberlíticas. En ocasiones se presentan cadenas de máximos magnéticos formando una estructura anular con su centro que a su vez esta formado por débiles anomalías magnéticas, en su mayoría negativas. Otras estructuras tubulares parecen evidenciarse por un campo mucho mas intenso o elevado de manera que presentan anomalías de signo positivo en su centro aun cuando no están distribuidas de manera regular y homogénea.

Partiendo del hecho de que resulta en extremo complejo el establecimiento de patrones de comportamiento o la identificación de rasgos magnéticos que permitan establecer una regularidad en la distribución y forma de las supuestas estructuras; el resultado final del levantamiento magnético debe interpretarse como la propuesta de aquellas geometrías anulares, más favorables para la posterior definición de laboreos mineros de prospección u otras tareas exploratorias de mayor detalle. Al termino de esta investigación un pequeño numero de conclusiones pueden ser numeradas: El levantamiento magnético tiene su mayor aporte en la discriminación y selección de áreas; este facilita la detección y selección de posibles estructuras columnales del tipo chimenea de explosión kimberlítica; ayuda a la mejor orientación de la explotación aluvial, al definir las posible áreas de aportes, toda vez que en la actualidad algunas de las supuestas chimeneas podría encontrarse erosionadas y tapadas por sedimentos jóvenes.

Generalmente los aparatos kimberlíticos presentan altas magnetizaciones, pero se conocen variedades poco magnéticas e incluso no magnéticas en algunas regiones de Rusia por ejemplo (Logachev, 1973). Por otra parte no se ha establecido aún una relación directa entre la magnetización de las kimberlitas y su contenido o riqueza en diamantes, por lo que la localización de chimeneas de baja magnetización tiene una importancia no menor que las que



producen grandes anomalías magnéticas.

La fuerte magnetización de la mayoría de las chimeneas kimberlíticas, determina el importante papel de la exploración magnética en su prospección y delimitación. En gran parte del mundo, en áreas donde se supone la existencia de chimeneas kimberlíticas, se emplea el levantamiento magnético a escalas desde 1:10 000 hasta 1:1000 para precisar la situación de las rocas

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Brummer J. J; 1978. **"Diamonds in Canada"**. CIM Bulletin, pp 64 – 79.

Chang J.L., y otros; 2002. **"Reporte Técnico. Levantamiento Magnético para la exploración de Mira (Koloudu)"**. Mining Guinée Sarl. Mining Italiana S.p.A, Roma. 16 pág.

Fesq H. W. y otros; 1975. **"Aspects of the geochemistry of kimberlites from the Premier Mine, and other selected South Africa occurrences"**. Physics & Chemistry of the Earth. Vol. 9. pp 687 – 707.

Gerryts E.; 1970. **"Diamond prospecting by geophysical methods. A review of current practice"**. Mining and Groundwater Geophysics. Geological Survey Canada. Econ. Geol.Rpt 26. pp 439 – 446.

Hausel W. D. y otros; 1979. **"Preliminary report on exploration for diamandiferos kimberlites, Colorado Wyoming"**. Colorado Mining Association Yearbook. Pp 109 – 122.

Kamara A. Y. S; 1981. **"Review: geophysical methods for kimberlite prospecting"**. Bulleting 12. Australian Association Exploration Geophysics. Pp43 – 51.

Logachev Y. y Zajarov; 1973. **"Exploración Magnética"**. Editorial Nedra. Moscú.

Macnae J. C; 1979. **"Kimberlite and Exploration Geophysics"** Geophysics No 44. pp 1395 – 1416.

McElhinney M. W; 1973. **"Paleomagnetism and plate tectonics"**. Cambridge University Press. Cambridge.



EJEMPLOS DE UTILIZACION DEL MAPA AEROGAMMA-ESPECTROMETRICO 1:100000 DE CUBA COMO PARTE DE LA SOLUCION DE DISTINTOS PROBLEMAS GEOLOGICOS.

R. Sánchez Cruz, B. Rodríguez, N. Petrus, L. Lufriú, J.L. Chang, M. Pardo, I. Padilla, R. Prieto, A. Oviedo, F. Prieto

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. E Mail: rscruz@igp.minbas.cu

RESUMEN

El Instituto de Geología y Paleontología ha completado diferentes mapas geofísicos temáticos en formato digital, lo que permite un manejo más eficaz de las distintas magnitudes que aparecen en sus bases de datos (BD) ya estandarizadas y corregidas. Para la resolución de las tareas cartográficas de diferentes estructuras geológicas se utiliza la BD (AGE) de Cuba 1:50000, la que incluye los canales de uranio, torio, potasio y otras transformaciones útiles. El conjunto de mapas obtenidos, apoya labores de selección de los diferentes escenarios presentes a lo largo de un país con una geología compleja, bajo una potente y variable corteza de intemperismo, e influenciada por disímiles factores ajenos, no siempre bien controlados, e ilustra la resolución de tareas no solo directamente relacionadas a la geología sino además a otras tareas cartográficas vinculadas a la geomorfología, la tectónica, ambientalistas, e hidrogeológicas.

Se muestran las características espectrométricas de: los diapiros salinos del norte cubano, las rocas ofiolíticas en Pinares de Mayarí, el silica cap Jacinto, las cúpulas de El Escambray y de Trinidad, la falla Pinar y la falla el Cobre, las terrazas de Maisí, las secuencias volcánicas de Cajobabo-Los Cerezos y terrígenas de Cabacú, los cauces de los afluentes del río Cauto, las zonas húmedas de la llanura sur habanera, los feraces suelos de Gran Tierra, los que posibilitan su segregación del fondo de valores que las rodea.

Por su carácter ilustrativo los ejemplos que se presentan sirven también para fines docentes en el entrenamiento de especialistas de las geociencias.

ABSTRACT

The Institute of Geology and Paleontology has completed different thematic geophysical maps in digital format, what allows a more effective handling of the different magnitudes that appears in its databases (DB) already standardized and corrected. The DB 1:50000 of Airborne Gammaspectrometric of Cuba, the one that includes the channels of uranium, thorio, potassium and other useful transformations is used here for the resolution of cartographic tasks of different geologic structures. The obtained set of maps, supports the selection of different present scenarios along a country with a complex geology, under a potent and variable weathering zone, and not always influenced by dissimilar controlled alien factors and it illustrates the non alone resolution of tasks directly related to the geology but also to other cartographic tasks linked to the geomorphology, the tectonic one, environmentalists, and hydrogeological.

The spectrometrics characteristic shown in the paper includes: the saline domes of the northern part of Cuban, the ophiolites rocks massifs in Pinares de Mayarí, the silica cap Jacinto, the domes of Escambray and Trinidad, Pinar del Río and El Cobre faults, the terraces of Maisí, the volcanic sequences over Cajobabo-Los Cerezos and Cabacú terrigenous sequences, the beds of the tributaries of the Cauto river, the humid areas of the Havanan south plain, the rich soils of Gran Tierra, all of them that facilitate their segregation from its surrounding spectrometric background.

For their illustrative character the examples that are presented are also good for educational matters in the training of specialists in geo-scientific activities.



Introducción

Como en otras partes del mundo, el conjunto de mapas aerogammaespectrométricos en escala 1:500000 de la República de Cuba vio la luz a posteriori de la realización de la mayoría de los trabajos de cartografía geológica a esa escala de diferentes zonas del país, por ello sus bondades cartográficas han sido casi siempre relegadas ante los usos puramente de apoyo a la prospección de distintas materias primas. El completamiento de una base de datos (BD) aerogammaespectrométrica a escala 1:100000, sin embargo se ha adelantado a la obtención de los primeros mapas geológicos a igual escala, contruidos principalmente a partir de los levantamientos geológicos 1:50000 y 1:100000, por lo cuál los resultados espectrométricos están en inmejorables condiciones para participar en los trabajos de obtención del Mapa Geológico 1:100000 del país. El soporte digital de la información, su necesario procesamiento estadístico y la posesión de herramientas de software y hardware avanzados para la realización de la tarea ponen esta herramienta en ventajosa posición para ser utilizada como uno de los pilares de dicho Mapa.

Materiales y Métodos

Los datos del LAGE presentados son el resultado del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de Cuba, en las escalas 1:50000; 1:25000 comenzados en 1979 en las zonas llanas y que se extendieron hasta 1990 con los vuelos sobre las zonas montañosas. Los levantamientos de las zonas llanas (portador avión) y de las zonas montañosa (portador helicóptero), fueron posteriormente unificados en base a los resultados de la Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional diseñada especialmente para este propósito.

El volumen del LAGE fue de 105069 Km² que representa según Padilla I. 1997 (10) el 98 % del territorio nacional de Cuba y exceptúa únicamente los terrenos de Guanahacabibes y la península de Zapata. En realidad el LAGE también exceptúa la Base Naval de Guantánamo y toda la provincia de Ciudad de La Habana y gran parte de la provincia de La Habana sobre cuyos territorios el Ministerio de las Fuerzas Armadas de Cuba (F.A.R.) denegó el permiso de vuelo por distintos intereses militares. Considerar el 98% del área del país cubierta, por lo tanto, es inadecuado.

Los datos de los vuelos eran procesados en la Expedición Nacional de Trabajos Geofísicos (E.N.T.G.), donde recibían el visto bueno de su calidad. En los inicios, una vez identificados los negativos y realizados los fotoamarres correspondientes, el procesamiento de la información se realizaba en el centro de cálculo IBTSSIIGGIMS de CebZapgeologia en Novosibirsk, Rusia, quién respondía por los mapas e informes correspondientes; pero en lo que a la postre resultó una mala decisión, por incompleta, se decidió traer el sistema de procesamiento a Cuba. Como resultado parte de los datos estaban en Cuba y parte quedaron en Rusia. Dado el prolongado tiempo de ejecución del Levantamiento (1979-1993, que incluye el tiempo de la confección de los últimos informes) el state of art lógicamente cambió, lo que puede observarse de la Tabla No.1 adjunta; las máquinas computadoras utilizadas del tipo Mainframe también cambiaron desde las EC.- 1022 hasta las EC.- 1062. (al momento de la utilización de estas últimas, ya el procesamiento de la información se realizaba completamente en Cuba).

Toda la información aerogeofísica fue procesada con el sistema de programas S.O.A.G.D.E.S. Lamentablemente, la realización compartida de los trabajos de procesamiento de la información entre Novosibirsk y la Habana, trajo aparejado que la parte inicial de los datos no estuviesen en Cuba en el momento en que condiciones políticas ajenas al problema dieron al



traste con los contratos firmados. El fin del contrato bajo el que se realizaban los trabajos coincidió además con la brusca disminución del intercambio comercial entre Cuba y Rusia de inicio de los '90 y con la desarticulación de las máquinas tipo mainframe y su paso a las PC, lo que provocó que las máquinas que soportaban el sistema SOAGDES fueran desmanteladas. La unificación final de la información fue realizada en Rusia y traída a La Habana pero no hubo retroalimentación con la parte rusa para corregir algunos problemas detectados en las matrices de datos y aclarar algunas dudas. La información pudo salvarse solamente en formato XYZ de SURFER 3.0 lo que castró sobremanera las posibilidades de reprocesamiento ulterior. Los principales problemas detectados en los LAGE son comunes a todos ellos y se relacionan fundamentalmente con weathering, microlevelling, empalme, nivelación y fondo. Metodológicamente sin embargo los trabajos del LAGE de Cuba están excelentemente realizados y sus resultados reflejan fielmente las características geológicas de los diferentes escenarios sobrevolados, algo que no puede decirse totalmente de la Verificación Terrestre de las anomalías, con resultados más limitados.

Tabla No. I. Características Técnicas del Levantamiento AeroGammaEspectrométrico.

No.	PRINCIPALES CARACTERISTICAS	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Llanas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Montañosas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Red de Apoyo
1	Areas cubiertas en Km ² .	83285 (75808 + 7447)	21784 (19562 + 2222)	7290.46 Km.
2	Cantidad de Sectores	19	4	1
3	Medio Portador	AN - 2	MI - 17	AN - 2
4	Velocidad de Crucero en Km/h.	180	140 - 160	180
5	Fecha de Realización	1979 - 1986	1987 - 1990	1986
6	Aerogammaespectrómetro	AGS - 71s	SKAT - 77	AGS - 71s
7	Cantidad de Canales	8	8	8
8	Volumen Cristal de Ina(Tl) en L.	12.5	25.2	12.5
9	Intervalo de Muestreo en s.	1.0	0.28; 0.33; 0.5; 1.0	1.0
10	Resolución Energética según Cs-137 en %	12.3	12.3	12.3
11	Altura de Vuelo en m.	60 ± 5	75 ± 25	60 ± 5
12	Radioaltímetro	RB - 2 y RV - UM	APV	RB - 2
13	Cámara de Amarre Fotográfico	AFAG - 17	AFA- 36; AFAG - 17	AFAG - 17
14	Descifrador de Fotonegativos	PDN - 1	PDN - 1	PDN - 1
15	Error Máximo del Amarre Planimétrico en m.	± 50	± 50	± 50
16	Distancia Promedio entre Puntos de Observación (Km.)	4 - 5	2 - 3	4 - 5
17	Porcentaje de Identificación de Fotoamarres en %	94 - 96	94 - 96	99



Se fundamentó la necesidad del reordenamiento, alistamiento y adecuación de la información de las BD existentes para corregir los errores detectados en las matrices recibidas del ejecutor. La naturaleza de esos errores también resultó ser de disímil origen y fue una tarea muy importante identificarlos y corregirlos. (18), para ello se subdividió el territorio nacional en tres partes: occidente, centro y oriente. Los datos restablecidos se encuentran en los fondos del I.G.P. y la O.N.R.M. (12, 15, 16), Fig. 1, 2 y 3. Este trabajo es parte de la estandarización y unificación final de la BD AGE (19).



Figura 1. Mapa de Uranio (Ra) (ppm)

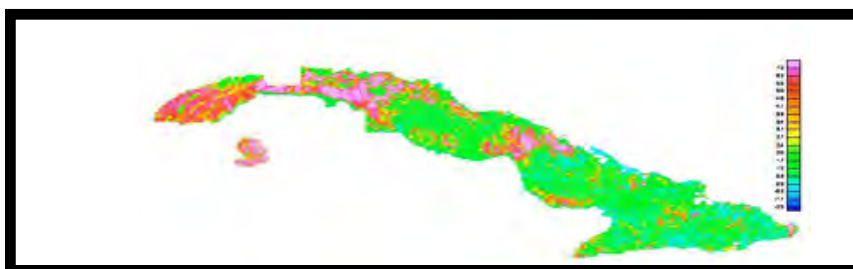


Figura 2. Mapa de Thorio (ppm)

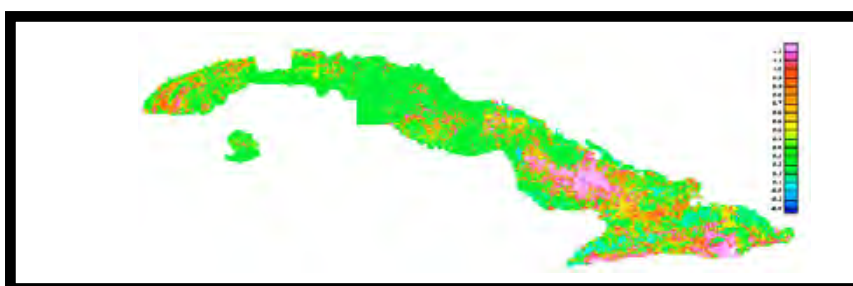


Figura 3. Mapa de Potasio (%)

Las principales correcciones consideradas en los datos de vuelos incluyeron los controles en la estabilidad del equipamiento en el aeropuerto base, las calibraciones en el Banco de Güines, y otros. Las principales correcciones realizadas a los datos AGE durante el procesamiento incluyen: Filtrado N=7 con el fin de suavizar las curvas correspondientes a los canales de U_{Ra} , Th y K; corrección de influencia entre canales; corrección de fondo residual y reducción a la superficie terrestre, compensación a nivel único (14); evaluación de la estadística de fondo y recálculo de los parámetros de interpretación. Otros de los problemas detectados en los LAGE son comunes a todos ellos y se relacionan con weathering, microlevelling, empalme, nivelación



y fondo. Por comodidad en este trabajo, se utilizará como la calidad correspondiente al error medio cuadrático en la determinación de las concentraciones: Uranio = ± 0.4 ppm.; Thorio = ± 1.0 ppm.; Potasio = ± 0.15 %.

Resultados y Discusión

Producto de la relación existente entre los contenidos de K en las rocas y las alteraciones hidrotermales acompañantes de los procesos mineralizantes, los mapas de contenidos de K son utilizados generalmente para la cartografía de esos procesos y de la mineralización. Los ejemplos a continuación demuestran que en otras ocasiones además de los contenidos de K, otros radioelementos pueden ser utilizados para la cartografía de distintas formaciones geológicas, procesos, eventos u otros fenómenos: Las conocidas cúpulas del Escambray, tanto la de Trinidad como la de Santi Spíritus, continentes de las metavulcanitas de los Terrenos del Noroeste pueden ser contorneadas por valores anómalos de los contenidos de K cercanos al 1.5% - 2%. En la Fig. 4, se distingue claramente en la imagen del elemento un cinturón de color rojo, hasta magenta, que contornea de forma circular sus afloramientos. En detalle el cinturón de las concentraciones de potasio, es más regular y está mejor definido alrededor de la cúpula de Trinidad en el oriente de ambas (13).

La gammaespectrometría también caracteriza los escenarios ofiolíticos; un ejemplo puede ser encontrado en la región Nororiental de Cuba, en los macizos de ofiolitas mesozoicas de Pinares de Mayarí y Nicaro, los que se contornean por concentraciones anormalmente bajas de potasio, como corresponde al contenido de dicho elemento en las rocas ultrabásicas que los conforman. Las menores concentraciones de K, están mejor distribuidas en el lóbulo occidental del macizo sobre la conocida meseta de Pinares de Mayarí, la morfología del terreno, plano sobre la meseta, apoya este resultado. En el lóbulo oriental, macizo de Nicaro, los mínimos de K no son tan homogéneos, igualmente la morfología puede ser la causa: los terrenos sobre el macizo Nicaro están conformados por elevaciones montañosas que conforman un relieve más desmembrado. En el mapa de K ambos macizos están separados por una cadena de pequeños máximos relativos, de hasta 1.5%. con dirección NNW. Fig. 5.

En el Norte de Cuba central, dentro de rocas carbonatadas que representan las secuencias del paleomargen continental, se encuentran dos conocidos diapiros salinos: Cunagua y Punta Alegre; ambos debidos a las secuencias evaporíticas que los forman pueden ser bastante bien cartografiados con el canal de K. Sobre los estables y mínimos valores de las rocas carbonatadas que los contienen, las secuencias evaporíticas, ricas en sales de sodio y potasio se distinguen por las altas concentraciones de este radioelemento. Cunagua, por su posición espacial está representado solamente por su parte occidental, la otra se encuentra bajo las aguas del mar, Fig. 6. Si observamos detenidamente la imagen, vemos que las concentraciones de potasio desde el sur se elevan paulatinamente aisladas por una franja verde de concentraciones intermedias de las muy bajas concentraciones de K sobre las secuencias carbonatadas sureñas. Esta franja indica la cercanía en la profundidad del material de las secuencias evaporíticas, por lo que ayuda a comprender la real extensión de dicho diapiro. Algo muy parecido ocurre para el diapiro de Punta Alegre, pero este resulta más isométrico en su emplazamiento dentro de las secuencias carbonatadas, (no aparecen las zonas de concentraciones intermedias que puede observarse en el occidente del diapiro de Cunagua); las concentraciones de K alcanzan sus máximos valores de forma más regular a partir de los bordes de mínimas concentraciones, Fig. 7.



En Cuba, especialmente en los últimos tiempos se han realizado múltiples trabajos para la utilización de los datos gammaespectrométricos en la cartografía de estructuras favorables a la aparición de hidrocarburos. Los primeros intentos al respecto aparecen en Lufriú et al. , 1989, (6), donde se menciona la correspondencia entre la aparición de máximos locales de potasio con anomalías de metano; esta relación aparece utilizada por Alfonso Roche J.R. et al. , 1993 (Ref. 1), a posteriori, donde se estableció la posibilidad de cartografiar a distancia las áreas potencialmente productoras de hidrocarburos, reveladas por mínimos aerogammaespectrométricos de la relación K/Th. Sin embargo quedó sin resolver el esclarecimiento de la naturaleza geoquímico-mineralógica de los mínimos del índice K/Th ligados a las áreas ya en producción o potenciales. En los mapas del índice P en las áreas de Cantel-Preciosa y Motembo, donde los hidrocarburos aparecen asociados a las serpentinitas, se distinguen algunas zonas de mínimos del índice P (K/Th) rodeados por valores máximos.

No es hasta 1996 que Pardo M. et al. (9), realiza un primer intento por aclarar el problema tomando como patrón un área del yacimiento Pina-Ciego de Ávila donde aparecen los hidrocarburos en acumulaciones secundarias someras dentro de rocas volcánicas. Los datos aerogammaespectrométricos usados permitieron establecer la presencia de cuatro mínimos del índice K/Th en las inmediaciones del depósito conocido. En el área se observan dos áreas con diferentes valores de fondo del índice P (1.0 y 0.5), separadas por un gradiente latitudinal que coincide con el cambio litológico entre las arcillas de la Fm. Paso Real, al Norte con las calizas de la Fm. Güines, al Sur (9). Los autores concluyen que el depósito Pina está representado por “un débil mínimo local cerrado sin máximos en su periferia, cuyo contorno coincide casi exactamente con los límites del área productora de petróleo biodegradado”, Fig. 8. Pardo et al. 1996 ha continuado desde esa fecha investigaciones de este cariz, fundamentalmente en la región central de Cuba (Cantel - Sur de Camagüey), pero combinada con otros complejos de métodos y técnicas no convencionales y refiere con la utilización del índice P (K/Th), la delimitación de áreas perspectivas para la localización de hidrocarburos someros en el sur de Camagüey logrando reducir con esta técnica, hasta el 20% las áreas favorables a su aparición.

Pueden ser citados varios casos al respecto sobre la utilización de datos AGE en la cartografía de rasgos geomorfológicos los que sin duda influyen en la migración de los radioelementos estudiados: el valle del Caujerí y las terrazas del extremo oriental de Cuba. El valle del Caujerí se cartografía en el mapa gammaespectrométrico por concentraciones de Potasio de hasta 3%, las que según Chang J.L. 2002, (3) “podrían estar influenciadas por el aporte y acumulación de elementos indicadores o afines de Potasio o el mismo Potasio, propiciado por un relieve negativo (depresión)”, sin embargo podría considerarse adicionalmente, y no por ello puede ser el último factor a tener en cuenta, el antropogénico, producto de los fertilizantes asiduamente utilizados en los sembradíos de dicho valle, ya que los valores de la intensidad gamma del canal integral, no son sobremanera anómalos, como no lo son los obtenidos en el gamma pedestre integral de la región.

El mejor ejemplo entre la migración de los radioelementos y ciertos rasgos geomorfológicos es ofrecido por Chang J.L. 2002 (3) con las terrazas de Maisí, donde se explica la existencia de anomalías de los elementos de Th y U de hasta $25 \times 10^{-4} \%$ y $44 \times 10^{-4} \%$ respectivamente, vinculándolos con la existencia de las formaciones Río Maya y Jaimanitas, la primera mucho más recristalizada y dura que las últimas, lo que favorece en conjunto con los movimientos neotectónicos la formación de terrazas que facilitan los procesos que conllevan a la irregular distribución de los elementos radioactivos siguiendo los patrones del relieve. El elemento uranio aparece entonces predominantemente en la primera terraza, seguido por una segunda terraza manifiestamente estéril en los radioelementos buscados, sin especialización radio geoquímica. El tercer nivel de terrazas presenta una especialización eminentemente thorífera y en la zona



superior, caracterizada por llanuras abrasivo-acumulativas, se observa en equilibrio natural todos los radioelementos, Fig. 9, (3): la diferente movilidad de cada uno de ellos determina su posición en tal o cuál nivel de terraza. El tipo de litología presente, favorable a la formación de cavidades por donde puedan circular las aguas subterráneas es un factor predominante en este tipo de distribución escalonada de los radioelementos.

La utilidad del LAGE en la cartografía de suelos puede ejemplificarse en la región de Gran Tierra, donde existen dos opiniones: Chang J.L. 2002, (3, 5) vincula las anomalías de K al desarrollo de la Fm. Chafarina de edad jurásica, Fig. 10. La Fm. Chafarina está constituida junto con las rocas de la Fm. Sierra Verde por bloques arrastrados hacia su posición actual, (8). Sánchez, R. y Rosales C.M. 1981 (8) vinculan los valores anómalos del canal pedestre integral (Fig. 10^a) con los suelos en la región de Gran Tierra y los procesos que los originaron. Tres muestras de estos suelos analizadas detectaron contenidos de Th por encima del Clark, por lo que los autores trataron de explicar la feracidad de los suelos de la región de Gran Tierra con las pequeñas concentraciones anómalas de ese elemento. Experimentos efectuados por ellos demostraron un enriquecimiento muy superficial. La relación con los afloramientos de la Fm. Chafarina con la extensión de los valores anómalos de K y aún su existencia en estratos subyacentes en el área Chang J.L. 2002 (3) no está todavía comprobada por los datos existentes. Sánchez R. y Apud A. 1981, en sus trabajos geoelectrónicos de Sondeo Eléctrico Dipolar en la región, diseñados para determinar la existencia de un basamento metamórfico bajo las formaciones sedimentarias del extremo Este de Cuba: Río Maya, Jaimanitas, Cabo Cruz, Maquey, etc. refirieron potencias de alrededor de 400 m. de secuencias sedimentarias de resistividades análogas a las superficiales; además el pozo E – 6 ubicado por los autores para este fin (8) no cortó asimismo las referidas rocas de la Fm. Chafarina en 300 m. de profundidad. Lufriú L., et al. 1996, (7, p-22) además, refieren la especialización radiogeoquímica de las rocas metamórficas de Cuba como eminentemente thoríferas, lo que coincide con lo planteado por Sánchez y Rosales, 1981 (8).

Otra aplicación del LAGE en tareas de cartografía de colas y halos de dispersión mecánica de los radioelementos puede ser observado en algunos sectores cercanos a fuentes fluviales de importancia, que de una u otra manera participan directamente en conjunto con la litología cercana a sus márgenes y a los rasgos geomorfológicos de su entorno en la conformación de los patrones descritos. En la Fig.11 se observan los patrones de distribución del K en algunos de los afluentes del río Cauto. Este río, el mayor de Cuba, con un muy amplio valle fluvial, recibe desde el Sur los aportes detríticos de las rocas eminentemente volcánicas presentes en la ladera meridional de las montañas de la Sierra Maestra que sin embargo no parecen ser las únicas responsables del patrón dendrítico de la distribución del K a lo largo del sistema fluvial. La amplitud de la anomalía alrededor del cauce de la fuente fluvial, habla de la vejez de su sistema de drenaje, periódicamente afectado por crecientes que desbordan su amplio cauce. La extensión de las anomalías de K desde el N, donde es ínfima la posible contribución de este elemento a partir de detritus de rocas volcánicas ricas en él, dice que puede existir además una contribución antropomórfica en el desarrollo de las zonas anómalas. El deslinde que ambas contribuciones tienen en la distribución espacial de los abanicos o halos de K requiere de un trabajo geomorfológico y litológico detallado, en la separación de cada una de las cuencas tributarias de todos y cada uno de los afluentes del sistema fluvial en combinación con el uso de los mapas del elemento uranio, muy vinculado a los fertilizantes ricos en fósforo ampliamente utilizados en los desgastados suelos de la región. El empeño en la recuperación de la cuenca del río Cauto pasa también sin dudas por las posibilidades que brindan los datos AGE en estas tareas.



Los humedales del Sur habanero pueden ser cartografiados por los contenidos anómalos mínimos de Th y U. Las concentraciones de ambos elementos transitan de manera brusca, conformando un límite sublatitudinal cuasiparalelo a la costa sur de La Habana, de valores muy cercanos a cero a valores mayores que 1.0 ppm. Las secuencias cuaternarias anegadas de esta región son las responsables de estos decrementos. Fig. 12.

La cartografía de secuencias volcánicas y terrígenas puede ser ejemplificada con la estrecha franja que ocupan las secuencias volcánicas de El Cobre indiferenciado en la región de Los Cerezos – Cajobabo, y la débil pero amplia anomalía sobre las formaciones San Luis y Cabacú en la región de Cabacú. La cartografía de las secuencias de la Fm. El Cobre se ve complicada en su frontera norte contigua por la presencia de las metavulcanitas de la Sierra del Purial, que si bien no presentan elevadas concentraciones de K en sus rocas, tampoco son un mínimo tan expresivo como lo pueden ser las rocas del complejo ofiolítico inmediatamente al N de ellas (zona de mínimos del elemento K al S de la anomalía de Cabacú), Fig. 13. Adicionalmente, el cuadro se complica por los valores anómalos correspondientes al cuerpo de dioritas de Jojo. En la región de Cabacú, la anomalía es más homogénea, y vinculada a los conglomerados polimícticos de la Fm. Cabacú representando la extensión en área de las formaciones terrígenas, San Luis incluido. El relieve llano y la red fluvial limitada del sector potencian estas características.

La cartografía de la elevación silicificada de Jacinto en la llanura camagüeyana a partir de los valores mínimos en los contenidos gammaespectrométricos de potasio (20) es también un buen ejemplo. Jacinto, un cerro testigo, relicto del magmatismo epitemal cretácico al N de Guáimaro, es una elevación de unos 250 m. de altura SNMM, compuesto por rocas silicificadas y cuarzo sericíticas. La cartografía de su emplazamiento real es muy importante por cuanto a él se relaciona el depósito de oro de adularia sericita de igual nombre, situado a unos 3.5 Km. al W de su cima. La localización del centro del sistema epitermal puede significar el descubrimiento de las zonas de bonanza de la mineralización aurífera, de ahí su importancia. En el mapa del radioelemento K la cota 100 de la elevación coincide casi exactamente con la isolínea cero del contenido de potasio, cartografiando parte de las alteraciones hidrotermales presentes en el sector. Fig. 14.

Dos casos ilustran claramente el uso del LAGE para la cartografía tectónica: la falla Pinar del Río y la falla El Cobre. La primera clave en la geología de una de las áreas más complejas y la segunda vinculada con el depósito VMS tipo Kuroko de El Cobre, que clasifica entre una de las mayores minas del mundo. La falla Pinar está muy bien representada como un mínimo alargado y curvo en su extremo occidental de los elementos de U y de Th. La mayor movilidad del U hace que la falla se manifieste con valores mínimos extendidos en una mayor área a ambos lados de su traza, algo que no ocurre con el mapa de concentración de Th, donde se observa un estrecho mínimo del elemento sobre la traza de la dislocación, Fig.15. Un caso parecido se manifiesta en la región de El Cobre, donde una falla de plumaje de igual nombre sin dudas estrechamente vinculada a la mineralización sulfurosa que conformó el yacimiento homónimo, está muy bien representada en el mapa del radioelemento Th. Esta vez, la traza de la falla no puede ser cartografiada con un mínimo de los valores de Thorio, sino con un cambio de nivel a modo de escalón que separa en general secuencias al sureste preponderantemente más thoríferas que las estériles que aparecen en el noroeste de la dislocación (Fig. 16) (21). Como colofón puede observarse el mapa del parámetro $W=qTh/qU$, (21), donde aparecen en el extremo noroeste, aparentemente estéril, anomalías interesantes de esta relación y evidentemente relacionadas con el vulcanismo en el área y posiblemente con la mineralización metálica, Fig.17, lo que comprueba al igual que en caso de la prospección gasopetrolífera, la



importancia de la realización de distintas transformaciones conocidas a los datos AGE para resolver tareas eminentemente cartográficas sobre diferentes escenarios y con distintos fines.

Existen otros muchos ejemplos de apoyo del LAGE a la cartografía de diferentes escenarios en la República de Cuba, entre ellos se pueden citar: la cartografía del límite formacional neogénico – cuaternario en el occidente de Cuba, mediante el cambio de los niveles de concentración II y III (2 ppm. - > 6 ppm.) al nivel I (2 ppm.) en los canales de U y Th (17); la cartografía de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas mediante la utilización de la especialización urano-thorífera en dependencia del tipo de corteza (2, 7), Fig. 18; la cartografía de los humedales de la ciénaga de Lanier a partir de los datos de los elementos U y Th, Fig. 19 y muchos otros más.

El último resultado mencionado pone en tela de juicio la decisión tomada durante la confección del Proyecto para la realización del Levantamiento Aerogeofísico de Cuba y los subsiguientes contratos que lo llevaron a efecto, de excluir las zonas de los humedales de la Ciénaga de Zapata y de la Ensenada de Corrientes y Guanahacabibes fuera de los trabajos del Levantamiento Aerogeofísico. Al parecer pesaron más los criterios de su futuro uso en la prospección de minerales y petróleo y gas que su posible utilidad cartográfica, lo que demuestra un estrecho conocimiento de las posibilidades del método.

Muchos otros usos pueden ser dados a estos datos además de los mencionados: méritos, en la obtención de relaciones entre los radioelementos asociados y distintas enfermedades recurrentes en determinadas zonas y bajo determinadas condiciones (11); de riesgos, en la predicción de escenarios favorables para la ocurrencia de deslizamientos (4).

El Levantamiento Aerogammaespectrométrico de La República de Cuba cumplió con los objetivos cartográficos para lo que fue realizado, su utilización queda validada en trabajos de esta índole para la escala 1:100000 y otras.

Referencias Bibliográficas

- Alfonso Roche, J.R., M. Pardo, J. Alvarez, N. Petrus y otros, 1993: "Informe sobre los trabajos metodológicos-experimentales de métodos geofísicos y geoquímicos no convencionales para la prospección de hidrocarburos someros en Cuba Septentrional (inédito)", ENG.
- Chang Bravo J.L. et al. 1990, "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Holguín, sector Guantánamo Sur". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Chang Bravo J.L. 2002 "Influencia de los rasgos geomorfológicos en la migración de los radioelementos naturales". Resúmenes del 2do. Congreso Cubano de Geofísica, La Habana 2002"
- Chang Bravo J.L.; V. Suárez; E. Castellanos; J. Moreira; K.Núñez. 2002. "Análisis de riesgos por deslizamientos. Contribución a partir del estudio de la migración de los Radioelementos Naturales". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003. Comunicación Verbal.
- ICGC, 1981: Mapa de Suelos, Ministerio de la Agricultura, Edición 1 1981E-724.
- Lufriú, L. , I. Padilla y L. Corbea, 1989: "Utilización de la aerogammaespectrometría en la búsqueda de petróleo y gas". Boletín Técnico de Petróleo MINBAS No. 2, 13-17.
- Lufriú, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1996 "Notas Explicativas al mapa del campo Aeromagnético y a los mapas de Radiación Gamma y concentraciones de U(Ra), Th, K a escala 1: 250000 de la República de Cuba" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Nicolaiev, A.; N. Núñez; S. Merestkov; R. Sánchez Cruz; P. Skorina; R. Cordobés; I. Shein; J. Revorido; C.M. Rosales, et al. 1981. "Informe sobre los Trabajos de Levantamiento Geológico 1:100000 y sus Búsquedas acompañantes 1: 50000; 1: 25000; 1: 10000 en las Montañas de La Sierra del Purial, Guantánamo", 1981. Archivo O.N.R.M. La Habana.



- Pardo Echarte, M. E., N. Petrus y otros, 1996: "Utilización de datos aerogammaespectrométricos para el reconocimiento de regiones gasopetrolíferas en Cuba"; un ejemplo: Pina-Ciego de Ávila. (en prensa), Ciencias de la Tierra y el Espacio.
- Padilla I. 1997. "Grado de estudio Aerogeofísico de La República de Cuba". Estudios sobre Geología de Cuba. IGP 1997; p-491, p-494. ISBN 959 - 243- 002- 0
- Padilla I. 2002. "Evaluación de las dosis de elementos radioactivos en la región central de Cuba". Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Geólogo-Geofísicas. Universidad de Campinas. Brasil. Comunicación Verbal.
- Petrus Marcos N. F. Prieto y otros 1998. "Rescate de la BD gammaespectrométrica de la parte occidental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Petrus Marcos N. "Visualización de los datos aerogammaespectrométricos para los estudios geológicos". V Congreso Cubano de Geología, La Habana 2003. Comunicación verbal.
- Prieto Caínzos R.; et al. 1989 "Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2001. " Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región de Cuba Central" .2001. Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2000. "Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región oriental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Rodríguez Basante B. 1999. "Utilización de los métodos geofísicos en el desciframiento de los rasgos geológicos de Cuba occidental". Tesis para el grado de MSc, ITC. The Netherlands, 1999.
- Rodríguez Basante B.; R. Sánchez y otros 2003 "Identificación y clasificación de los errores más comunes presentes en la BD Gammaespectrométrica de Cuba". Comunicación Verbal.
- Sánchez Cruz R., B. Rodríguez y otros 2002. Tema de Investigación y Desarrollo No. 226 "Standarización de la BD AGE 1: 100000 de la República de Cuba" (Comunicación Verbal).
- Sánchez Cruz R.; N. Petrus 2002 "Sistema Epitermal Jacinto: Razones Geofísicas para reconsiderar su ubicación espacial". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.
- Sánchez Cruz R.; E. Escobar; X. Casañas; N. Petrus; A. Oviedo, 2002. "La Región de El Cobre: Un Reanálisis de su favorabilidad desde el punto de Vista Geofísico". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.

Nota: La cantidad de casos utilizados hace que la cantidad de figuras necesarias para ejemplificarlos vaya más allá de lo permisible en la impresión digital. Todas las figuras citadas están incluidas en la presentación.



COMPONENTES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA DE CUBA, ESCALA 1:100 000.

Enrique Castellanos Abella, Dalia Carrillo Pérez, Bienvenido Echevarría Hernández, Kenya Nuñez Cambra

Instituto de Geología y Paleontología (IGP), Vía Blanca y Carr. Central, San Miguel del Padrón, CP 11000, Ciudad de La Habana, Cuba, Teléfono: 55-7232, correo: enrique@igp.minbas.cu

RESUMEN

A partir del 1995 el IGP comenzó a realizar proyectos de generalización geológica regional a escala final 1:100000, que generaron un mapa geológico para cada región de estudio en formato digital. Paralelo a estos trabajos de cartografía geológica, otros departamentos del IGP han realizado proyectos de sistematización de su información en formato digital creando grandes bases de datos georeferenciadas. Todas estas fuentes de información digital están presentando algunas dificultades para su empleo óptimo. La principal dificultad es la falta de integración de la información para la ejecución de investigaciones, venta de productos y servicios a terceros. Una solución efectiva sería la creación de un Sistema de Información Geográfica de la Geología (SIGEOL) que contenga las informaciones digitales de los diferentes subsistemas: geología, yacimientos, geofísica, paleontología, geoquímica, etc. Una tarea de tal magnitud debe ser anticipada por un diseño del sistema donde se creen los estándares y se estructure una metodología coherente para generalizar este diseño para toda Cuba. Este trabajo presenta los principales componentes de diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba (SIGEOL), los objetivos y resultados de cada uno y la organización general del SIGEOL. El diseño creado puede ser implementado por otra institución con las adecuaciones necesarias para la creación de un sistema de información geoespacial personalizado considerando los mismos tipos de estándares diseñados en SIGEOL.

ABSTRACT

From 1995 the IGP begin to carry out project of regional geological compilation at 1:100000 scale, that generate a geological map for each study region in digital format. At the same time of these geological cartography works, other departments of IGP have been done the normalization of their information in digital format building georeferenced data bases.

All theses digital information sources are presenting some difficulties for their optimum use. The principal problem is the lack of integration of the geological information for doing research, product sales and services. A effective solution could be the creation of the Geographical Information System of Geology (SIGEOL) that contain the digital information of the different subsystems: geology, ore deposits, geophysics, paleontology, geochemistry, etc.

Such a large task such be anticipate by a design of the system where standards could be created and a coherent methodology to generalized the design for the whole Cuba could be structured. This paper present the main components of the design of the Geological Information System of Cuba (SIGEOL), the objectives and results of each one and the general organization of SIGEOL. The design created could be implement by other organization with the needs transformations for the creation of a geospatial information system customized considering the same types of standard designed in SIGEOL.



Introducción

Durante las décadas del 70 y el 80 principalmente, se realizaron en Cuba grandes proyectos de levantamiento geológico con el fin de incrementar el conocimiento geológico del país. Estos levantamientos generaron múltiples mapas geológicos a escalas 1:250000, 1:100000 y 1:50000. Una generalización de todos estos trabajos se recogió en los mapas geológicos de Cuba 1:500000, en 1985 y 1:250000, en 1988. A partir del 1995 el IGP comenzó a realizar proyectos de generalización regionales con escala final 1:100000. Estos proyectos tienen como fin generalizar todos los trabajos de cartografía geológica que se han realizado en el área de estudio y realizar, con posterioridad, un mapa geológico digital generalizado a escala 1:100000. Paralelo a estos trabajos de cartografía geológica, otros departamentos han realizados grandes proyectos de sistematización de su información en formato digital creando grandes bases de datos. Se destaca dentro de estos el proyecto INFOYAC, que creó un sistema para entrada y mantenimiento de la información principal de todos los Yacimientos y manifestaciones minerales metálicas y no metálicas de Cuba. Así mismo, el departamento de Geofísica realizó otro proyecto para introducir sus bases de datos en el SIG CARIS y el departamento de Paleontología creó sus bases de datos de colecciones fósiles.

Todas estas fuentes de información digital están presentando algunas dificultades para su empleo óptimo. La principal dificultad es la falta de integración de la información para la ejecución de investigaciones, venta de productos y servicios a terceros. Debido a la diversidad de formatos y sistemas de computación algunos grupos no están en condiciones de emplear la información desarrollada por otros. Otros necesitan emplear tiempo y recursos en la conversión de los datos. Los sistemas de codificación y los diseños de bases de datos son diferentes y en ocasiones incompatibles. Los clientes externos requieren cada vez más información digital de diferentes disciplinas de manera integrada. Estos son entre otros los principales problemas.

La solución a los problemas anteriores sería la creación de un Sistema de Información Geográfica de la Geología que contenga las informaciones digitales de los diferentes subsistemas: geología, yacimientos, geofísica, paleontología, petrografía, etc. (Figura 1). El sistema contendría una base única de donde todos los grupos se nutran de información y a la vez lo enriquezcan. Dicho sistema se crearía en el Sistema de Información Geográfica CARIS, del cual el IGP es propietario y ofrece servicios con él. Una tarea de tal magnitud debe ser anticipada por un proyecto para el diseño del sistema donde se creen los estándares de la simbología geológica cubana, se diseñe un modelo de datos geológico, se identifiquen los diferentes productos digitales a crear y los precios de los mismos, se personalice el sistema CARIS con una interfase adecuada y se estructure una metodología coherente para generalizar estos trabajos para toda Cuba.

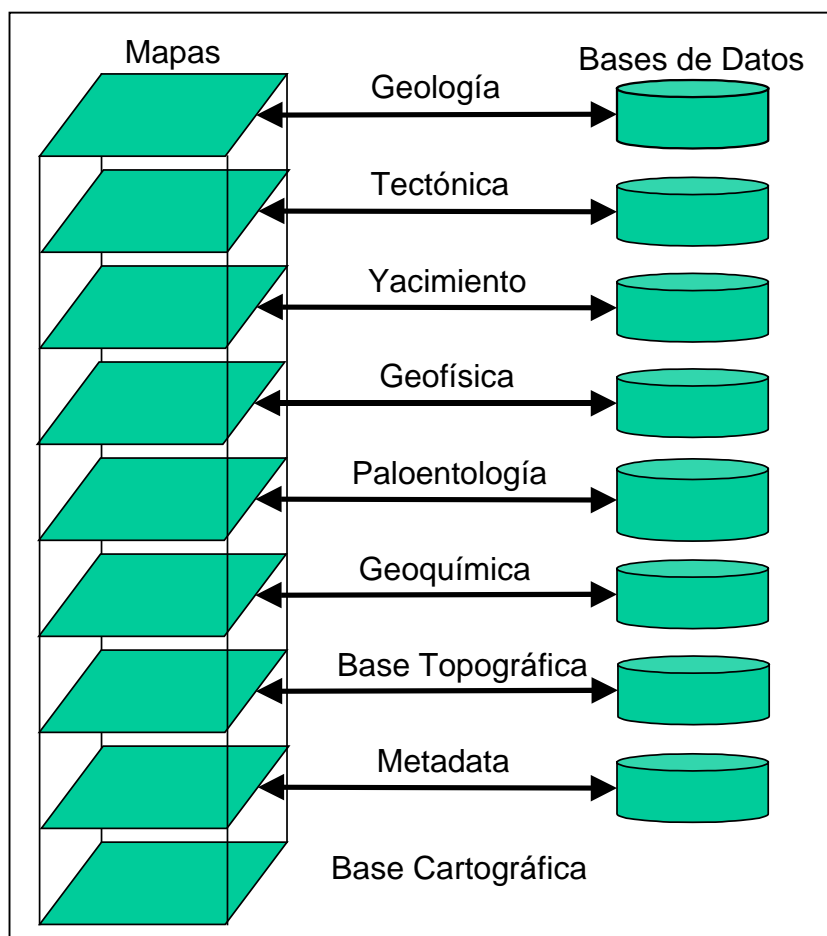


Figura 1. Temas de SIGEOL

El diseño del Sistema de Información Geológico de Cuba es imprescindible para abordar posteriormente la creación del sistema para toda Cuba a escala 1:100000, que abarcan 117 hojas topográficas (Figura 2). La ejecución a escala piloto (en un área reducida) permitiría probar el funcionamiento del sistema con todos sus subsistemas, elaborar la metodología de trabajo y realizar su evaluación económica. Una vez que el diseño está conformado y probado, existirán las condiciones de comenzar la producción del sistema para todo el territorio nacional. Con estos resultados el IGP podrá enfrentar los retos que le impone el mercado actual.

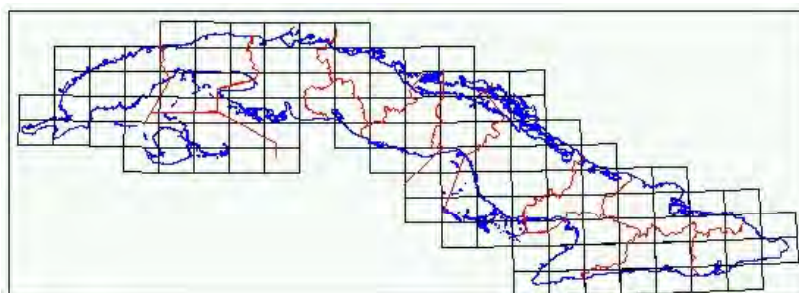


Figura 2. Los límites de las 117 hojas de Cuba 1:100 000. En rojo límites provinciales



Antecedentes del diseño

Entre los antecedentes del diseño se encuentra los siguientes:

- El diseño, creación y manejo de las bases de datos y mapas se realiza por departamentos sin que exista un criterio de integración de los mismos.
- Se ganado experiencia en el uso del SIG CARIS por la realización de más de 10 proyectos que lo han utilizado en algún grado.
- Es cada vez más evidente la realización de un análisis integrado de la información para dar resultados más efectivos.
- Puede maximizar el uso de la tecnología SIG a fin de obtener más ganancias y lograr resultados de más calidad.
- El IGP se encuentra en proceso de terminar el Mapa Geológico de Cuba a escala 1:100 000, el cual se realizará en formato digital en CARIS.
- Han ocurrido casos de perdida y deterioro de la información geológica, específicamente de mapas geológicos de antiguos levantamientos.
- Con sistema como el que se pretende se puede mejorar considerablemente la eficiencia y eficacia en la entrega de productos.

Estos antecedentes son la base que sustenta necesidad de creación de un Sistema de Información Geológica para Cuba. El sistema está concebido como una base de datos nacional o corporativa que se relacione estrechamente con los proyecto que constantemente se realizan (Figura 3). La base de datos nacional facilita la realización de proyecto y a su vez se nutre de estos.



Figura 3. Alcance de SIGEOL.

Componentes del diseño de SIGEOL

Para la realización del diseño de SIGEOL se buscaron las experiencias internacionales en servicios geológicos de otros países como, entre otros, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el Servicio Geológico Británico (BGS) y el Servicio Geológico Canadiense



(CGS). De este estudio se concluyó concentrar los componentes del diseño en cuatro cinco principales: el modelo de datos geológicos, la simbología geológica, las técnicas de cartografía digital, los requerimientos de publicación y los metadatos. A continuación se explican cada uno de ellos.

El modelo de datos geológicos

Define el contenido y estructura de SIGEOL tiene cuatro pasos fundamentales:

1. La norma de contenido, que define qué información tomarse y con qué formato.
2. El modelo conceptual, que organiza conceptualmente cómo se debe estructurar la información.
3. El modelo lógico, que diseña la estructura de la información geoespacial gráfica y textual.
4. El modelo físico, que define la organización de la información de los mapas y las tablas.

La Figura 1. muestra la representación gráfica del alcance que se pretende con SIGEOL. El centro o núcleo del sistema es el mínimo de información geológica imprescindible necesaria: el Mapa Geológico de Cuba. Esta es la información básica que conforma la base del SIGEOL.

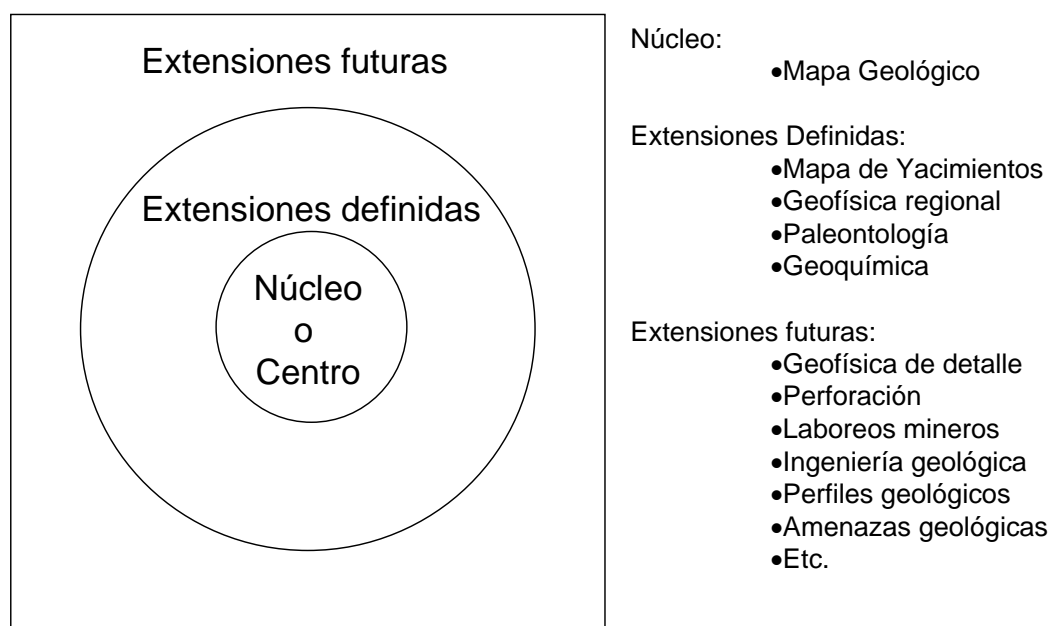


Figura 4. Organización de SIGEOL

Las extensiones definidas comprenden otros temas que son mantenidos por departamentos del IGP y que comprenden bases de datos regionales: yacimientos, geofísica regional, paleontología y geoquímica. El modelo está estructurado de manera tal que nuevas extensiones pueden ser definidas y conectadas al mismo.

Las extensiones futuras son un grupo de datos geológicos para propósitos más específicos, de estudios más detallados o que son mantenidos por otras instituciones. En la Figura 4, se han nombrado algunas extensiones futuras sin que sean sólo estas las únicas a considerar. Las extensiones futuras pueden devenir en extensiones definidas o incluso en el núcleo de SIGEOL.



La concepción del modelo de datos geológicos prevé los posibles usos futuros de la información geológica. Como los mapas digitales se diseñan para alcanzar un uso máximo, el hecho de considerar una consistencia de largo término al modelo subyacente es importante. Para esto es necesario pensar desde el inicio en todos los usos esperados (y no esperados) que van a tener los mapas en el futuro. Debido a que es difícil, sino imposible, ver cómo van a ser usados los datos en el futuro, la flexibilidad debe ser un requerimiento primario para todos los modelos de datos. Para incrementar la flexibilidad, el modelo ha sido diseñado con un final abierto, de manera que siempre sea posible responder a las necesidades de nuevos tipos de información que se adjunten a cada elemento.

El modelo de datos contempla la organización temática de SIGEOL donde los diferentes conjuntos de datos fueron organizados en Temas, Subtemas y Grupos. Adicionalmente se crearon dos documentos importantes para la organización del sistema: la Tabla del Tiempo Geológico para Cuba y el Sistema de Clasificación de Rocas para Cuba. Este grupo también contempla el diseño de la personalización del SIG CARIS para su uso más efectivo durante la adquisición, procesamiento, análisis, manejo y diseminación de la información.

La Simbología Geológica

La simbología geológica define todos los elementos de la representación espacial de los objetos geológicos. Aquí se especifican las características técnicas empleadas para el diseño de la simbología tales como el grosor de la líneas, las especificaciones tipográficas, las especificaciones de color, tramados y de tipos de caracteres. Este componente del diseño elaboró las orientaciones para el uso de los símbolos, de la asignación de color y de la asignación de etiquetas o anotaciones a los mapas geológicos.

Para cada conjunto temático se preparó el listado de símbolos con su código, concepto, representación gráfica, especificación cartográfica y algunas notas sobre su uso. Para realizar este trabajo se organizó un sistema de códigos que sirven para identificar cada tipo de objeto geológico. Se organizaron las unidades litoestratigráficas aprobadas por el Léxico Estratigráfico de Cuba acorde a su representación gráfica para una leyenda única para todo el territorio nacional. Debido a que en el mapa geológico se pueden representar algunos conjunto de tipos de rocas, como por ejemplo las rocas ígneas, se diseñó el tramado o colores que estos tipos de rocas llevarían al ser representados en el mapa.

Todos estos elementos de diseño fueron llevados al SIG CARIS y se realizaron las pruebas cartográficas pertinentes para comprobar la representación gráfica.

Cartografía Digital

El componente de cartografía digital define dos elementos cartográficos indispensables del mapa geológico: la cartografía topográfica base y la información marginal de cada hoja del mapa. Para el mapa topográfico base se tomó el producido por Geocuba y se hizo una selección de los principales elementos que se ubicarían en el mapa geológico. Se elaboró un procedimiento para llevar este mapa desde Autocad a CARIS. El diseño de información marginal comprende elaborar los requerimientos cartográficos de elementos tales como el marco del mapa geológico, la barra de escala, el mapa índice, la leyenda, etc.



Este componente del diseño de SIGEOL también elaboró el procedimiento para la realización del mapa geológico de Cuba 1:100000, partiendo de su variante preliminar el Autocad y para la actualización de dicho mapa en el propio SIG CARIS.

Como elementos colaterales se preparó pasaporte de hoja, que registra la “vida” de cada hoja del mapa geológico, las coordenadas lambert del sistema Cuba Norte y Cuba Sur para las 117 hojas topográficas y la determinación de la complejidad geológica de todas las hojas, entre otros aspectos.

Requerimientos de publicación

Para la elaboración de los requerimientos de publicación de los diferentes productos de SIGEOL se necesita primeramente una definición de estos productos en detalle en cuanto a contenido y formato (Figura 5). Debido a la estructura de los SIG, la cantidad de productos simples y las posibles combinaciones de los mismos es casi infinita. Por ejemplo, el mapa geológico puede estar combinado con los yacimientos minerales o con las localidades de los fósiles; una campo geofísico como la aeromagnetometría puede esta combinada con las tectónica disyuntiva, etc.

Luego de definir el contenido de los productos de SIGEOL, se definieron los diferentes tipos de formatos tanto digitales como impreso. Los mapas puede ser entregados como imágenes, en formato CARIS o en un formato de intercambio como DXF de Autocad. Las bases de datos se pueden preparar como reportes textuales que pueden ser eventualmente impresos.

Los requerimientos de publicación establecen los productos, su formatos y sus especificaciones técnicas. De esta manera los usuarios conocen con profundidad en producto que están recibiendo y para que pueden usarlo.

- A) Mapas temáticos
 - En CARIS (con visualizador o no)
 - En DXF (Autocad)
 - En formato Imagen
 - Impresos
- B) Bases de datos
 - En MSAccess
 - En reportes textuales
 - En reportes digitales

Figura 5. Productos de SIGEOL

Metadatos

Los metadatos han sido definidos como “datos de los datos” y comprende una base de datos referativa donde se registra toda la información concerniente a un conjunto de datos. Una base



de datos de metadatos permite conocer cualquier información concerniente a un conjunto de datos con vistas a su uso y acceso. El Metadato contiene información que responde a las siguientes interrogantes:

- Qué son los datos? Define al conjunto de datos.
- A quién contactar sobre los datos? Persona o institución que tiene los datos.
- De dónde los datos son originarios? (los componentes geográficos).
- Cuándo los datos fueron publicados?
- Cómo (y porqué) los datos fueron colectados? Incluye la calidad, proceso y uso.

En el proyecto Diseño de SIGEOL se creó una norma de contenido de metadatos, su modelo conceptual, lógico y físico. El mismo fue implementado en Microsoft Access.

Conclusión

Con la realización del proyecto Diseño de SIGEOL se desarrollaron un conjunto de normas y procedimientos para la implementación de un SIG contando con la el sistema CARIS y las bases de datos geoespaciales con que consta en IGP. Estas normas y procedimientos fueron ejecutados en un prototipo del sistema para la probar su eficacia.

Algunas de la normas creadas pueden ser empleadas por otras entidades para uso y procesamiento de la información geológica como la Norma de Simbología Geológica o la Tabla del Tiempo Geológico para Cuba.

La metodología de los componentes del diseño elaborada puede ser de utilidad por otra entidad que maneje información geoespacial y necesite implementar un SIG corporativo.

Bibliografía

- Federal Geographic Data Committee, 2000. Public Review Draft. Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization. Geologic Data Subcommittee. April 2000. US Geological Survey.
- Federal Geographic Data Committee, 1998. Content Standard for Digital Metadata FGDC-STD-001-1998 Metadata Had Hoc Working Group, National Spatial Data Infrastructure
- Johnson, B. R.; Brodaric, B.; Raines, G. L.; Hastings, J. T.; Wahl, R. 1999. Digital Geologic Map Data Model. Version 4.3. USGS. 69p. <http://geology/usgs.gov/dm>



ESTANDARIZACION DEL DISEÑO CARTOGRÁFICO DE LA INFORMACIÓN MARGINAL DEL MAPA GEOLÓGICO DE CUBA A ESCALA 1: 100 000.

Guillermo Pantaleón Vento, William Alfonso San Jorge, Kenya Nuñez Cambra y Enrique Castellanos Abella

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y prolongación de la Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba. E-mail: panta@igp.minbas.cu

RESUMEN

El trabajo es uno de los resultados obtenidos en el desarrollo del Proyecto “Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba a Escala 1:100 000” que es acometido por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS). Este trabajo (norma) facilita la estandarización de la información marginal del mapa geológico digital de Cuba a escala 1: 100 000, soportado sobre el software Caris, presentando los datos geológicos que son necesarios para crear el sistema de información geológica de Cuba (SIGEOL).

La necesidad de incrementar la integración y calidad cartográfica de la información geológica, la variedad de formatos para presentar la información contenida en los mapas geológicos y por último la creación del sistema de información geológica de Cuba en formato SIG; han sido las principales razones para la creación de esta norma.

El objetivo fue crear una norma que regule la forma de presentación de la información cartográfica, dimensiones, distribución, los formatos de las líneas, letras, símbolos y otros que son utilizados desde el punto de vista topográfico y cartográfico en la confección de los mapas geológicos a escala 1: 100 000 por el Instituto de Geología y Paleontología. De esta manera se establecen las bases para en un futuro no muy lejano desarrollar otras normas para mapas geológicos digitales a escala 1:25000 y 1:50000.

Este documento presenta los estándares que serán utilizados en la confección de la información marginal, cómo deben ser organizados espacialmente y sus diferentes formatos. Se pretende que tenga un alcance nacional y pueda ser empleada por cualquier entidad estatal.

ABSTRACT

The work is one of the results obtained in the development of the Project “Design of Cuban Geological Information System of Cuba at Scale 1:100 000” that is carried out by the Institute of Geology and Paleontology (IGP) of the Ministry of the Basic Industry (MINBAS). This standard facilitates the standardization of the marginal information of the digital geological map of Cuba at scale 1:100 000, supported by the Caris software, presenting the geologic data that are necessary to create the Cuban geological information system of Cuba (SIGEOL).

The necessity to increase the integration and cartographic quality of the geological information, the diversity of format to present the information contained in the geological maps and finally the creation of the system of geologic information of Cuba in GIS format; they have been the main reasons for the creation of this standard.

The objective was to create a standard that regulates the form of presentation of the cartographic information, dimensions, distribution, the formats of the lines, characters, symbols and others that are used from the topographical and cartographic point of view in the development of the geological maps at scale 1: 100 000 by the Institute of Geology and Paleontology. In this way has been established the bases for the future development of other standards on digital geological maps at scale 1:25000 and 1:50000.



This document presents the standards that will be used in the design of the marginal information, how they should be organized spatially and its different formats. It is sought to have a national level and it can be used for any organization.

Introducción

El Instituto de Geología y Paleontología (IGP) del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) ejecuta el proyecto “Diseño de Sistema de Información Geológica de Cuba, escala 1:100 000” (SIGEOL) desde Abril de 2002 hasta Junio de 2003, con el objetivo de preparar un conjunto de normas y procedimientos que contengan el diseño de un sistema de información geológica para Cuba.

El proyecto estuvo compuesto por seis (6) grupos de trabajo: Modelo Geológico de Datos, Metadata, Simbolización, Cartografía Digital, Publicación y Evaluación Económica. Los grupos trabajaron muy estrechamente relacionados entre sí y con múltiples especialistas del IGP para lograr tareas específicas.

En nuestro país existen instituciones científicas, educacionales, vinculadas a la producción y empresariales relacionadas con las ciencias geológicas con gran diversidad en sus objetivos y funciones, pero que de una u otra forma se encuentran vinculadas con la creación de mapas geológicos a diferentes escalas, inicialmente en copia dura (papel) y en la actualidad con el desarrollo en el campo de la computación de diferentes software y sistemas de información geográfica en formato digital. En las mismas se encuentran especialistas con gran experiencia en la cartografía geológica y en el manejo de datos geoespaciales digitales. Al existir diferentes grados de asimilación por estas entidades del desarrollo tecnológico vinculado a la confección de mapas geológicos digitales y que el mismo no sea homogéneo se obtiene como resultado que la forma de presentación de estos mapas sea numerosa y prodiga en variantes, no existiendo en la actualidad ningún documento que norme el diseño cartográfico para la información marginal del mapa geológico digital de Cuba a escala 1: 100 000 ni ningún otro mapa geológico a otra escala.

El Instituto de Geología y Paleontología realizó el levantamiento geológico de Cuba a escala 1: 250 000 y numerosos mapas temáticos entre los cuales se pueden mencionar los mapas de yacimientos minerales metálicos y no metálicos a escala 1: 500 000, Mapa tectónico de Cuba a escala 1: 500 000 y otros; más recientemente esta desarrollando la tarea de confeccionar el mapa geológico digital de Cuba a escala 1: 100 000 por provincias.

Conjugando las premisas mencionadas anteriormente al Grupo de Cartografía Digital se le asignó prioritariamente la confección de una norma que regulara el diseño cartográfico para la información marginal del mapa geológico de Cuba a escala 1: 100 000 y de los productos del Sistema de información geológica de Cuba.

La norma será uno de los documentos base para la creación de los mapas del sistema de información geológico de Cuba a escala 1:100 000 desarrollado por el Instituto de Geología y Paleontología (IGP). Será aplicada a cualquier producto creado en papel, tanto en formato de impresión offset o de ploteo a demanda o digitalmente, en cualquiera de los formatos conocidos que se establezca en otras instrucciones.



Materiales y métodos

Fue objetivo del presente trabajo regular la forma de presentación de los diferentes mapas geológicos que se acometen en formato digital por el Instituto de Geología y Paleontología y particularmente los que se realizan a escala 1: 100 000, incursionando en aspectos tales como la estética, funcionalidad y nivel de información brindado por diferentes elementos que no son en esencia la temática principal (mapa geológico y su leyenda) pero que por otra parte juegan un papel protagónico en el nivel de conocimiento que se da con cada hoja del mapa geológico. Después de realizar la revisión de numerosos mapas geológicos a diferentes escalas (tanto nacionales como extranjeros), normas nacionales e internacionales y colegiar este diseño con los diferentes miembros del proyecto se llegó a la conclusión de que el diseño más idóneo y funcional es el que se propone en el presente trabajo, quedando agrupado los mismos en: información marginal y mapa base.

Por otra parte se definen los tipos de letras, formatos de líneas, símbolos y letras, las distancias a que se encuentran los diferentes componentes de los márgenes del mapa, las dimensiones de los mismos, su distribución y otros que son utilizados para la representación topográfica y cartográfica en la confección de los mapas geológicos a escala 1: 100 000 por el Instituto de Geología y Paleontología, sentando las bases para en el futuro desarrollar esta aplicación para mapas geológicos digitales a escala 1:25 000 y 1:50 000.

La información marginal y el mapa base son aquellos elementos que se propone sean comunes para cualquier hoja del mapa geológico o producto de SIGEOL, la cual presenta dimensiones de 850 mm de largo y 496 mm de ancho.

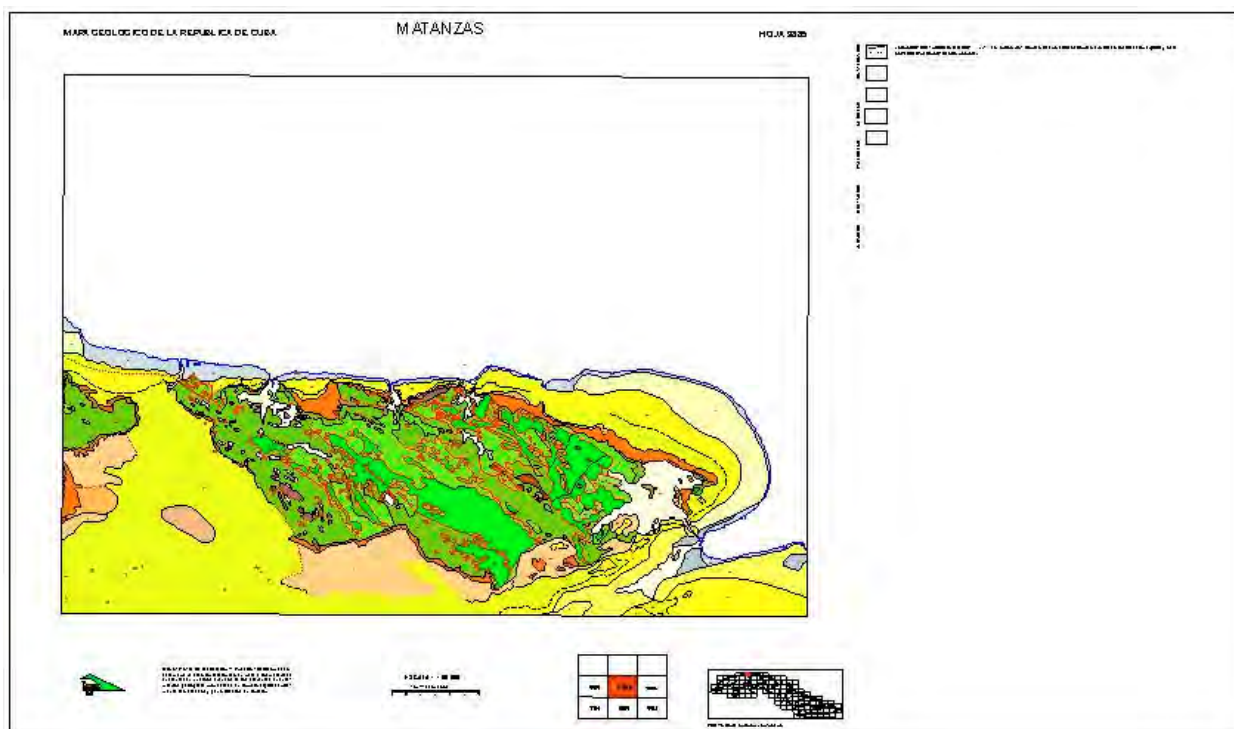


Fig.1 Elementos constitutivos de la Información Marginal en el Mapa Geológico



La información marginal (fig.1) esta constituida por un conjunto de elementos que se encuentran distribuidos en la periferia del mapa geológico (que brindan información complementaria sobre el mismo) y su leyenda (constituida por los elementos del 12 al 17) ; y el mapa base (fig.2) como su nombre indica constituye la base del mapa geológico (borde geográfico, coordenadas Lambert y geográficas, carreteras, poblados, ríos, curvas de nivel, presas, etc.) y son representados por un solo color en el mapa.

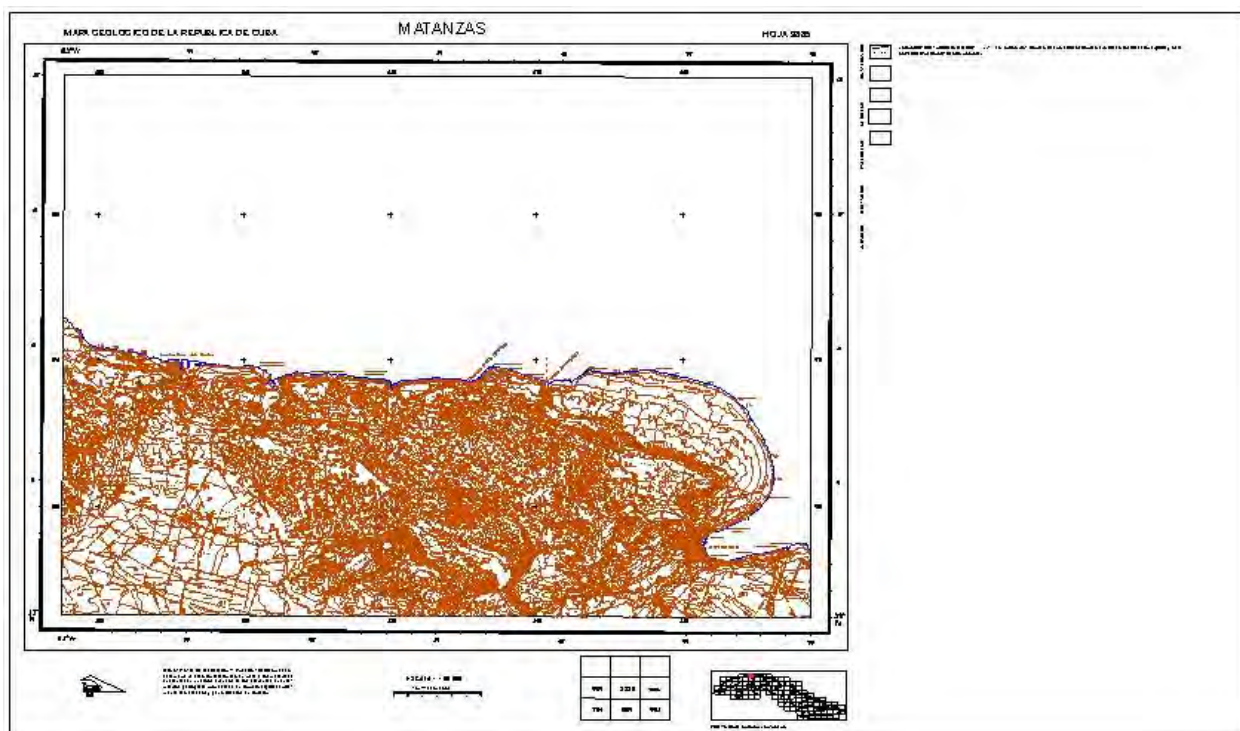


Fig.2 Elementos constitutivos de la Información Marginal con el Mapa Base

Entre los elementos constitutivos de la información marginal se encuentran los siguientes:

- | | |
|--|--|
| 1-Tipo de mapa | 2- Nombre de la hoja |
| 3-Número de la hoja | 4- Logotipo del IGP |
| 5-Texto Asociado | 6- Barra de escalas |
| 7-Ubicación de las hojas vecinas | 8- Ubicación de la hoja activa en un mapa de Cuba con los límites provinciales |
| 9- Pertenencia a Provincias | 10-Borde Geográfico con coordenadas Lambert y Geográficas , sus etiquetas y cruces |
| 11- Marco externo | 12-Periodo (Sistema) |
| 13- Abreviatura de la edad en el cuadro | 14-Edad |
| 15- Abreviatura de la formación geológica | 16- Nombre de la formación geológica |
| 17-Descripción litológica de la formación. | |

Cada uno de los 17 elementos constitutivos de la información marginal fueron caracterizados individualmente con sus respectivos parámetros y codificados como se puede observar en el siguiente ejemplo:



1- Tipo de mapa

MAPA GEOLOGICO DE LA REPUBLICA DE CUBA

Siendo sus parámetros los siguientes:

Distancia del borde externo izquierdo (mm): 38.2

Distancia del borde externo superior (mm): 11.8

Ancho del texto (mm): 145

Alto del texto (mm) : 4.5

Tema: 202000

Código: IMLLBLEGTM

Mayúsculas

Tipo de letra: 40

Tamaño : 6.0 mm

Grosor de línea: 5

Se seleccionaron una serie de capas del mapa topográfico a escala 1: 100 000 (que constituyen el mapa base) que serán facilitados (mediante su compra) por GEOCUBA en el software AutoCad 2000 para las 117 hojas que comprende el archipiélago cubano, haciéndose los mismos responsables y garantes de la exactitud, autenticidad, confiabilidad y actualidad de los datos e información que se presentan en estos mapas.

Los mapas suministrados por GeoCuba se confeccionan en la Proyección Cónica Conforme de Lambert, utilizando como superficie de referencia la del elipsoide de Clark de 1866.

Resultados y discusión

Para viabilizar la visualización, manipulación y la realización de análisis de las diferentes temáticas componentes de la información marginal y el mapa base se agruparon los mismos en temáticas, subtemáticas y grupos, algo similar se hizo para las diferentes temáticas componentes del Sistema de información geológica de Cuba.

La temática Mapa Base fue subdividida en las subtemáticas: hidrografía, cultural, topografía, accesos y división político administrativa; por otra parte la temática información marginal fue subdividida en las subtemáticas: líneas de bordes de mapas, leyenda, descriptores del mapa y ubicación de la hoja.

Todos los elementos constitutivos de la información marginal y el mapa base fueron caracterizados individualmente y respectivamente codificados en el software Caris. La codificación se realizó basado en la división por temáticas dentro del sistema SIGEOL, subdividiéndose en subtemáticas, con sus correspondientes números de temas y códigos (los mismos pueden tener hasta 12 caracteres), la codificación general se aprecia en la Tabla I.

Como es conocido al ser nuestro archipiélago largo y estrecho se han establecido dos sistemas de coordenadas: Cuba Norte y Cuba Sur, estando ubicado el límite entre ellos a los 21° 30' de Latitud Norte, pasando el mismo al norte de la ciudad de Camagüey, por lo que las hojas del mapa geológico digital que se encuentran en este límite serán georeferenciadas en ambos sistemas: una como Cuba Norte con los valores superpuestos de coordenadas de Cuba Sur, y otra como Cuba Sur con los valores de coordenadas superpuestos de Cuba Norte, lo que permite que se puedan correlacionar hojas de Cuba Norte y Cuba Sur.



Al ser confeccionado el mapa geológico digital en el software Caris fue necesario calcular los valores de coordenadas Lambert suministrados por GeoCuba con 3 decimales de exactitud en Caris para que los valores de las coordenadas geográficas de los 4 vértices de cada hoja fueran similares a los suministrados por GeoCuba.

Para la preparación de este documento se revisaron varias normas cubanas (GEOCUBA, 2002, Grupo Empresarial GEOCUBA, 2000) e internacionales (ISO-710 1-7, Mawer, 1999 y FGDC, 2000). Se debe destacar que en las mismas no se ha encontrado normada y relacionada específicamente la distribución espacial, tamaño y características particulares de los diferentes elementos integrantes de la información marginal y el mapa base de un mapa geológico a escala 1: 100 000.

Si bien el uso de esta norma no tiene un carácter obligatorio sobre el resto de las entidades que confeccionan mapas geológicos en el país, el Instituto de Geología y Paleontología invita, estimula y ayuda a organizaciones y personas de cualquier organización estatal, mixta o privada a usar la misma para organizar su información geológica en formato digital. El presente documento mejorado con la ayuda mediante la participación externa contribuirá a resolver los problemas existentes con el procesamiento, transferencia y almacenamiento de la información geológica digital.

Conclusiones

La aplicación de la presente norma permite que sean correlacionadas hojas del mapa geológico digital a escala 1: 100 000 aunque se encuentren en dos sistemas de coordenadas distintas a saber Cuba Norte y Cuba Sur, tal es el caso de las hojas 4280, 4380, 4480, 4580, 4680, 4780 y 4880. Por otra parte se puede lograr el empalme e interacción de cualquier conjunto de hojas a escala 1: 100 000 del mapa geológico de Cuba estén en Cuba Norte o Cuba Sur o en ambos sistemas, así como interactuar con el mapa geológico de Cuba completo.

Se logra una total homogeneidad en la presentación de los diferentes tipos de mapas geológicos digitales a escala 1: 100 000 y de los diferentes productos del Sistema de información geológico de Cuba que sean susceptibles de representarse en mapas a escala 1: 100 000.

Se obtiene un documento que por primera vez norma el diseño y distribución de los diferentes elementos constitutivos de la información marginal para la confección de los mapas geológicos a escala 1:100 000, que será de uso obligatorio por el IGP.

Referencias bibliográficas

- Empresa GEOCUBA La Habana. 2002. Manual de trabajo para la realización del mapa topográfico digital a escala 1: 100 000.*
- Grupo Empresarial GEOCUBA. 2000. Norma Cubana. Mapas Topográficos digitales a escala 1: 25000, 1:50000 y 1:100000. Republica de Cuba, Especificaciones de calidad*
- ISO-710-1: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part I: General rules of representation. 1974*
- ISO-710-2: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part II: Representation of sedimentary rocks. 1974*
- ISO-710-3: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part III: Representation of magmatic rocks. 1974*



ISO-710-4: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part 4: Representation of metamorphic rocks. 1974

ISO-710-5: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part 5: Representation of minerals. 1974

ISO-710-7: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part 7: Tectonic symbols. 1974

Mawer, C.H. 1999. Cartographic standard geological symbol index. British Geological Survey Research Council, RR-99-05.

Federal Geographic Data Committee. 2000 Public Review Draft - Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization, Geologic Data Subcommittee.

TEMATICAS Subtemáticas Grupos	No. TEMA	CODIGO	DESCRIPCION
MAPA BASE		MB	
Hidrografía	101000	MBH	Ríos, lagos, línea de costa, pantanos, presas, etc. y textos asociados.
Cultural	102000	MBC	Cualquier cosa hecha por el hombre excepto cosas relacionadas con las ciencias de la tierra y rasgos de acceso.
Topografía	103000	MBT	Contornos de elevaciones, etiquetas de contornos, etc.
Accesos	104000	MBA	Autopistas, carreteras, caminos, ferrocarriles, líneas de energía, etc.
División Política	105000	MBD	Límites interprovincial, intermunicipal, internacional.
INFORMACION MARGINAL		IM	
Líneas de bordes de mapas	201000	IMB	Borde geográfico, líneas de mallas, valor de coordenadas, etc.
Cruces	201100		Cruces y valor de coordenadas de Cuba Norte en Cuba Sur y viceversa.
Leyenda	202000	IML	Cuadros de leyenda, textos de leyenda.
Cuadro de leyenda	202100		Cuadro de leyenda
Descriptores del mapa	203000	IMS	Título, barra de escala y texto asociado, proyección, elipsoide, logo.
Logotipo	203100		Logotipo
Texto asociado	203200		Texto asociado
Ubicación de la hoja	204000	IMU	Mapa de cuba con la hoja y mapa con hojas vecinas
Hoja activa	204100		Hoja activa en mapa de Cuba
Hoja vecina	204200		Hojas vecinas

TABLA 1 Codificación general por Temas y Subtemas de la Información Marginal y el Mapa Base



EL METADATO GEOESPACIAL DIGITAL COMO HERRAMIENTA DE REFERENCIA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN DE LA GEOLOGÍA (SIGEOL)

Dalia J. Carrillo Pérez, Enrique Castellanos Abella, Bienvenido T. Echevarría Hernández, Kenya Nuñez Cambra, Zeyda Marrero del Cañal.

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana. Email. dalia@igp.minbas.cu

Resumen

Es usual definir los metadatos como “datos sobre datos”, pero realmente esta frase enmascara potencialmente la verdadera complejidad de los metadatos que tiene las siguientes funciones: mantener una organización interna en cuanto a los datos geospaciales ; proporcionar información sobre datos entrelazados (relacionados) para un catalogo de datos; proporcionar la información necesaria para procesar e interpretar datos que pueden ser recibidos o transferidos a una fuente externa .

La importancia del nuestro Metadato esta dada por sus múltiples propósitos entre ellos a la de responder a las siguientes interrogantes:

- Qué son los datos? Define al conjunto de datos.
- A quién contactar sobre los datos? Persona o institución que tiene los datos.
- De dónde los datos son originarios? (los componentes geográficos).
- Cuándo los datos fueron publicados?
- Cómo (y porqué) los datos fueron colectados? Incluye la calidad, proceso y uso.

Dada la importancia de los metadatos en la tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica), en el proyecto “Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba” a escala 1:100 000 se incluyó el diseño de la estructura de la Metabase de datos que acompañara los productos geospaciales del sistema.

El presente trabajo nos muestra los modelos conceptual y lógico de la estructura de la metabase de datos de los productos geospaciales del SIGEOL, la cual puede ser utilizada por su flexibilidad en cualquier institución proveedora de datos geospaciales.

Abstract

Metadata is described as “data about data” but this phrase does not show the complexity of metadata , that has the following functions: to maintain an organization’s internal investment in geospatial data ;to provide information about an organization’s data holdings data catalogues; to provide information needed to process and interpret data to be received though transfer from an external source.

The importance of the metadata is given in their multiple proposes and a metadatabase responds to the fallowing queries:

- What the data are? It defines the data set
- Who to contact about the data? Person or institution
- Where the data originate from? (the geographic component)
- When the data were produced?
- How(why) the data were collected? It includes the quality, process and use.

Given the importance of the metadata in the GIS technology , in the project of the “Design Geological Information System of Cuba” scale 1:100 000, the design of metadata has been included.

The present paper show the conceptual and logical models of metadatabase’s structure, which can be used for their flexibility by any institution that produce geospacial data.



Introducción

La necesidad de organizar la información digital producida por nuestra institución (Instituto de Geología y Paleontología) nos condujo a la creación de una Metabase de datos geoespaciales que cumple con el estándar establecido en la norma ISO/DIS 19115 y las creadas por el Comité Federal de Datos Geoespaciales (FGDC) de los E.U, "Content Standard for Digital Geospatial Metadata" y la de "Matadato Geoespacial Digital. Contenido", confeccionada para el SIGEOL. Esta Metabase de datos geoespaciales es parte de los objetivos del Proyecto "Diseño del Sistema de Información Geológica de Cuba" (SIGEOL), escala 1:100 000.

Es usual que un mapa en papel (analógico) contenga información marginal representada por la leyenda, escala, sistema de proyección etc. Todo esto sería su metadato o metainformación una vía fácil, sencilla y directa de obtener información primaria sobre el mapa. Cuando el mapa esta en formato digital, su creación requiere de un mayor consenso y esfuerzo por parte del productor de los datos, y de la cadena subsiguientes de usuarios del mismo, quienes pueden modificar los datos para un uso específico (en función de sus necesidades). Es por ello que cada producto geoespacial digital debe estar acompañado de su metadato que nos valide la calidad de los datos, para su posible uso en un SIG y la generación de nuevos productos geoespaciales.

Se denomina producto geoespacial digital a: "A una colección de datos digitales espaciales que pueden ser diferenciados por su disposición espacial y representan uno o mas objetos y en su conjunto conforman un producto comercializable".

La importancia del Metadato esta dada en sus múltiples propósitos entre ellos el de mostrar los datos, transferir los datos y documentación de los datos.

El Metadato puede estar organizado a diferentes niveles, y crearse solamente para inventario simple (básico) de los datos de determinada institución o ser de mayor detalle y complejidad. Estamos consiente que es una tarea de los productores de datos geoespaciales construir sus Metadatos, en esta tarea esta enfrascada nuestra institución, productora de la información geológica.

Metadato

La imagen técnica que nos proporciona el Metadato es la posibilidad de navegar en un diccionario, que contiene información sobre el contenido, calidad, condición y otras características de un conjunto de datos. La definición mas difundida de el Metadato o la metainformación es la de "datos sobre datos" que responde a las siguientes interrogantes:

- Qué son los datos? Define el contenido del conjunto de datos.
- A quién contactar sobre los datos? Persona o institución que tiene los datos.
- De dónde los datos son originarios? (componentes geográficos)
- Cuándo los datos fueron publicados? Momento de producción de los datos.
- Cómo (y porqué) los datos fueron colectados? Incluye la calidad, proceso y uso.

El Metadato geoespacial para el Sistema de Información de la Geología consta de varios niveles y tiene un orden jerárquico en su estructura (ver figuras 1 y 2) . El contenido de la información esta definida por elementos compuestos y elementos dato que documenta (caracteriza) el conjunto de datos en cuestión.



La construcción de la Metabase de datos de nuestra institución garantizará:

- una dirección centralizada de los datos en el sistema
- permitirá elevar la eficiencia en el uso de la información
- se incrementará la posibilidad de crear nuevos productos geoespaciales
- obligará a los productores de datos a elevar la calidad de sus productos
- mejorará considerablemente la imagen de la institución en los negocios

Estos serían algunos de los principales beneficios que reportarán nuestros metadatos como información acompañante.

La figura 1 muestra el esquema de organización del metadato utilizado por la ISO 19115 y modificado para adecuarlo a nuestro trabajo, donde se refleja los puntos más importantes a tener en cuenta, la organización, ubicación y responsables de los datos.

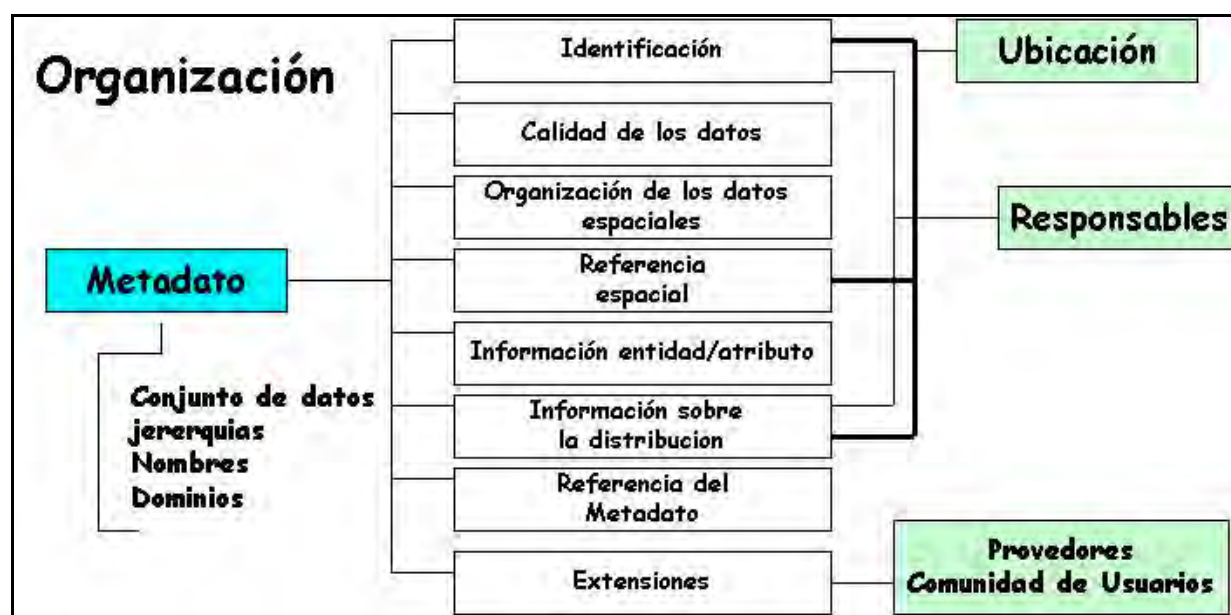


Figura 1- Esquema ISO 19115 modificado sobre la organización del Metadato

Modelo conceptual de el metadato.

Es el modelo conceptual el núcleo de todo sistema, y básicamente representa toda la información sobre el objeto, que en nuestro caso es abstracto y no físico. Se representan todos los datos que definen al objeto y se describe el contenido informativo de los mismos. La norma elaborada para la construcción de los metadatos que acompañarán los productos geoespaciales del SIGEOL (Sistema de Información Geológica de Cuba) es el modelo conceptual, que se apoya con el esquema conceptual (Figura 2) que describe y desarrolla cada sección del metadato de nuestro sistema. A continuación describimos cada una de las secciones:

La sección 1- Información de la Identificación, tiene como propósito fundamental mostrar la información básica sobre el conjunto de datos.



La sección 2- Calidad de los datos, establece de modo general la calidad del conjunto de datos.

La sección 3- Organización espacial de los datos, nos proporciona el mecanismo utilizado para representar la información espacial del conjunto de datos.

La sección 4- Información de la referencia espacial, brinda la descripción del marco de referencia, y los medios para poner en código, las coordenadas del conjunto de datos.

La sección 5- Información de las entidades y atributos del conjunto de datos, nos brinda de forma detallada el contenido del conjunto de datos, incluyendo el tipo de entidad, sus atributos, el dominio y el valor de los atributos que pueden ser asignados.

La sección 6- Información de la distribución, información sobre el distribuidor y opciones para obtener el conjunto de datos.

La sección 7- Información de referencia del Metadato, información sobre la vigencia de la información y de las partes responsables de la confección de metadato..

Extensiones: El esquema conceptual permite que se le adicione otras secciones que sean necesarias de acuerdo a los intereses de el proveedor de datos o de la comunidad de usuarios de los datos siempre y cuando mantengan el formato establecido por la norma.

Además de estas secciones principales existen las secciones 8, 9 y 10 que no operan independientemente sino que forman parte de algunas de las secciones principales. Estas secciones están relacionadas con la ubicación del conjunto de datos, el periodo de tiempo y la persona o institución a contactar para conocer sobre el conjunto de datos.

El contenido de toda la información esta definida por los elementos compuestos y elementos dato que caracterizan la información del conjunto de datos. Como señalábamos anteriormente el metadato geoespacial de nuestro sistema consta de varios niveles y tiene un orden jerárquico en su organización, como se muestra en las figuras 2 y 3.

El punto inicial o de partida es el Metadato en cuestión (nivel 0) que se compone de una serie de elementos compuestos que a su vez contienen elementos dato. (ver figura 3).

Las secciones principales del metadato descritas con anterioridad, contienen un numero considerable de elementos dato, por tal motivo para el presente trabajo, desarrollaremos como ejemplo una de las secciones mas importante y de obligatoriedad en la confección de un metadato geoespacial y que debe llevar cualquier producto geoespacial. Sección 1- Identificación:

- Ubicación - Referencia recomendada para describir el conjunto de datos.
- Descripción - Una caracterización del conjunto de datos incluyen su intención, uso y limitaciones.
- Período de tiempo - Período de tiempo para los cuales el conjunto de datos tiene vigencia.
- Estado - Estado y mantenimiento de la base de datos.
- Dominio espacial - Dominio del área geográfica del conjunto de datos.
- Palabras claves - Palabras o frases que expresan el contenido del conjunto de datos.



- Restricción al Acceso - Restricciones y prerequisites legales para acceder al conjunto de datos. Esto incluye cualquier restricción aplicada para asegurar la protección y la privacidad de la propiedad intelectual y cualquier restricción especial o limitación en la obtención del conjunto de datos.
- Restricción al Uso - Restricciones y prerequisites legales para usar el conjunto de datos. Esto incluye cualquier regulación para el uso aplicada para asegurar la protección y la privacidad de la propiedad intelectual y cualquier restricción especial o limitación en la obtención del conjunto de datos.
- Crédito del conjunto de datos - Citar aquellos que contribuyeron al conjunto de datos.
- Puntos de contactos - Información para contactar con la organización o personas que tiene conocimientos sobre el conjunto de datos.
- Apertura gráfica - Un gráfico que proporciona una ilustración del conjunto de datos.
- Información sobre la seguridad - Manejo de las restricciones impuestas al conjunto de datos de acuerdo a las disposiciones gubernamentales e institucionales u otros interesados.
- Ambiente de los datos - Descripción del conjunto de datos en el ambiente que fueron procesados, nombre del software y versión, el sistema operativo, nombre de los ficheros (incluye path, servidor etc.) tamaño del conjunto de datos.
- Referencia cruzada - Información sobre otros conjuntos de datos relacionados.

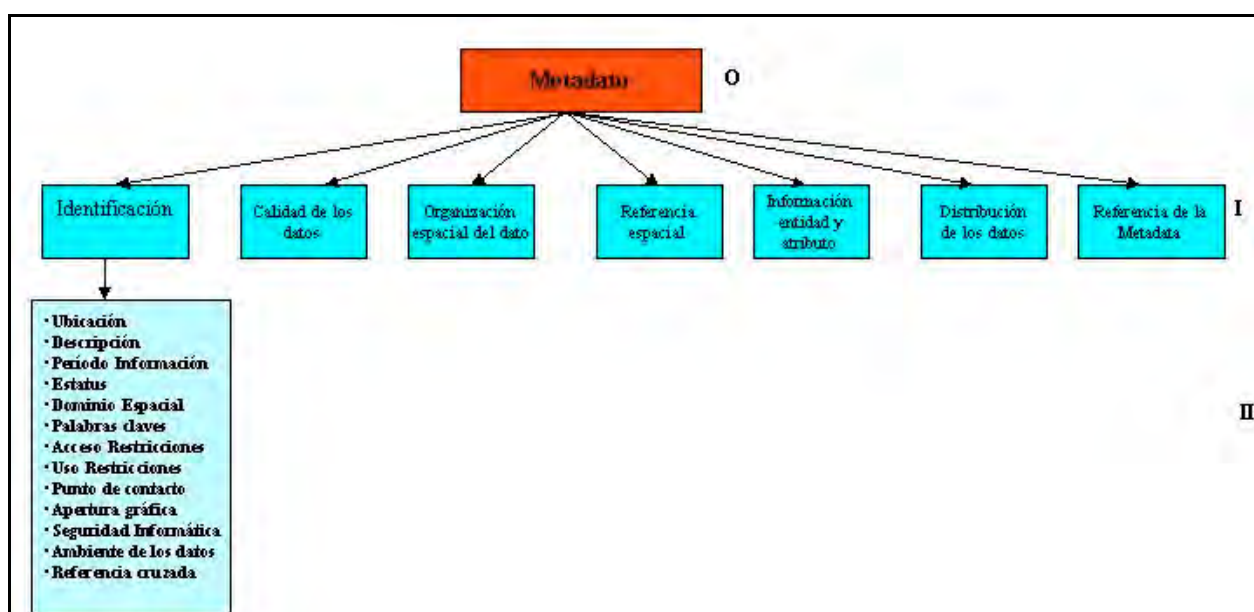


Figura 2- El Metadato, un ejemplo del nivel superior con sus elementos compuestos y elementos dato.

De la sección 1 Identificación, seleccionaremos el elemento compuesto Ubicación para mostrar la jerarquía de los datos que caracterizan al conjunto de datos por niveles (ver figura 3).

Autor - El nombre de la organización o persona que desarrollo el conjunto de datos

Fecha de Publicación - La fecha cuando el conjunto de datos es publicado o se encuentra disponible.



Tiempo de Publicación - La hora del día cuando el conjunto de datos fue publicado.

Título - El nombre por el cual el conjunto de datos es conocido

Edición Nueva versión del título- Cuando se hace una revisión de un texto y sufre cambios .

Formato de presentación- El modo en el cual el dato espacial es representado.

Nombre de la serie - Serie de la publicación de las cuales el conjunto de datos es parte.

Información de la Publicación- Detalles de la publicación del conjunto de datos

Otros detalles sobre la publicación- Otra información requerida para completar la ubicación.

Conexión directa - El nombre de la fuente directa (computadora) que contiene el conjunto de datos.

Ubicación extensiva- La información identificada en otros trabajos en las cuales el conjunto de datos está incluido .

En la figura 3 se muestran los niveles mas bajos a partir de la descomposición de los elementos compuestos de ubicación: información de serie y publicación, representando los niveles II, III y IV. Los elementos dato son la expresión mínima del dato en cuestión.

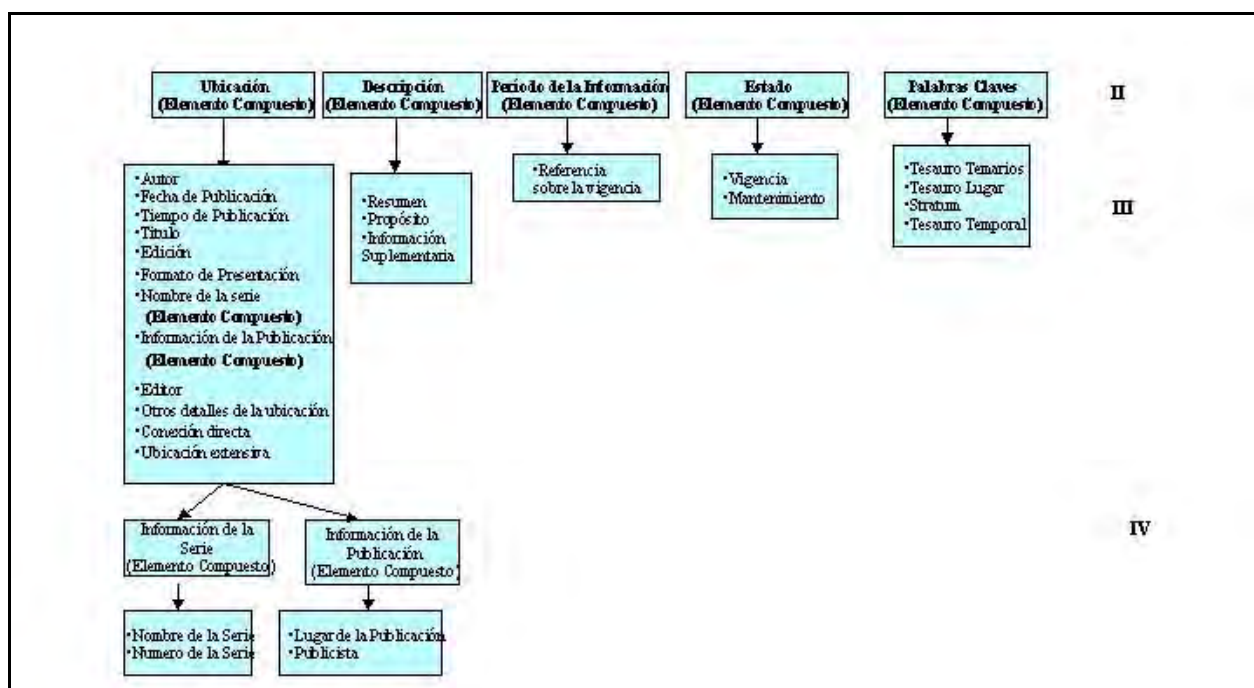


Figura 3- Niveles inferiores del Metadato en la Sección 1 Identificación.

A continuación se muestra como se describe cada elemento dato en el modelo conceptual con la idea de conformar con posterioridad las entidades y sus relaciones.



Autor

Tipo: Texto

Dominio: Texto Libre

Nombre corto: origin

Fecha de Publicación

Tipo Fecha

Dominio "No conocido", "Material No publicado", fecha libre

Nombre corto: fecpub

Modelo lógico de el Metadato

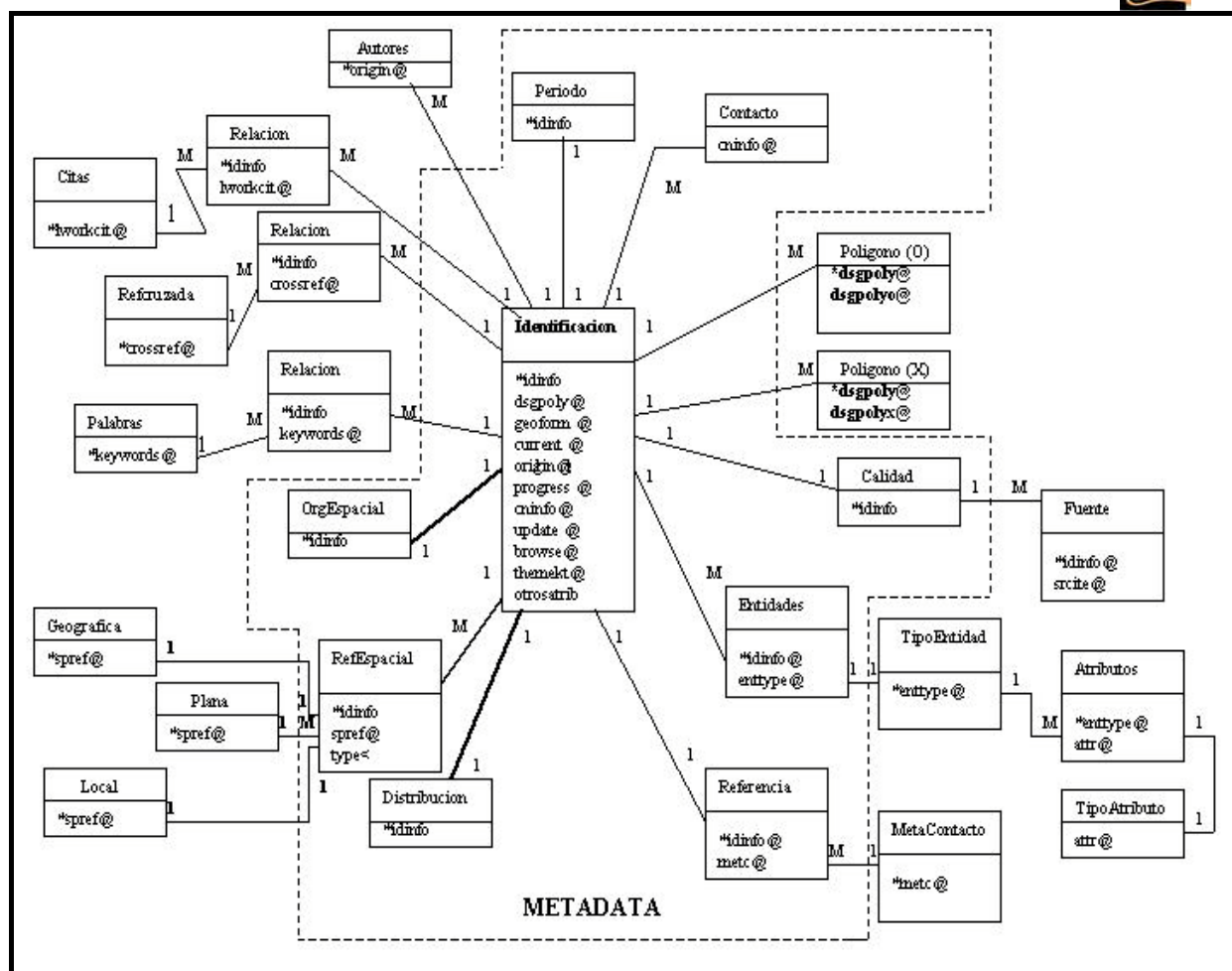
La conversión del modelo conceptual (descrito anteriormente) en tipos de registros que especifiquen como acceder a los datos es una de las funciones mas importante de modelo lógico brindado a través del diagrama entidad /relación.

Los datos deben tener determinados requerimientos para su almacenamiento (Hawryszkiewicz 1994), estos se establecieron en el diseño de la base de datos y definieron en el diagrama entidad / relación. La combinación lógica de la estructura de los registros de cada entidad y sus especificaciones para el acceso a los datos se muestran en la figura 4. Además de las entidades definidas, se muestran sus claves primarias (*idinfo) y externas (origin@) y los distintos tipos de relaciones establecidas en nuestro modelo de datos (1:1 uno es a uno y 1:M uno es a mucho y N:M muchos es a muchos) además de todas las especificaciones necesarias para una compresión preliminar del diseño de la estructura que servirá de sostén a los metadatos del sistema.

El éxito del trabajo con los metadatos pasa por la importancia de su estructuración en lo que pusimos énfasis para lograr flexibilidad y sentido abarcador que cumplan con las expectativas de los proveedores de datos (especialistas geólogos) y la comunidad de usuarios.

Entre los objetivos principales del SIGEOL (Sistema de Información Geológica de Cuba) se encuentra la de incluir en su Metabase de datos todos los productos geoespaciales geológicos temáticos con la idea de atender el reconocimiento enorme que tiene el formato digital y la tecnología de los SIG (Sistema de Información Geográfica) de crear de forma mas eficiente nuevos escenarios.

Es potestad de cada institución el establecer la política de manejo (administración) de sus metadatos así como el de las prioridades de los productos geoespaciales que ella provee. Teniendo siempre en cuenta un factor importante como el de compartir los datos con distintos usuarios (internos u externos), donde el factor de la estandarización juega un papel de gran importancia, para la interoperabilidad y comunicación en ese sentido se encamina el trabajo de nuestra institución.



Conclusiones

4- El metadato debe cumplir con su misión mas importante; que la comunidad de usuarios de forma rápida y eficiente conozcan sobre las características de la información que necesitan para su trabajo.



Bibliografía

Hawryszkiewicz I. T (1994) : Systems Analysis and Design. Third Edition. Pag. 321-367.
Norma Cubana NC-39-08-2.82 Del Sistema de Información y Documentación Bibliográfica.
Content Standard for Digital Geospatial Metadata. FGDC-STD-001-1998
Boletín Geológico y Minero de España, 2000, ISSN 0366-0176
Norma ISO/DIS 19115 del Comité Técnico 211. 2001



DISEÑO DE SIMBOLOGIA GEOLÓGICA PARA CUBA, EL ESTANDAR DE SIGEOL

Kenya Núñez Cambra, Willian Alfonso San Jorge, Adriana Rosa Romeu, Guillermo Pantaleón Vento, Enrique Castellanos, Dalia Carrillo Pérez, Bienvenido Echevarría Hernández.

Instituto de Geología y Paleontología. Vía Blanca s/n e/ Línea del Ferrocarril y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, Cuba, CP 11 000. Telef. (537) 557232, fax. (537)557004. e-mail: kenya@igp.minbas.cu

RESUMEN

El estandar contiene un catálogo con descripciones, ejemplos, especificaciones cartográficas, y notas de uso, para una gran variedad de símbolos, que pueden usarse en mapas geológicos digitales o los productos relacionados con él. Este estándar es escala-independiente, lo cual significa que los símbolos son apropiados para el uso en cartografía geológica publicada a cualquier escala. Ha sido creado un estándar de colores para las unidades litoestratigráficas acorde a la edad (según Léxico Estratigráfico de Cuba), (en CMYK y RGB); un estándar de tramado para algunas unidades litoestratigráficas, tipos de rocas (según Clasificación de Rocas para Cuba) y alteraciones minerales; incluye además una nueva anotación y color para las edades de la Tabla del Tiempo Geológico para Cuba.

La Introducción de esta norma cuenta con varios acápites informativos, orientaciones: **para el uso de los símbolos**, que provee de información sobre las distintas categorías de símbolos; **para el diseño de colores**, que provee información sobre la selección de colores y el uso de tramado; **para la anotación del mapa**, que provee recomendaciones para los textos del mapa. Una discusión técnica con respecto a la preparación de los estándares y sus aplicaciones en el formato CARIS. Se preparó una implementación de la misma en Microsoft Access para la manipulación de los datos.

Este estándar se aplica a cualquier información de mapa geológico publicada por el Instituto de Geología y Paleontología, tanto para copia-dura, como para salidas electrónicas.

ABSTRACT

The standard consists of a catalog with descriptions, examples, cartographic specifications and note of use, for a great variety of symbols that can be used in digital geologic maps or any products related with him. The standard contains geologic line and point symbols, geologic map-unit labels, colors and patterns and a geologic age symbol font. The standard is scale-independent, meaning that the symbols are appropriate for use with geologic mapping compiled or published at any scale. It is designed for use by anyone who either produces or uses digital geologic map information. A color standard for geological units according with their age was done (by Cuba's Estratigraphic Lexicon), (in CMYK and RGB), a pattern standard for rocks and some units (by Rock Classification of Cuba), a new annotation and color for geologic age of Geologic Time Table for Cuba was also done.

A few informational sections have been added to the introductory part of the standard. The section entitled "Guidelines for Symbol Usage" provides general information about some of the symbol categories in the standard. The section entitled "Guidelines for Color Design" provides useful information on color selection and the use of patterns. The section entitled "Guidelines for Map Labeling" provides recommendations on placement of text on a map. A technical discussion with regard to the preparation of the standards and their applications in the CARIS format was added.

This standard is applied to any geological information published by Geology and Paleontology Institute, digital and hard copy format.



Introducción

En los últimos años comenzó la adopción gradual de métodos basados en la cartografía digital, se hizo necesario entonces el desarrollo de nuevas normas que respondieran a los requisitos de la nueva tecnología, tanto en la producción digital de negativos para impresión, como en la preparación de archivos para plotter o para las publicaciones en sitios cartográficos. En respuesta al aumento de la utilización de la tecnología digital en la cartografía, acompañado de las dificultades que encierra la preparación de mapas digitales con calidad superior, se presenta este estándar de simbolización.

Este estándar se diseña para ser usado por cualquier institución que produzca o use la información de un mapa geológico digital. Pretende proveer a estas entidades en Cuba de un estándar único y moderno para la representación cartográfica digital de los rasgos geológicos. El objetivo es desarrollar normas nacionales para los símbolos de los mapas geológicos, los colores, el tramado y la anotación, para ayudar a proporcionar mapas y productos de mejor calidad y apariencia.

Materiales y métodos

Este estandar reemplazará cualquier otra norma cartográfica formal o informal para la información del mapa geológico en el IGP. En su preparación se revisaron varios mapas y normas cubanas e internacionales sin que se encontraran grandes conflictos: la Norma ISO número 710, Partes 1-7, la "Norma para la Realización del Levantamiento Geológico a Escala 1:50 000" del MINBAS, la norma Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization, del Comité Federal para Datos Geográficos (FGDC) del Servicio Geológico de Estados Unidos, otras. Esta última por considerarse una norma bastante completa y acorde con las internacionalmente utilizadas, se adoptó como guía principal para la confección de la presente.

Antecedentes

En los años 80 durante la Confección del Mapa Geológico de Cuba 1:250 000 geólogos cubanos de la Academia de Ciencias de Cuba, conjuntamente con geólogos de la Academia de Ciencias de Bulgaria y la Academia de Ciencias de la URSS, utilizaron la simbología que acordaron necesaria para la representación de los elementos geológicos del mapa, se tuvieron en cuenta normas soviéticas, internacionales y la experiencia personal de los grupos de trabajo. Dicho trabajo no estuvo normalmente disponible a otros productores de mapas geológicos, ni se reconoció formalmente como una norma de simbolización por la comunidad de geociencias de Cuba. En años posteriores durante los levantamientos geológicos 1:50 000 se creó una norma para la ejecución de los trabajos, la norma CAME del MINBAS. Esta norma CAME incluía en uno de sus tomos un gran número de símbolos para la representación gráfica de los elementos geológicos del mapa resultante, así como una serie de símbolos para los mapas de datos reales, perfiles geológicos, mapas geomorfológicos, entre otros. Esta norma fue utilizada ampliamente por los trabajos geológicos a todas las escalas a partir de ese momento y hasta la fecha para los mapas en copia dura o papel, muchos de los símbolos se mantuvieron para este estandar.

En los últimos años comenzó la adopción gradual de métodos basados en la cartografía digital, se hizo necesario entonces el desarrollo de nuevos estandares que respondieran a los requisitos de la nueva tecnología, para la preparación de mapas digitales con calidad superior, el IGP realiza esta propuesta de estandar de simbolización para someterla a discusión y adoptarla luego con carácter obligatorio.



Este estandar con relación a sus homólogos anteriores (la norma CAME para el levantamiento geológico) no incluye las especificaciones para la realización de los trabajos geológicos, solamente recoge la parte de simbolización geológica. En gran medida, no difiere de esta, se mantienen las descripciones, ejemplos, especificaciones cartográficas, y se agregan las notas para el uso de una gran variedad de símbolos que pueden usarse en mapas geológicos digitales típicos, así como el código de caracteres y numérico que lo identifica para la introducción en el sistema de información geológica. Además incluye a los productos relacionados, como los perfiles geológicos, columnas de pozos u otros. El número de símbolos aumentó con respecto a la anterior, así como su organización se hizo mas lógica, por temáticas o secciones acorde con el sistema del cual será parte el mapa geológico. En su adaptación al formato digital fue necesario tener en cuenta ejemplos de normas para la simbolización de mapas digitales, en tal caso esta nueva norma se apoyó en gran medida de la norma propuesta por el Comité Federal para Datos Geográficos (FGDC) del Servicio Geológico de Estados Unidos, la cual se considero bastante completa y abarcadora para la simbología de los mapas geológicos digitales.

Consecuentemente se han rediseñado muchos símbolos, respecto a la norma anterior, para sus facilidades digitales, particularmente las líneas, las cuales en este estandar saldrán con .15 mm de grosor, para los contactos y otros símbolos que usan como base una línea. Además se ajustaron los fragmentos y discontinuidades de las líneas discontinuas para que sus plantillas pudieran ser definidas fácilmente de forma electrónica. Fueron incluidos también símbolos para los yacimientos minerales con una nueva clasificación. Ha sido creado un estándar de colores a usar para las unidades geológicas según la edad, (en CMYK y RGB) para lo cual se implementó en CARIS un fichero .cma para la selección fácil de los colores del mapa. Además se creó un estándar de tramado para algunas unidades geológicas, tipos de rocas y alteraciones minerales. Se incluye además una nueva anotación y color para las edades de la Tabla del Tiempo Geológico para Cuba y las unidades del Léxico Estratigráfico de Cuba, así como la simbolización de las rocas de la Clasificación de rocas para Cuba

La Introducción cuenta con varios acápites informativos: Orientaciones para el uso de los símbolos, que brinda información sobre las distintas categorías de símbolos; Orientaciones para la asignación de color, que provee información sobre la selección de colores y el uso de tramado; Orientaciones para la anotación del mapa, que ofrece recomendaciones para los textos del mapa. Se preparó una implementación de la norma en Microsoft Access para la manipulación de los datos en el SIG.

Orientaciones para el uso de los Símbolos

Para la organización de los símbolos en el catálogo de símbolos, se utilizó un sistema de codificación basado en la división por temáticas dentro del sistema SIGEOL. Cada código de símbolo, sea lineal o puntual, está formado de tres partes fundamentalmente, una primera parte o raíz, una parte intermedia y una parte final. La primera parte o raíz del código corresponde con el tema, subtema o grupo respectivamente, los cuales aparecen especificados en la Tabla 1. La parte intermedia es específica para cada símbolo, tratando de utilizar caracteres propios del nombre del mismo en particular. La parte final de la codificación puede en los casos que fuera necesario, ser repetitiva, indicando la condición del símbolo. Tanto para la parte intermedia como para la final, se utilizaron algunos caracteres de forma sistemática, cuyo significado aparece en las Tablas 2 y 3. Cada símbolo en el catálogo de la norma contiene también un número de referencia que responde al tema, subtema y grupo al cual pertenece respectivamente, seguido de un consecutivo único para cada símbolo que sirve también de referencia dentro del sistema (Tabla 1).



Tabla 1. Caracteres y números temáticos utilizado para la codificación de los símbolos.

TEMATICAS	No. DE TEMA	CODIGO	DESCRIPCION
Geología		G	
Geología	301000	GG	Tema de Geología
Unidades Geológicas	301100	GGU	Unidades litoestratigráficas y litológicas, contactos, etc.
Contactos	301110	GGUC	Tipos de contactos entre unidades geológicas
Estratos guías	301120	GGUE	Símbolos de estratos guías
Diques	301130	GGUD	Tipo de diques
Anotaciones	301140	GGUA	Anotaciones en el mapa geológico, etiquetas de polígonos, indicadores, perfil geológico.
Etiquetas	301150	GGUE	Etiquetas de polígonos
Litología	301160	GGUL	Rocas sedimentarias, rocas volcánicas, rocas intrusivas y metamórficas.
Alteraciones	301170	GGUT	Alteraciones metamórficas, metasomáticas, endógenas y exógenas.
Localidades	301200	GGL	Estratotipos, afloramientos, fotos, etc.
Estratotipos	301210	GGLE	Ubicación de estratotipos
Afloramientos	301220	GGLA	Ubicación de afloramientos
Fotos	301230	GGLF	Localidades fotografiadas
Tectónica	302000	GT	Tema de Tectónica
Elementos Tectónicos	302100	GTT	Fallas, alineamientos, diaclasas, etc.
Fallas	302110	GTTF	Tipos de fallas
Alineamientos	302120	GTTA	Tipos de alineamientos
Diaclasas	302130	GTTD	Tipos de diaclasas
Elementos Estructurales	302200	GTE	Pliegues, estratificación, clivaje, foliación, lineaciones
Estratificación	302210	GTEE	Elementos de yacencia
Pliegues	302220	GTEP	Símbolos de pliegues
Clivaje	302230	GTEC	Tipos de clivaje
Foliación	302240	GTEF	Tipos de foliación
Lineaciones	302250	GTEL	Diferentes tipos de lineaciones minerales
Elementos Neotectónicos	302300	GTN	Epicentros, fisuras, hundimientos, escarpes de fallas, etc.
Epicentros	302310	GTNEP	Epicentros de terremotos según intensidad
Hundimientos	302320	GTNH	Rasgos de hundimientos por neotectónica
Escarpes de fallas	302330	GTNEF	Tipos de escarpes de fallas, fisuras o grietas neotectónicas
Tectónica de Placas	302400	GTP	Rasgos de la tectónica de placas
Fallas de placas	302410	GTPF	Falla de límites de placas
Cuencas	302420	GTPC	Límites de cuencas por tectónica de placas
Yacimientos	303000	GY	Tema de Recursos Minerales o Yacimientos
Recursos no-metálicos	303100	GYRNM	Recursos no-metálicos
Recursos metálicos	303200	GYRM	Recursos metálicos
Recursos combustibles	303300	GYRC	Recursos combustibles como petróleo y gas
Recursos hidrogeológicos	303400	GYRH	Recursos hidrogeológicos como agua mineromedicinales o térmicas
Concesiones Mineras	303500	GYCM	Concesiones Mineras



Geofísica	304000	GF	Tema de Geofísica
1500 x 1500 Todo	304100	GF1500	Aerogamaespectrométrico, aeromagnético y gravimétrico en una red 1500x1500
Gravimetría 1:100000	304200	GFG100	Gravimetría a escala 1:100000
500 x 500 Todo	304300	GF500	Aerogamaespectrométrico, aeromagnético y gravimétrico en una red 500x500
Gravimetría 1:50000	304400	GFG500	Gravimetría a escala 1:50000
Interpretación Geofísica	304500	GFI	Límites detectados por interpretaciones geofísicas
Límites y fallas	304510	GFILF	Límites y fallas interpretados por diversos métodos
Isolíneas	304520	GFII	Isolíneas de campo y de superficies interpretadas
Localidades geofísicas	304600	GFLOC	Localidades de estaciones o mediciones geofísicas
Paleontología	305000	GP	Tema de Paleontología
Fósiles	305100	GPF	Ammonites, Equinodermos, Rudistas, Vertebrados, etc.
Muestras Paleontológicas	305200	GPM	Muestras con determinaciones paleontológicas
Geoquímica	306000	GQ	Tema de Geoquímica
Determinaciones químicas	306100	GQDQ	Contenido de óxidos, elementos y tierras raras
Determinaciones al microscopio	306200	GQDM	Petrografía, mineragrafía y mineralogía
Otras determinaciones	306300	GQOD	Datación radiométrica, difracción de rayos X, análisis térmico, microsonda, microscopía electrónica, isótopos estables, relaciones isotópicas, inclusiones fluidas.
Interpretación Geoquímica	306400	GQI	
Límites de anomalías	306410	GQIL	Límites de anomalías
Isolíneas	306420	GQII	Isolíneas de contenido de elementos
Localidades geoquímicas	306500	GQLOC	Localidades de estaciones o mediciones geoquímicas
Geomorfología	307000	GM	Tema de Geomorfología
Fluvial y aluvial	307100	GMFA	Escarpes de terrazas, dirección de transporte de sedimentos, etc.
Lacustre y marino	307200	GMLM	Antiguas líneas de costa, barras, escarpes y terrazas marinas
Eólico	307300	GME	Dunas, depresiones eólicas, dirección de transporte de sedimentos
Deslizamiento de terreno	307400	GMD	Partes y dirección de deslizamientos
Volcánico	307500	GMV	Partes de elementos volcánicos
Fotogeología	308000	GA	Tema de Fotogeología
Otros Temas		OT	
Suelo	400000	OTS	
Uso de Suelo	500000	OTUS	
Vegetación	600000	OTV	
Grado de Estudio	700000	OTGE	Trabajos realizado contenido o no en metadatos

Tabla 2. Caracteres condicionales utilizados en la parte final de la codificación de los símbolos

CODIGO	DESCRIPCION
SE	Seguro
SU	Supuesto
IN	Inferido
CU	Cubierto



Tabla 3. Caracteres generales utilizados en la codificación de los símbolos

CODIGO	DESCRIPCION	CODIGO	DESCRIPCION
A	Anticlinal	IV	Invertido
AB	Abierto	M	Monoclinal
AF	Antiforma	P	Piso
AP	Apretado	PM	Pliegue menor
APX	Aproximado	PG	Primera generación
AS	Asimétrico	PROF	Profundidad
CO	Conocido	S	Sinclinal
CP	Complejo	SF	Sinforma
CV	Cráter volcánico	SG	Segunda generación
DE	Dirección desconocida	SP	Superficie
DP	Despegue	ST	Estrías
FC	Frontera cerrada	SV	Suave
FL	Fluvial	T	Techo
I	Isolínea	TO	Tercer orden
IC	Incompleto	VC	Volcada
ID	Indice	VI	Valores de intensidad
IT	Intermedia	Y	Yacencia

En un mapa geológico, los símbolos lineales pueden representar rastros de rasgos planos, como los contactos, fallas, o diques, o rasgos lineales como los límites. La exactitud de la localización y (o) la certeza de existencia de varios tipos de líneas se muestra gráficamente mediante el patrón de símbolo lineal en el mapa y se indica por la terminología que describe los tipos de símbolos siguiente:

Seguro (sólido)	el rastro se observó en el campo y con precisión se localizó
Supuesto (corto discontinuo)	el rastro se observó en el campo pero no puede localizarse con precisión
Inferido (largo discontinuo)	la existencia y situación del rasgo se infieren de una evidencia indirecta (métodos geofísicos, geoquímicos, fotogeológicos)
Cubierto (largo discontinuo con signo de ?)	el rastro se proyectó a la superficie desde abajo, en una unidad superficial mapeada, agua, etc.

Los contactos pueden usarse para mostrar los cambios de la litología abruptos o graduales. Las anotaciones y (o) las decoraciones de los símbolo lineales pueden agregarse para indicar, dónde se ha observado en el campo un rasgo en particular, como puede ser el hundimiento o la lineación.

A veces debido a la escasa aflorabilidad o la falta de accesibilidad, todos los contactos en un mapa pueden ser considerados como "supuestos". En estos casos puede ser mejor dibujar todos los contactos como líneas sólidas, no-discontinuas, pero describirlos como "contacto supuesto" en la explicación y (o) la base de datos.

El desplazamiento relativo a lo largo de las fallas se representa por los diferentes tipos de ornamentación de símbolo lineal que se usan. Algunos tipos de ornamentación están dentro del símbolo de la línea, como la flecha o diente uniformemente espaciado a lo largo de una falla de sobrecorrimiento. Se ponen otros tipos de ornamentación a lo largo de una falla para indicar el carácter general de ese segmento de la falla, como un "círculo y una barra" para mostrar el desplazamiento normal. Las anotaciones y (o) las decoraciones de símbolos lineales pueden



agregarse para indicar la existencia de un rasgo particular como el buzamiento o la lineación que se ha observado en el campo.

Una estructura de un pliegue puede representarse por el rastro de su superficie axial (su intersección con la superficie de la tierra) o los rastros de su línea de cresta (el punto más alto) y la línea de su hoyo (el punto más bajo). El rastro de la superficie axial se prefiere, pero pueden sustituirse por crestas o líneas del hoyo si lo especificó en la leyenda del mapa y (o) en la base de datos. En raros casos los dos pueden mostrarse, sólo si se documentó y explicó completamente.

Los símbolos puntuales pueden representar rasgos independientes, como resultado de una observación o rasgos múltiples observados en una localidad. También pueden usarse los símbolos puntuales para representar áreas generalizadas o grupos de puntos. Pueden combinarse los símbolos puntuales si es necesario. Si se combinan dos o más tipos de símbolos, un ejemplo de cada tipo debe mostrarse separadamente y debe describirse en la leyenda del mapa y (o) en la base de datos.

Orientaciones para la asignación del color

El objetivo de asignar colores es mejorar la legibilidad del mapa, así como elevar el significado de los datos presentados, ayudando a enfocar la atención en un rasgo del mapa en particular o en un grupo de rasgos. Los colores y el tramado no deben, sin embargo, ser tan visualmente dominantes, que distraiga o confunda el propósito del mapa. Una selección de color bien equilibrada puede mejorar la representación de la información científica grandemente.

El color se usa de forma diferente en los tipos de mapas diferentes. Por ejemplo, en los mapas geológicos, el color está principalmente determinado por la edad y tipo de roca, aunque otras reglas pueden ser necesarias para mapas que representan sólo un grupo de edad o un tipo de roca. Además, algunas unidades del mapa, debido a su importancia geológica o económica, pueden necesitar ser resaltadas.

Siempre que sea posible, los colores para las edades y tipos de rocas en los mapas geológicos deben seguir el esquema presentado por este estándar para la edad estratigráfica y según la clasificación de rocas.

En mapas que cubren un rango ancho de edades y tipos de rocas, las relaciones entre las rocas dentro de un grupo de la misma edad puede mostrarse usando colores similares, considerando que las relaciones entre el mismo tipo de roca en los grupos de edad diferentes pueden ser mostradas usando los tramados (por ejemplo, las rocas volcánicas pueden tener el mismo tramado de "v"). Deben usarse los tramados con discreción, su uso puede crear una apariencia demasiado recargada; sólo úselos cuando la complejidad del mapa requiera la diversidad que se logra con el uso del tramado.

Aunque es preferible seguir las pautas mencionadas, algunos tipos de rocas desafían tales pautas porque ellas se han mostrado tradicionalmente de un color en particular. Por ejemplo, las serpentinitas y otras rocas ultramáficas característicamente se muestra en color violeta o morado, así como los granitoides en tonos de rojo.

En general, deben mostrarse las áreas pequeñas del mapa en colores más oscuros y las áreas grandes debe mostrarse en colores claros. Una excepción a esto puede estar en las situaciones donde se muestran numerosas franjas pequeñas de unidades del mapa; en este caso puede ser mejor alternar colores claros y oscuros. En el caso de unidades que tienen tanto, áreas



grandes como pequeñas, agregue las anotaciones y plecas a las unidades más pequeñas para evitar la confusión.

Un contraste adecuado mejora la legibilidad del mapa. Un factor importante no es tanto la diferencia en matices de color, como el azul o verde, sino la diferencia en la intensidad del color. El contraste no debe, sin embargo, ser tan grande que sea brillante, pero debe ser significativamente suficiente para una legibilidad más fácil. Deben asignarse a las unidades que necesitan ser resaltadas un color que destaque y contraste bien con los colores de unidades menos importantes. Además, el contraste mayor se requiere para las áreas pequeñas, considerando que un contraste más sutil es suficiente para las áreas más grandes.

Los valores de color deben ser lo bastante altos que proporcionen el contraste adecuado, pero no tan grande que ello provoque que la anotación de la unidad, los símbolos y la base topográfica no se vean claramente. Exceptuando en las áreas pequeñas, deben usarse el magenta y el cian en las intensidades de 50% o menos. Una intensidad mayor de cian podría disimular los rasgos del drenaje (normalmente mostrado en el cian), y una intensidad mayor de magenta podría disimular los rasgos estructurales de los pliegues en magenta. Como una regla general, use una combinación de valores de color que, cuando sume, la suma sea de 100 o menos (por ejemplo, 30% cian/40% el magenta/20% amarillo; $30/40/20 = 30+40+20 = 90$). Para mantener bastante contraste entre dos colores, intente guardar un 20% de diferencia por lo menos entre uno de los valores de color (por ejemplo, 30% cian/8% el magenta/20% amarillo y 50% cian/8% el magenta/20% amarillo). Un porcentaje pequeño (8% o 13%) de negro a veces puede agregarse para crear mas combinaciones de colores.

Los tramados pueden crearse en negro, a color o como efecto de transparencia o atenuación del color. Idealmente, deben usarse los tramados dispersos y sólo cuando es necesario para el entendimiento, ya que ellos pueden agregarle complejidad innecesaria a un mapa. Para seleccionar los tramados apropiados para un mapa, ambos el tipo de roca y el tamaño y (o) la orientación de las áreas del mapa deben ser consideradas.

Aunque existe un poco de flexibilidad en el uso de tramados, algunas tramas son tradicionalmente y exclusivamente usadas en determinado tipo de roca con toda seguridad: por ejemplo, se usa el tramado "+" para las rocas plutónicas, y los tramados de "v" irregular representan las rocas volcánicas. Para unidades que sólo están presentes en áreas pequeñas, un tramado denso y al azar encajará mejor. Hay que tener cautela, sin embargo, al escoger tramados metamórficos que despliegan una direccionalidad fuerte, porque su uso puede implicar una orientación general de la fábrica metamórfica que en la realidad es mucho más variada de lo que el tramado puede indicar.

Orientaciones para la anotación y etiquetado del mapa

Las anotaciones de las unidades litogeológicas son las notas más comunes en los mapas geológicos. Otras anotaciones pueden ser incluidas, como la información del mapa-base, los nombres de rasgos, y la acotación de los datos como los ángulos de buzamiento, las concentraciones de elementos, profundidades de los pozos, las edades radiométricas, y números de localización de muestra. Antes del uso de tecnologías digitales para la cartografía, los rótulos y plecas fueron puestos manualmente, dibujándolos. Hoy día, usando las técnicas de la cartografía digital, pueden crearse los apuntes de la información, automáticamente de una base de datos; sin embargo, esto produce a menudo la sobreimpresión de los mismos a otros rasgos del mapa, requiriendo entonces que fueran reubicados interactivamente o anulados. Sin



tener en cuenta el método empleado, la colocación eficaz de la anotación, es un factor importante en la producción de un mapa útil.

Para ser leído fácilmente, deben ponerse las anotaciones y placas del mapa en los lugares donde ellos sean claros y legibles, teniendo cuidado no sobrescribir otras notas o rasgos del mapa. Ellas no deben crear una apariencia muy cargada o desordenada, que haga difícil de discernir los rasgos y tramados del mapa, así como la distribución de todos los elementos del mismo. Deben anotarse suficientes rasgos, de modo que el lector pueda identificar todos los diferentes elementos del mapa; ningún trazo sin anotar debe dejarse a la estimación del lector.

Deben ponerse las anotaciones y placas cuidadosamente para evitar sobreimpresiones en las líneas, símbolos, u otras anotaciones y etiquetas. Ellas no deben disimular otros elementos del mapa o no deben hacerlos difícil de leer, ni ellas deben disimular rasgos del mapa-base que se mencionan en el texto o que sean útiles para localizar los lugares en el mapa.

Para la confección de los mapas digitales se debe utilizar una etiqueta para cada polígono durante la topología, la misma funcionará como llave del polígono, en su enlace con las bases de datos del sistema. Esta se colocará en el centro del polígono correspondiente, de tamaño muy pequeño y de forma tal que sea transparente para el lector.

Conclusiones

El estándar contiene un catálogo con descripciones, ejemplos, especificaciones cartográficas, y notas de uso, para una gran variedad de símbolos, que pueden usar en mapas geológicos digitales o los productos relacionados con él. Este estándar es escala-independiente, lo cual significa que los símbolos son apropiados para el uso en cartografía geológica publicada a cualquier escala. Ha sido creado un estándar de colores para las unidades litoestratigráficas acorde a la edad (según Léxico Estratigráfico de Cuba), (en CMYK y RGB); un estándar de tramado para algunas unidades litoestratigráficas, tipos de rocas (según Clasificación de Rocas para Cuba) y alteraciones minerales; incluye además una nueva anotación y color para las edades de la Tabla del Tiempo Geológico para Cuba.

Este estándar se aplica a cualquier información de mapa geológico publicada por el Instituto de Geología y Paleontología, tanto para copia-dura, como para salidas electrónicas.

Bibliografía

- F. J. Hartzer. 2000. Geology of Transval Inliers in the Bushveld Complex. Memoir. 1:100 000. Geological Survey of South Africa. Council for Geoscience.
- Federal Geographic Data Committee, 2000. Public Review Draft. Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization. Geologic Data Subcommittee. April 2000. US Geological Survey.
- ISO-710-1. 1974: Graphical symbols for use on detailed maps, plans and geological cross-sections – Part 1-7:
- M.J. Jackson, M.D. Muir and K.A. Plumb. 1987. Geology of the Abner Range Region. 1:100 000. Department of Resources, Geology and Geophysics. Bulletin 220. Australian Government Publishing Service, 1987 . (S-0234)
- Mapa geológico de Cuba 1:250 000. Academia de Ciencias de Cuba, IGP y AC URSS. 1988.
- Mawer, C.H. 1999. *Cartographic standard geological symbol index. British Geological Survey Research Report, RR-99-05. version 2.0*
- NC 44-39, 1985 Minerales. Rocas sedimentarias. Símbolos litológicos.
- Norma para la realización del levantamiento geológico a escala 1:50 000, 2da Parte. MINBAS.



CALIDAD Y ESTANDARIZACIÓN EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA DE CUBA (SIGEOL).

Bienvenido Echevarría Hernández, Enrique Castellanos Abella, Dalia Carrillo Pérez, Kenya Nuñez Cambra.

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana, email: bienvenido@igp.minbas.cu

RESUMEN

Con el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información, a nivel mundial se ha desatado una carrera por lograr poner a disposición de un público cada vez mayor la información geoespacial que clásicamente se manejaba a través de mapas en papel.

La tecnología SIG trajo una nueva forma de ver los mapas ya conocidos al crear nuevos escenarios a través de la combinación de los mismos por medio de uno u otro procedimiento analítico. Este desarrollo ha traído cambios sustanciales a la hora de realizar la venta de los productos elaborados o a la hora de responder a las solicitudes de los clientes de cualquier naturaleza o ámbito.

Ante esta situación la problemática que se nos presenta, está en primer lugar relacionada con la calidad y veracidad de la información que se entrega, que implica para lograrla la utilización de normas o la estandarización de los procedimientos realizados, desde la recogida de los datos en el terreno, el proceso de captura del dato, el almacenamiento (precisión numérica y espacial), el procesamiento a que es sometido el dato, la salida cartográfica y finalmente el uso que el especialista hace del resultado.

Cada uno de los enunciados anteriores son momentos en los que se generan errores, por lo que la solución de los mismos está en una debida implantación de un sistema de calidad que resuelva las incongruencias posibles, de ahí que se plantee la estandarización del modelo de datos geológicos, el metadato geoespacial (información del mapa que surge como consecuencia de la aparición de las versiones digitales), la simbología, la tabla geocronológica, la infocartografía, el léxico estratigráfico y la nomenclatura de rocas y minerales, así como la debida actualización de los estándares propuestos..

Se presenta en este trabajo el modelo de organización del estándar institucional adoptado en el SIGEOL, para la confección de las bases de datos, sobre el principio de la necesidad de preparación de un estándar de contenido.

Para lograr la expectativa de calidad planteada se necesita de un cambio total en el enfoque del problema a nivel organizacional, un salto cualitativo en el pensamiento de los ejecutivos y especialistas, así como una cultura en el manejo de la información geoespacial (SIG) para esto el proyecto SIGEOL, expone una estructura organizacional - funcional para la obtención de estos objetivos de calidad y de estandarización.

Los retos para el futuro es lograr la interoperabilidad entre los trabajos realizados por especialistas de una institución, distintas instituciones, o de otros países para lo cual se plantea el problema del empleo de distintas plataformas SIG, el empleo de distintos estándares en SIG similares, y las diferencias legales, económicas e institucionales, todo lo que lleva a poner a debate el tema de la calidad y la estandarización en el camino de obtener una web espacial global.



SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS PARA CUBA. PROPUESTA PARA LAS ROCAS VOLCÁNICAS.

Lilavatti Díaz de Villalvilla Carbó⁽¹⁾, Mercedes Torres La Rosa⁽¹⁾, Iris Méndez Calderón⁽²⁾, Bienvenido Echevarría Hernández⁽¹⁾.

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca s/n e/ Línea del Ferrocarril y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad de La Habana E-mail: lila@lacemi.cu

(2) Empresa Geominera Oriente, Alturas de San Juan, Carretera Siboney Km2 ½ Santiago de Cuba, E-mail: geolab@stg.minbas.cu

RESUMEN

Con vista al diseño del Sistema de Información Geológica para Cuba (SIGEOL), escala 1:100 000, se elaboró también una propuesta de Sistema de clasificación de rocas para Cuba. La propuesta fue elaborada por especialistas del IGP, en colaboración con otras instituciones, utilizando las clasificaciones internacionales de más amplio uso y aceptación en la actualidad por la comunidad científica.

El objetivo general es su presentación y discusión en la Mesa Redonda del SIGEOL, conocer experiencias de otros colegas en este sentido, y lograr mediante el debate un consenso que en lo posible facilite estandarizar el Sistema de Clasificación de Rocas para Cuba.

En particular se somete a discusión la propuesta de clasificación para las rocas volcánicas. Se siguen preferentemente las recomendaciones de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas para la Sistemática de las Rocas Igneas (Le Maitre, 1989), aunque se han tomado en cuenta algunos cambios de estos esquemas realizados por el Servicio Geológico Británico (Gillespie and Styles, 1999).

La clasificación es principalmente descriptiva, no genética, utilizando criterios básicos como composición y textura, estableciéndose los niveles jerárquicos correspondientes y las sinonimias necesarias, desechando términos obsoletos y refiriéndose generalmente a las últimas versiones de aceptación internacional.

Se hace énfasis en el grupo de "rocas volcanoclásticas y sedimentos", por ser uno de los más controvertidos y polémicos, sobre todo en el territorio cubano, donde han trabajado geólogos de procedencia muy variada y con pertenencia a diferentes escuelas, con distintos enfoques.

ABSTRACT

Regarding the design of the System of Geologic Information for Cuba (SIGEOL), scale 1:100 000, it was also elaborated a proposal of System of classification of rocks for Cuba. The proposal was elaborated by specialists of the IGP, in collaboration with other institutions, using the international classifications of wider use and acceptance at present for the scientific community.

The general objective is its presentation and discussion in the Round Table of the SIGEOL, to know other colleagues' experiences in this sense, and to achieve by means of the debate a consent that facilitates to standardize the System of Classification of Rocks for Cuba.

In particular discussion of the classification proposal for the volcanic rocks is carried out. The recommendations of the International Union of Geologic Sciences for the Systematic of the Igneous Rocks (Le Maitre, 1989), are preferably followed, although some changes of these outlines carried out by the British Geologic Service (Gillespie and Styles, 1999), have been taken into account.

The classification is mainly descriptive, not genetic one, using basic criteria as composition and texture; so establishing the corresponding hierarchical levels and the necessary synonymies, rejecting obsolete terms and generally referring to the last versions of international acceptance.

Emphasis is made on the group of "volcanoclastic rocks and sediments", because it is one of the most controversial and polemic, mostly in the Cuban territory, where geologists of very different origin have worked and belonged different schools, with different approaches.



Introducción

Especialistas del Instituto de Geología y Paleontología en colaboración con otras instituciones vienen trabajando durante los últimos meses en una propuesta de sistema de clasificación de rocas para Cuba, con el propósito de contribuir a la estandarización de la nomenclatura de las rocas cubanas.

El objetivo del trabajo es la presentación y discusión en la Mesa Redonda del Sistema de Información Geológica para Cuba (SIGEOL) de la parte de esta clasificación que concierne en particular a las rocas volcánicas y volcanoclásticas. El debate permitirá conocer opiniones y experiencias de diferentes colegas en este sentido y lograr mayor participación y consenso en la elaboración del documento estándar.

La clasificación petrográfica es un instrumento básico para el estudio de cualquier roca volcánica en los diferentes trabajos e investigaciones geólogo-mineras, por lo que hablar un lenguaje común y actualizado sobre este tópico es de primordial importancia para los geólogos cubanos.

Materiales y métodos

Para conformar la propuesta de clasificación de rocas volcánicas y volcanoclásticas para Cuba y del glosario de términos aprobados se utilizaron preferentemente: Los materiales propuestos por Strekeisen de diferentes años (1967, 1978) y las recomendaciones de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) para la Sistemática de las Rocas Ígneas (Le Maitre, et al, 1989), que tienen amplio consenso internacional. Se complementaron con algunos materiales como la publicación de Le Bas et al, 1986; y con acuerdos y resultados de Reuniones de Trabajo de la Subcomisión de Sistemática de las Rocas Ígneas de la IUGS para determinados aspectos, como la circular Nº 38 (1983), que se pronunció acerca del diagrama TAS (total alkali-silica diagram). En el caso de las rocas piroclásticas se consultó también el trabajo de Schmid, R., 1981, entre otros. En general fue de gran utilidad el Esquema de Clasificación de Rocas del Servicio Geológico Británico (BSG). Volumen 1: Clasificación de Rocas Ígneas de M. R. Gillespie and M. T. Styles, (1999); así como el libro "Fundamentos de Petrografía" de R. Castroviejo, 1998, por ofrecer un compendio sistemático y actualizado de criterios y cuadros de clasificación.

Se aplica la metodología sistemática para la clasificación de las rocas ígneas, en particular de las rocas volcánicas, propuesta por la IUGS (Le Maitre, et al, 1989) que reconoce criterios básicos como composición modal y textura para una clasificación descriptiva y no genética. Si la composición modal es imposible de determinar debido a la presencia de vidrio o a causa del grano fino de la roca, entonces se utiliza el criterio de composición química, tal como aparece en el diagrama TAS y otros gráficos complementarios.

Se brinda, de manera simple, una panorámica general de las clasificaciones de más amplio uso y aceptación en la actualidad por la comunidad científica internacional, estableciéndose los niveles jerárquicos correspondientes y las sinonimias necesarias, considerando en lo posible la tradición histórica y aceptación de los términos por la mayoría de los petrógrafos cubanos, desechando términos obsoletos y aprobando generalmente las últimas versiones de aceptación internacional.



Resultados y discusión

Del análisis realizado sobre los niveles jerárquicos más altos en las clasificaciones propuestas por la IUGS (Fig. 1) y por el Servicio Geológico Británico (Fig. 2) para las rocas ígneas en general y para las volcánicas y piroclásticas en particular, se propone aceptar para el Sistema de clasificación de las rocas cubanas el esquema que considera la IUGS pero con la sustitución del grupo de "Rocas piroclásticas y tefra" por el de "Rocas volcanoclásticas y sedimentos" del Servicio Británico (Fig. 3).

En lo concerniente a las rocas volcánicas, se recomienda emplear los términos: riolita alcalina (o riolita de feldespato alcalino), riolita, riodacita, dacita, traquita alcalina (o traquita de feldespato alcalino), traquita, traquita alcalina de cuarzo (o traquita de cuarzo y feldespato alcalino), cuarzo traquita, andesita y basalto, correspondientes a los campos 2, 3a, 3b, 4, 5, 6, 6*, 7, 7*, 9, 10 del triángulo superior QAP (fig.4) de A. Streckeisen, 1967, 1976; Le Maitre, 1989. Estos tipos de rocas han sido diagnosticados y clasificados por geólogos y petrógrafos estudiosos de las rocas cubanas, basándose en la composición modal, índice de color y texturas; no ocurriendo así con rocas correspondientes a campos del triángulo inferior APF (fig. 4) que, en algunos casos, han sido reportadas por composición química y no modal (traquitas con foides, basanita, tefrita, basanita y tefrita fonolítica). Igualmente requiere más debate, para lograr consenso, la utilización de los términos latita y cuarzolita que se corresponden con los campos 8 y 8*. Siguiendo las recomendaciones de la IUGS, para las rocas volcánicas de grano fino o con vidrio se utilizan los diferentes diagramas de clasificación por composición química, fundamentalmente el TAS (total alkali-silica) con otros complementarios, que definen los términos basalto picrítico, basalto, andesita basáltica (o andesito basalto), andesita, dacita, riolita, traquibasalto, traquiandesita basáltica (o traquiandesito-basalto), traquiandesita, traquita, traquidacita, boninita, y otros, que también se incluyen en el glosario propuesto para Cuba. Requieren más discusión y análisis para lograr consenso, antes de incluirlos en el glosario para Cuba, algunos términos como basanita, tefrita, fonotefrita, latita, shoshonita, entre otros.

En el glosario se hacen las aclaraciones pertinentes sobre los nombres generales (o de raíz) para las rocas y los prefijos o calificativos a utilizar para complementarlos o precisarlos.

Se recomienda no emplear el término dolerita y que permanezca el de diabasa, de mayor aceptación y tradición en la geología cubana. Se sugiere utilizar el término riolita y desechar el de liparita. Se sugiere usar el calificativo de pórfido para aquellas rocas de yacencia subvolcánica, independientemente de su composición, por ejemplo pórfido andesito-dacítico.

Para las rocas con textura piroclástica, en primer lugar debe establecerse la proporción de componentes piroclásticos con relación a los sedimentarios, distinguiéndose así las rocas piroclásticas (s. str.), tufitas y rocas epiclásticas o volcanoclásticas, según diferentes autores.

Para este grupo de rocas se propone utilizar los esquemas propuestos por la IUGS y en el caso de las rocas que presentan mezcla piroclasto-sedimentaria, con más del 10% de fragmentos volcánicos, emplear el de las rocas volcanoclásticas del Servicio Geológico Británico que brinda más información y precisión. Se enfatiza en los rangos de los contenidos del material piroclástico aprobados para tobas, tufitas y rocas epiclásticas y volcanoclásticas (IUGS; BSG), ya que durante muchos años en Cuba se utilizó la clasificación de la escuela rusa que establecía rangos diferentes para el contenido del material piroclástico, en estos tipos de rocas.

Se propone aceptar para las rocas del grupo genérico de las tufitas, el calificativo de tobáceo y no tufítico.



Se aceptan en la clasificación y en el glosario como términos independientes los de ignimbrita, hialoclastita, brecha volcánica, entre otros.

Conclusiones

La recomendación de clasificación para las rocas volcánicas y volcanoclásticas, que se somete a debate en la Mesa Redonda del SÍGEOL, forma parte de la propuesta integral de Sistema de clasificación de rocas para Cuba.

Esta propuesta sigue las recomendaciones de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS, 1989), con algunos cambios sugeridos por el Servicio Geológico Británico (BGS, 1999). Se establecen los niveles jerárquicos de clasificación correspondientes, así como las sinonimias y términos obsoletos.

Se acompaña de un glosario con las definiciones de los términos de las rocas volcánicas y volcanoclásticas recomendados para Cuba, considerando en lo posible la tradición histórica y la aceptación de los términos por la mayoría de los estudiosos de las rocas cubanas.

El documento será circulado para su crítica y enriquecimiento con las opiniones y experiencias de otros colegas, promoviendo consenso en los aspectos técnicos que se discuten.

La clasificación contribuirá a la estandarización de la información geológica de Cuba, facilitando un lenguaje común y la actualización de los geólogos del Servicio geológico nacional en estos importantes tópicos de nomenclatura y clasificación de las rocas cubanas.

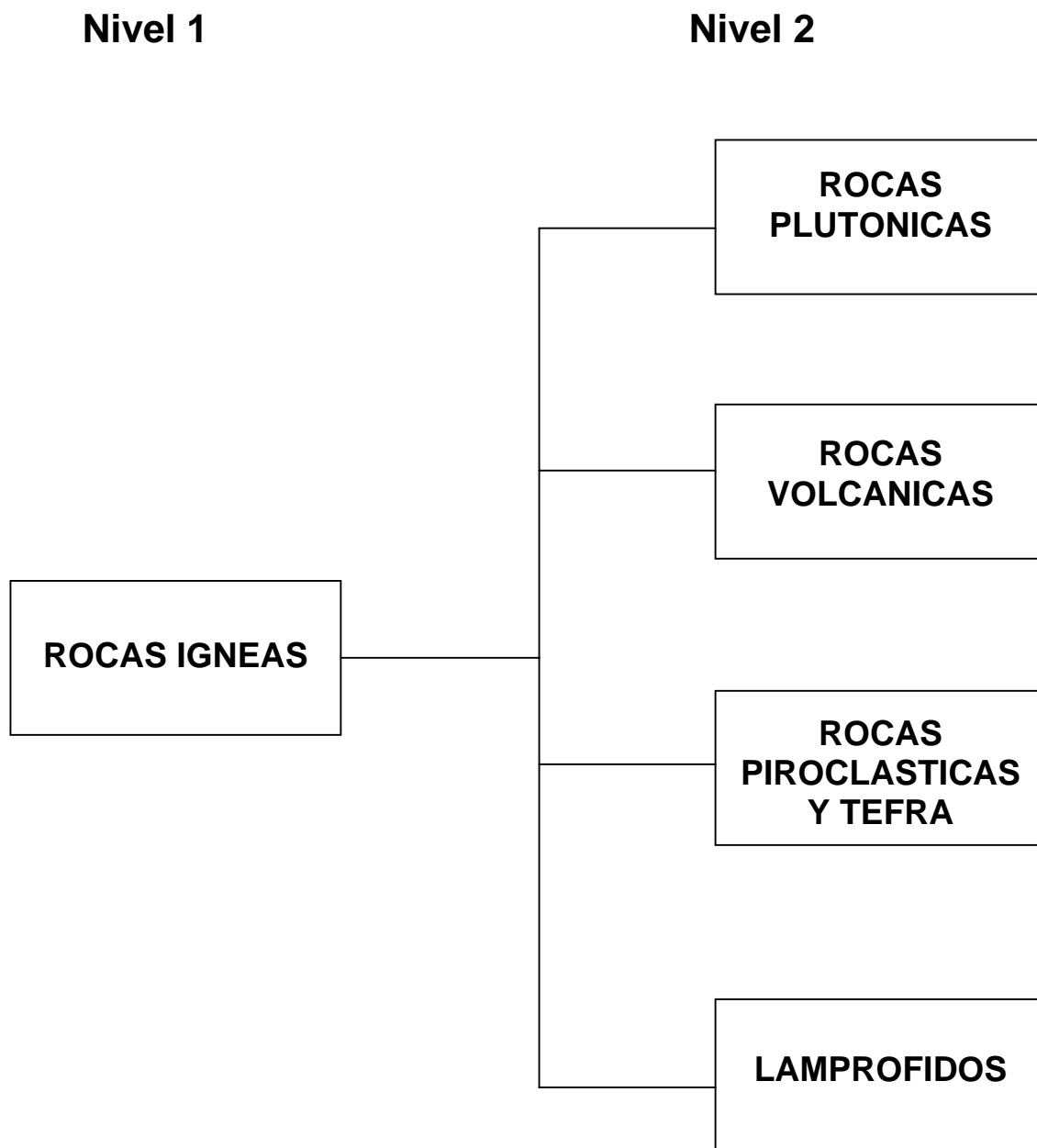


Fig. 1 Clasificación de la IUGS (Le Maitre, et al, 1989)

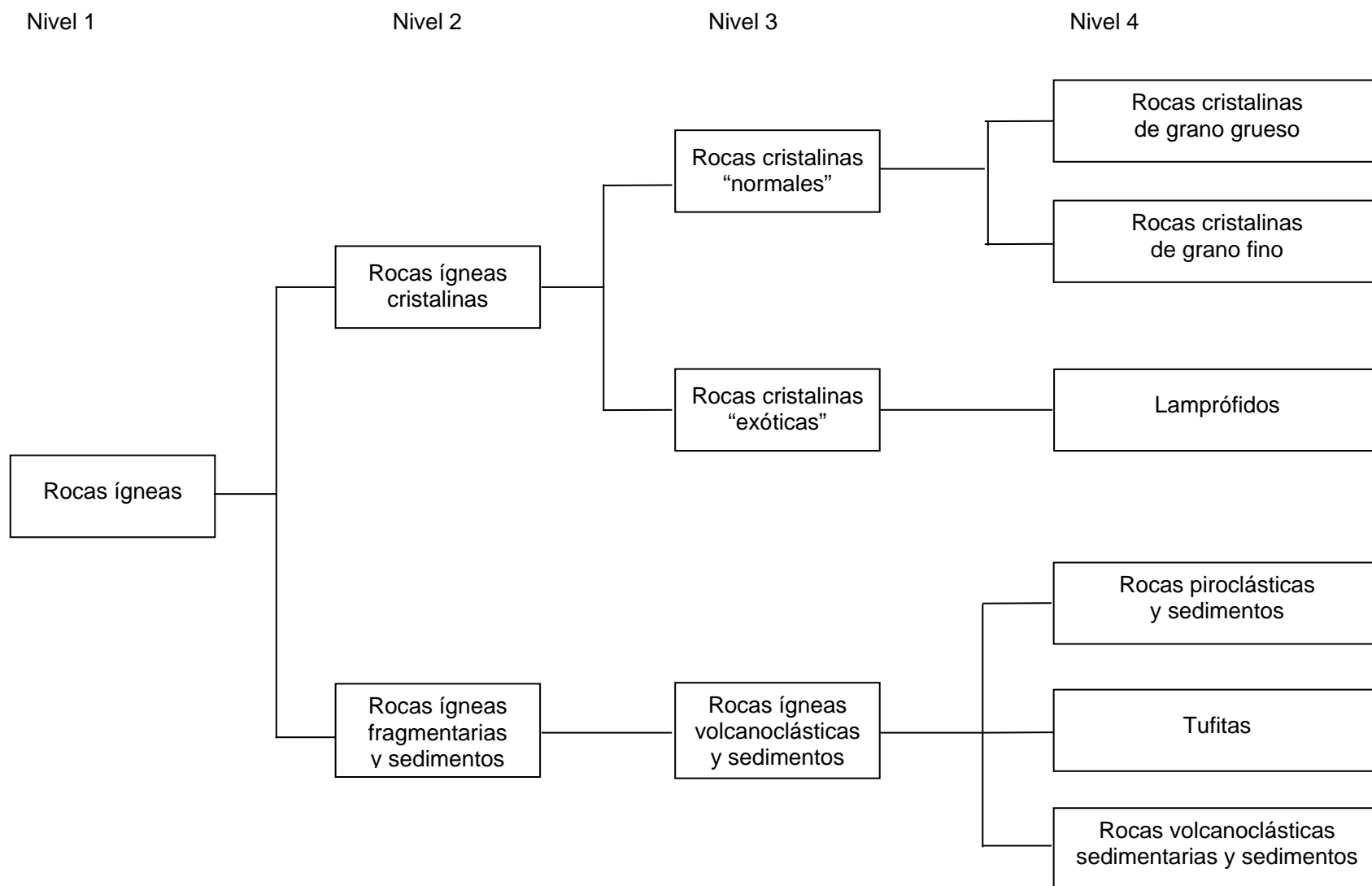


Fig. 2 Clasificación del Servicio Geológico Británico (Gillespie y Styles, 1999)

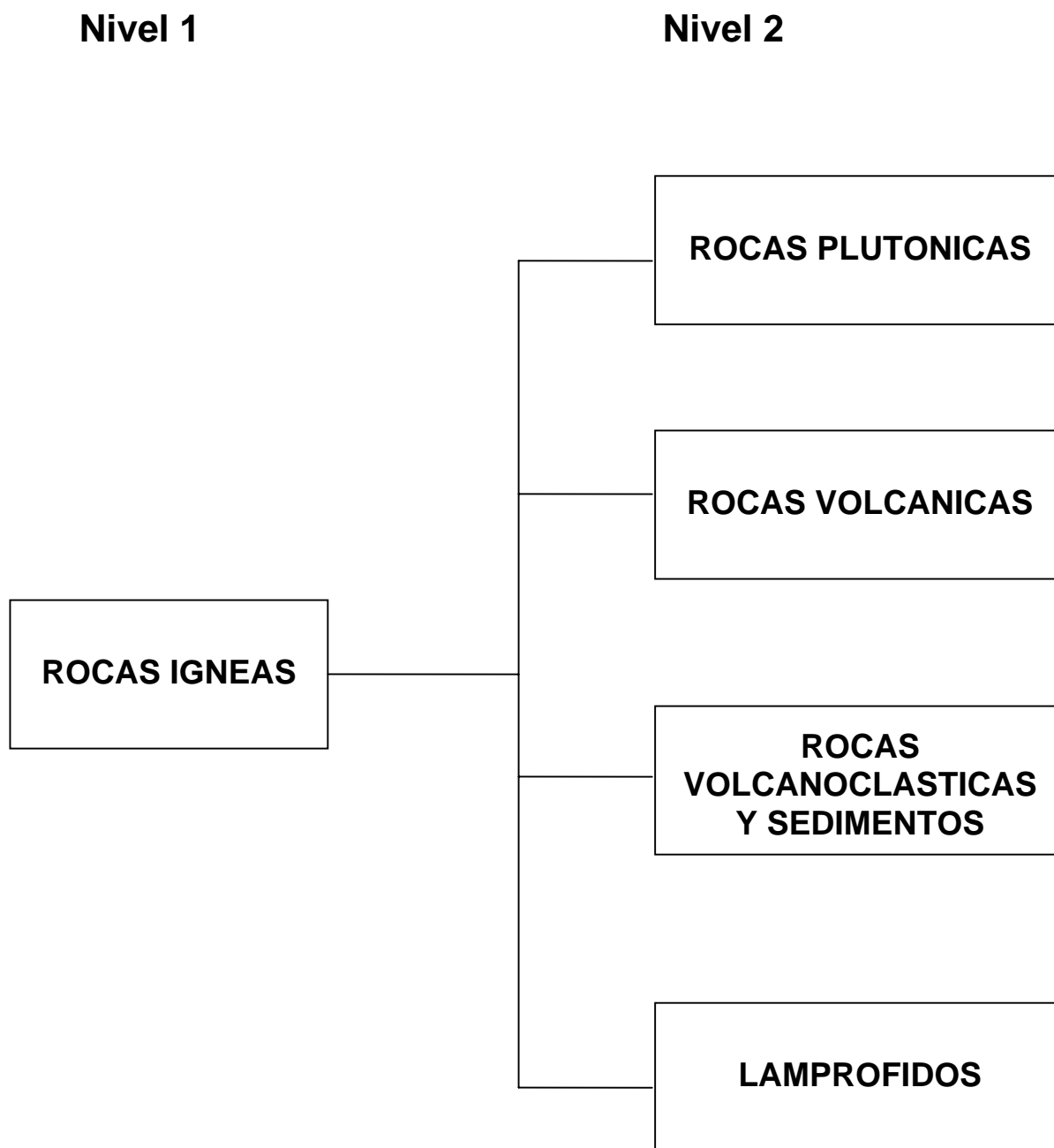


Fig. 3 Esquema para las rocas cubanas

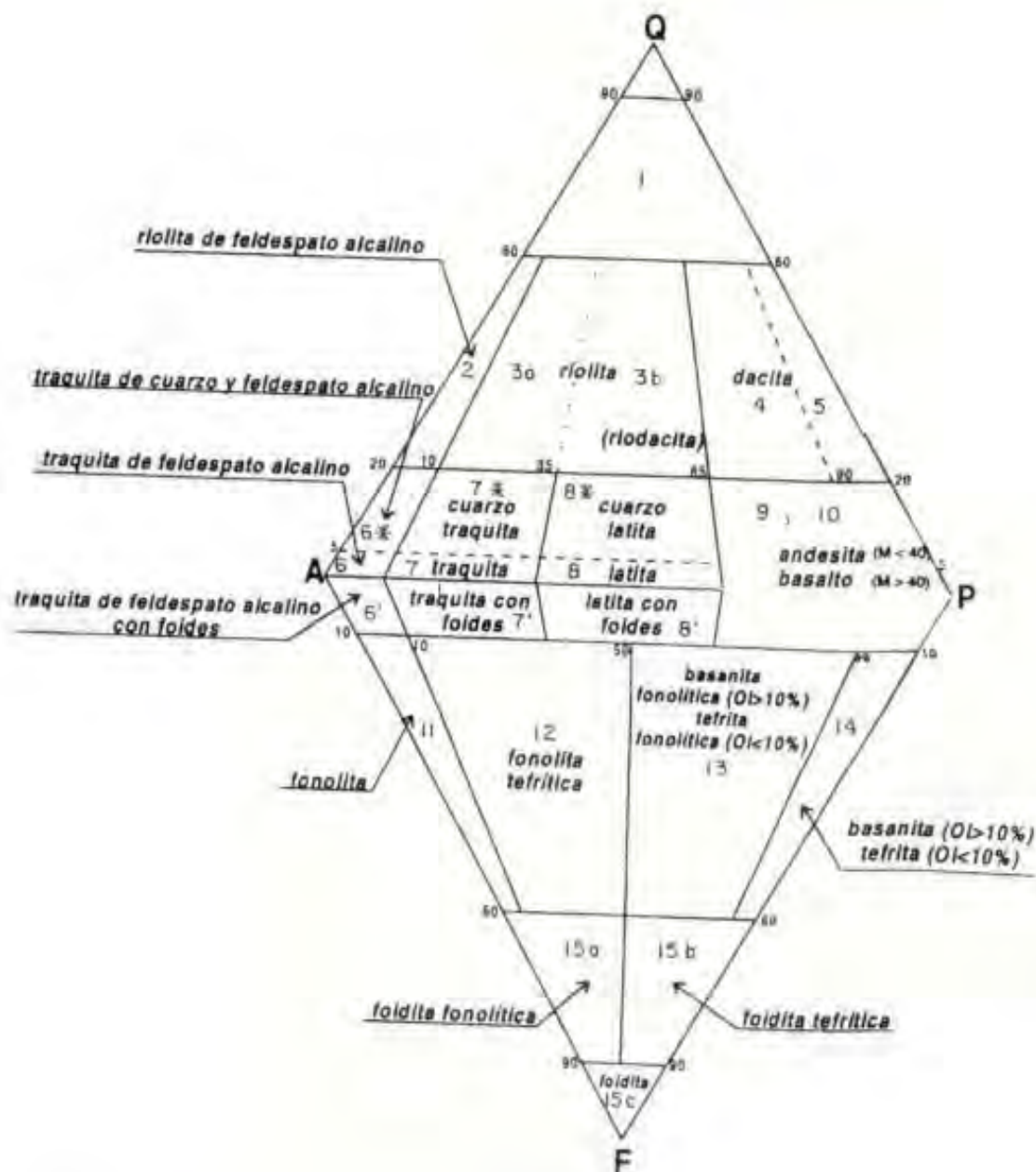


Fig. 4 CLASIFICACIÓN Y NOMENCLATURA DE ROCAS VOLCÁNICAS USANDO EL DIAGRAMA QAPF (basado en Streckeisen, 1976) SEGÚN RECOMENDACIÓN DE LA IUGS (Le Maitre, 1989)



Referencias bibliográficas

- Castroviejo, R., 1998. Fundamentos de Petrografía, E.T.S. ING. MINAS, Universidad Politécnica de Madrid
- Gillespie, M. R., M. Styles, 1999. BGS Rock Classification Scheme. Vol.1. Classification of igneous rocks. British Geological Survey Research Report, (2nd edition). RR 99-06
- IUGS-Subcomission on the systematics of igneous rocks 1983 Circular 38: Meeting of the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks held in the Department of Petrology in the University of Granada (Spain) on 4th - 8th septembre 1983
- Le Bas, M. J., R. W. Le Maitre, A. Strekeisen y B. Zanettin, 1986. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Álcali-Silica Diagram. Journal of Petrology. Oxford. Vol. 27, p.745-750
- Le Maitre, R. W., editor, 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences. Blackwell Scientific Publication.
- Schmid, R., 1981. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS. Geology. The Geological Society of America Boulder. Vol. 9, p. 41-43.
- Strekeisen, A., 1967. Classification and Nomenclature of Igneous Rocks (Final Report of an Inquiry). Vol. 107, p.144-214
- Strekeisen, A., 1976. IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilite Rocks. Recommendations and Suggestions. Neues Jahrbuch für Mineralogie. Stuttgart. Abhandlungen. Vol. 143, p.1-14



SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE ROCAS SEDIMENTARIAS PARA CUBA.

Iliana García Cádiz⁽¹⁾, Carlos Morales Echevarría⁽²⁾, Rafael Segura Soto⁽³⁾.

(1) Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Carretera Central, San Miguel del Padrón, Ciudad Habana, Cuba, CP 11 000. E-mail: iliana@lacemi.cu

(2) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, esq. a Churrucá, Cerro, Ciudad Habana, Cuba, CP 12 000. E-mail: cmorales@ceinpet.cupet.cu

(3) Centro de Investigaciones del Petróleo, Washington # 169, esq. a Churrucá, Cerro, Ciudad Habana, Cuba, CP 12 000. E-mail: rafaels@ceinpet.cupet.cu.

RESUMEN

Dada la diversidad de nombres adoptados por los especialistas cubanos al describir rocas sedimentarias y producto de la utilización de diferentes clasificaciones, algunas de las cuales se encuentran obsoletas, es necesario elaborar un sistema de clasificación de rocas sedimentarias que posibiliten utilizar un lenguaje común entre los especialistas a la hora de clasificar las rocas.

En colaboración con entidades como el CEINPET y otras, trabajamos para adecuar las clasificaciones más actuales a las características de las rocas.

Términos tales como aleurolitas, calizas pelitomórficas, gravelitas, calizas organógenas y fragmentarias, que en su tiempo jugaron un papel importante al clasificar grupos de rocas, hoy se encuentran en desuso en el mundo entero, por lo que resulta de gran importancia que podamos llegar a un acuerdo respecto a la utilización de un sistema de clasificación actualizado y común a todos.

El sistema de clasificación de rocas sedimentarias propone términos y definiciones en aspectos polémicos de las clasificaciones actuales, para ser sometidos a debate en la mesa redonda del SIGUEOL y poder obtener un sistema de clasificación para las rocas sedimentarias, que pueda ser utilizado en lo adelante por los especialistas para que exista unificación de términos en mapas y trabajos futuros; así como lograr la utilización de un sistema de clasificación para las rocas sedimentarias actualizado, que permita que el resultado de las investigaciones y servicios estén acorde con la terminología utilizada en el mundo.

ABSTRACT

Due to the diversity of names adopted by Cuban specialists to describe sedimentary rocks and to the use of several classifications for them, which are obsolete, it has been necessary to elaborate a rocks classification system to make possible a common language at the time to classify them.

In cooperation with entities as the Petroleum Research Center and others, we work to adequate the more up to date classification to the characteristics of the rocks.

Terms such as aleurolites, gravelites, pelitomorfic limestone and organogenic fragmentary limestone which at one time played an important role for classifying rocks group, are today out of use all over the world. Therefore, it is important to get into an agreement concerning the use of a common and up to date rocks classification system.

The sedimentary rocks classification system proposes:

Terms and definitions system in polemic aspects of now a days classification to be discussed in the SIGUEOL's round table and that way to obtain a new classifying system for sedimentary rocks, so that specialist can use the same terms in maps and others works.

In fact, the objective is to obtain an up date classifying system for sedimentary rocks and services to be in accordance with the terminology used today around the world.



Introducción.

En nuestro país las rocas sedimentarias se encuentran ampliamente distribuidas en la superficie, por lo que el estudio de las mismas constituye una ardua tarea para los petrógrafos y geólogos cubanos. En décadas pasadas la clasificación de las rocas sedimentarias se vio influenciada por toda una serie de términos entre los cuales predominaron aquellos provenientes de la colaboración cubano soviética en la rama de la geología, donde términos tales como calizas pelitomórficas, aleulolitas, etc. se utilizaron para describir las rocas sedimentarias en nuestro país y se hicieron de amplio dominio por nuestros especialistas. Hoy en día dicha terminología resulta prácticamente obsoleta y la necesidad de que geólogos y petrógrafos tengan un lenguaje común y actualizado en la elaboración de futuros trabajos, es la motivación necesaria para la creación de un sistema de clasificación actualizado que se adapte a las características de nuestras rocas sedimentarias. Por todos es conocido el gran diapasón que abarcan las rocas sedimentarias, el presente trabajo presenta un sistema de clasificación jerárquico de las mismas, debemos señalar que este sistema de clasificación hace referencia a todas las rocas pero en el presente trabajo solo se hace una explicación detallada de las rocas detríticas y las rocas carbonatadas.

Materiales y métodos:

Para la elaboración de este sistema de clasificación jerárquico de las rocas sedimentarias se consultaron diversas clasificaciones como la clasificación de Wentworth (1922, 1933), Folk. (1962), Dunham (1962), Vatan (1967), Klován (1971), Introducción a la Petrografía Segura Soto.R. (1973), Pettijohn (1976,1980), J.A.Gallegos (1993), Corrales y Cols (1997), Introducción a la Petrografía. De R. Castroviejo (1998), Servicio Geológico Británico. (1999). CRHallsworth.

Seleccionándose las clasificaciones adecuadas en correspondencia con el nivel jerárquico de las rocas a tratar. De esta forma se determinaron 6 niveles jerárquicos para las rocas sedimentarias, analizando los grupos de rocas de lo general a lo particular.

Resultados y discusión:

Las rocas sedimentarias pueden dividirse por su origen en dos grandes grupos (detríticas y no detríticas) conformando así los dos primeros niveles jerárquicos de clasificación, (Tabla I).

Tabla I - Clasificación de conjunto de las rocas sedimentarias, (modificada Corrales y Cols,1997)						
Grupo	mm	Clase	Sedimento y Tamaño textural		Compactada	Criterios de subdivisión
ROCAS DETRÍTICAS	256	Rudititas	Bloque	Grava	Según forma: Conglomerado (redondeado) Brecha (anguloso)	1. Génesis 2. Composición de cantos
	2		Cantos			
	1	Arenitas	Arena muy gruesa		Arenisca	Composición % de cuarzo % de feldespatos % de fragmentos de roca % de matriz detrítica
	1/2		Arena gruesa			
	1/4		Arena media			
	1/8		Arena fina			
	1/16		Arena muy fina			
	1/256	Lutitas	Limo		Limolitas	1. Color 2. Composición 3. Textura
			Arcilla		Arcillita	



Tabla I (continuación)		
Grupo	Clase	Criterios de subdivisión
ROCAS DETRÍTICAS	ROCAS CARBONATADAS	1. Composición 2. Textura
	EVAPORITAS	1. Composición
	ROCAS SÍLICEAS DE ORIGEN ORGÁNICO Y QUÍMICO	1. Génesis 2. Composición
	ROCAS ALUMINO-FERRUGINOSAS DE ORIGEN QUÍMICO	1. Génesis 2. Composición
	ROCAS ORGANÓGENAS	1. Composición 2. Textura y estado físico
	ROCAS FOSFATADAS	1. Textura y estructura 2. Génesis

Existe un grupo de rocas formadas por la combinación de componentes detríticos y no detríticos en distintas proporciones que son las llamadas rocas intermedias, según dominen más del 50 % de unos u otros componentes, debe optarse por la clasificación correspondiente. En el diagrama triangular, (fig 1), podemos observar las variaciones entre calizas, lutitas y arena.

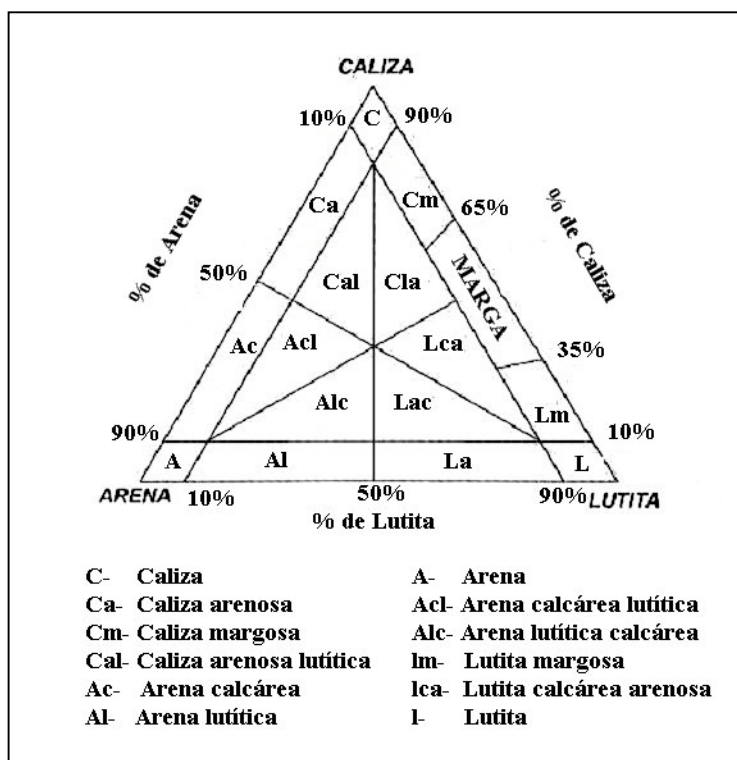


Fig.1. Clasificación de las rocas intermedias entre arenas, lutitas y rocas carbonatadas, basada en Vatam (1967), simplificada. (Modificado de Corrales y Cols,1977).

Una vez que se ha determinado cuál es el carácter dominante de la roca se procede según los esquemas de cada familia, (Tabla I).



Las rocas detríticas se definen por la granulometría y las ruditas se subdividen, según la forma de los clastos, estos grupos de rocas se encuentran dentro del nivel 3 del sistema jerárquico de clasificación (Tabla V).

Las rocas con fracción arenosa se clasifican según el diagrama triangular, de la figura 2 donde se revelan los diferentes tipos de arenita de acuerdo a las variaciones de los contenidos de Q, F Y FR, además en una tercera dimensión del triángulo se refleja la madurez mineralógica en cuanto al contenido de cuarzo y feldespato y la proporción en por ciento de acuerdo a la matriz para determinar cuando estamos en presencia de una arenita o una grauvaca.

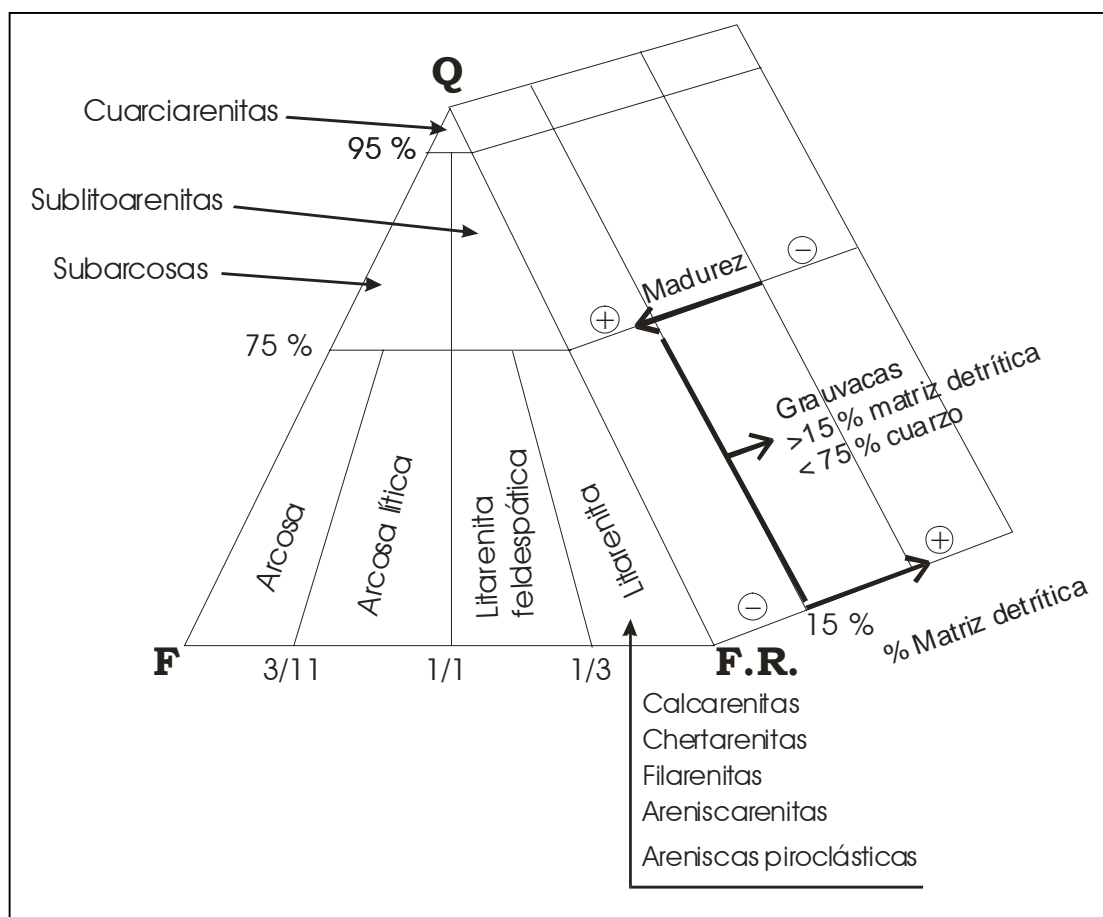


Fig. 2. Diagrama triangular de la clasificación de las rocas con fracción arenosa (Corrales 1977).

Estas rocas corresponden al nivel 4 del sistema jerárquico de clasificación para las rocas sedimentarias, Tabla V.

La subdivisión de las litarenitas de acuerdo a su composición representa el nivel 5 de dicho sistema.

Rocas carbonatadas:

Ubicadas en el nivel 3 del sistema jerárquico de clasificación se divide para su estudio en calizas y dolomitas.



Las calizas y las dolomitas en bajo grado aparecen clasificadas por Folk en el año 1962, la base para esta clasificación lo constituyen 3 componentes identificables, aloquemas, micrita y esparita, (ortoquemas).

En casos de recristalización de la matriz micritica se utiliza el término de micrita recristalizada. La recristalización y dolomitización pueden llegar a ocultar las texturas primarias de las rocas. En la Tabla II podemos observar con mayor detalle los elementos de la clasificación de Folk.(1972), modificado por Corrales (1977).

Tabla II - Clasificación de Folk (1972), para las rocas carbonatadas (modificada por Corrales, 1977)

COMPOSICION VOLUMETRICA EN ALOQUIMICOS					CALIZAS, CALIZAS PARCIALMENTE DOLOMITIZADAS Y DOLOMIAS PRIMARIAS						DOLOMIAS DE SUSTITUCION												
					PRIMARIAS						Tipo V												
					Más del 10 % de aloquímicos ROCAS ALOQUÍMICAS Tipos I y II			Menos del 10 % de aloquímicos ROCAS MICROCRISTALINAS Tipo III			Rocas de tipo BIOHERMOS Tipo IV												
					Cemento esparítico más abundante que la matriz micrítica		Matriz micrítica más abundante que el cemento esparítico	De 1 a 10 % de ALOQUIMICOS		Menos del 1 % de Aloquí- micos													
Tipo I Rocas Aloquímicas Esparíticas		Tipo II Rocas Aloquímicas Microcristalinas	Con "sombras" o fantasmas de ALOQUIMICOS		Sin "sombras" de ALOQUIMICOS																		
Más del 25 % de INTRACLASTOS					INTRA - ESPARRUDITA INTRA ESPARITA		INTRA - MICRORRUDITA INTRAMICRITA		Según ALOQUIMICO más abundante	Micrita con INTRACLASTOS		MICRITA Parcialmente recristalizada: DISMICRITA Si es una dolomía primaria, DOLOMICRITA	BIOLITITO	Según ALOQUIMICO visible	Dolomía intraclástica finamente cristalina		Ejemplos						
					Más del 25 % de Oolitos		OOESPARRUDITA OOESPARITA			OOMICRORRUDITA OOMICRITA					Micrita con OOLITOS		Dolomía oolítica groseramente cristalina		Dolomía medianamente cristalina				
					Menos del 25 % de OOLITOS (B/P = Relación de volúmenes de fósiles a Pelets)	3/1	3/1	3/1		3/1	3/1				3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1
						3/1	3/1	3/1		3/1	3/1				3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1
						3/1	3/1	3/1		3/1	3/1				3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1								
3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1	3/1																

En el nivel número 5 del sistema jerárquico de clasificación podemos encontrar los elementos anteriormente descritos, que dividen a las rocas en ortoquímicas, aloquímicas y arrecifales. En este nivel 5 encontramos además la clasificación de las dolomitas por su granulometría según Folk (1962), ver Tabla III. En el nivel 6 se observa el desglose completo de la clasificación de Folk, Tabla V.

Tabla III - Clasificación de las dolomitas según Folk (1962)	
Nombre de la Roca	Tamaño (mm)
Gruesa Extrema	> 4
Muy Gruesa	4 - 1
Gruesa Extrema	1 - 0.25
Media	0.25 - 0.0625
Fina	0.0625 - 0.0156
Muy Fina	0.0156 - 0.0039
Afanocristalina	< 0.0039



La figura número 3 ilustra los componentes principales de las calizas, la variación en la naturaleza de los aloquemas que determina los diferentes grupos de la clasificación de Folk.

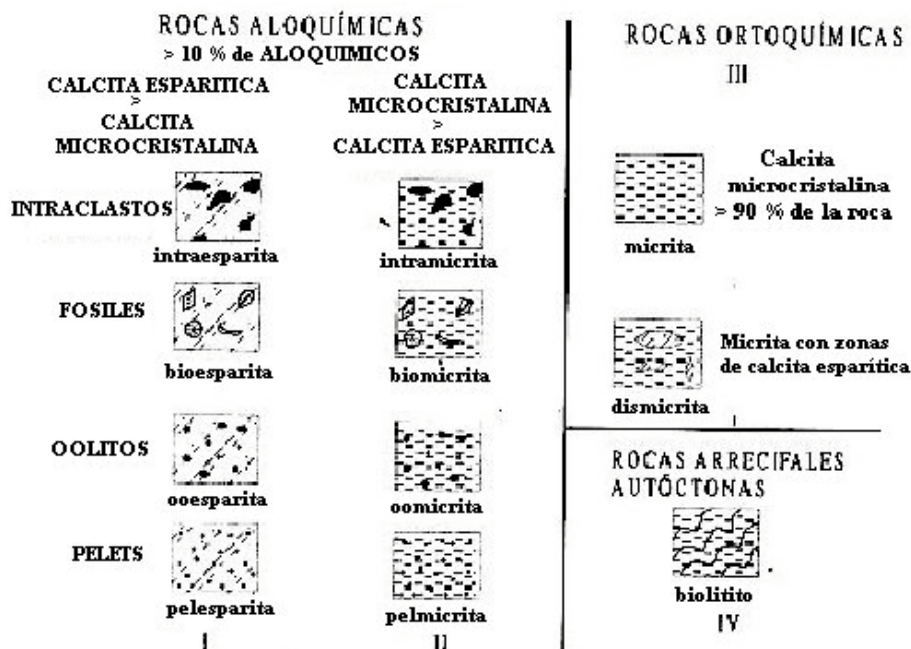


Fig. 3. Representación gráfica de las principales variedades de caliza según Folk.

La primera parte del nombre se refiere a los aloquemas y la segunda a la matriz (micrita) o cemento (esparita). El nombre del aloquema se adjetiva cuando su cantidad sobrepasa los 10 %. Debemos señalar que a la categoría de Biolititas pertenecen las rocas con estructuras rígidas sin evidencias de transporte, tales como arrecifes o algas, o sea rocas autóctonas de crecimiento in situ. En la figura número 4, se hace referencia a la madurez textural de dichas rocas.

Porcentaje de Aloquímicos	Más de 2/3 de matriz micrítica carbonatada				Igual proporción de matriz micrítica y esparita	Más de 2/3 de cemento esparítico		
	0 - 1 %	1 - 10 %	10 - 50 %	> 50 %		Grano-selección escasa	Grano-selección buena	Aloquímicos rodados
Términos representativos de la roca	Micrita y dismicrita	Micrita fosilífera	Bio micrita	Bio micrita compacta	Bioesparita poco lavada	Bioesparita sin grano-selección	Bioesparita grano-seleccionada	Bioesparita redondeada
	Micrita		Cemento calcáreo esparítico					

Fig. 4. Ejemplo de la clasificación de madurez textural según Folk.

La clasificación de Folk, hace énfasis en la naturaleza de los componentes y en la textura, indicando factores deposicionales y diagenéticos.



Aparte de la clasificación de Folk, Dunham crea otra pero desde el punto de vista textural. La madurez textural está implicada en que las rocas menos maduras, son más ricas en matriz de grano fino (lodo calcáreo), que las rocas más maduras que son pobres en dicha matriz.

En la figura número 5, se expresa la terminología de acuerdo a la textura primaria. Debemos señalar lo importante a la hora de hacer referencias al mudstone, siempre llamarle mudstone calcáreo para no confundirlo con el término lodolita, cuando la textura primaria se pierde por recristalización de la calcita, se usa el término carbonato cristalino.



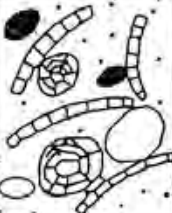



Texturas deposicionales reconocibles					Textura deposicional no reconocible
Los componentes originales no estaban unidos (ligados) durante la sedimentación				Los componentes originales estaban unidos (ligados).	
Contiene fango (carbonato tamaño arcilla a limo fino)		Granosostenida	Carece de fango. Granosostenida.		
Matrizsostenida					
Menos del 10% de granos	Mas del 10% de granos				
Mudstone	Wackestone	Packstone	Grainstone	Boundstone	Cristalina
					

Fig. 5. Clasificación de calizas y representación esquemática de cada tipo de roca, según Dunham (1962). Criterios granulométricos: fango (mud) < 20µm; grano (grain) > 20µm

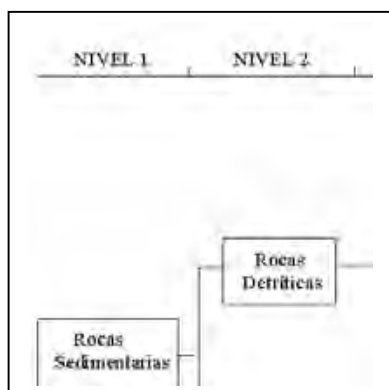
La Tabla IV nos ilustra la clasificación propuesta por Embry - Klovan, como modificación a la de Dunham en caso de que los granos sobrepasen los 2 mm de diámetro.

Tabla IV - Clasificación de Embry-Klovan para componentes mayores de 2 mm								
CALIZAS ALOCTONAS						CALIZAS AUTOCTONAS		
COMPONENTES > 2mm < 10 %				COMPONENTES >2mm >10 %		ORGANISMOS QUE ACTUAN COMO "BAFFLES"	ORGANISMOS INCRUSTANTES Y LIGANTES	ORGANISMOS CON CONSTRUCCIONES RIGIDAS
CON LODO (<0.03mm)			SIN LODO	SOPORTE DE MATRIZ	SOPORTE DE COMPONENTES			
SOPORTE DE LODO		SOPORTE DE GRANOS						
GRANOS <10% (>0.03<2mm)	GRANOS > 10%							
MUDST.	WACKEST.	PACKST.	GRAINST.	FLOATS.	RUDST.	BAFFLE	BINDST.	FRAM.

Esta clasificación de Dunham se enmarca en el nivel 5 del sistema jerárquico de clasificación de las rocas, ver Tabla V.



Tabla V – Sistema jerárquico de clasificación de las rocas sedimentarias.



Conclusiones:

- Se propone la utilización de clasificaciones actualizadas para los diferentes grupos de rocas sedimentarias.
- Se propone no utilizar términos obsoletos usados en épocas pasadas, tales como gravelitas, calizas pelitomórficas, aleurolitas etc.

- Se propone un sistema jerárquico de clasificación para las rocas sedimentarias, Tabla V.

Referencias Bibliográficas:

1. Castroviejo Ricardo (1998). Fundamentos de Petrografía. Universidad Politécnica de Madrid Direcciones de Relaciones con Latinoamérica.
2. Corrales Zarraza I; Rosell Sanvyr; Sánchez de la Torre L; Vera Torres J.A; Vilas Minondo L (1997). Estratigrafía. Edit. Rueda. Madrid, 718 p.
3. Dunham, R. J. (1962). Classification of Carbonate Rocks according to depositional texture. Am. Ass. Petr. Geol. Mem. I. pp. 108-121.
4. Embry, A. F., Klován, J.E. (1971). A late Devonian reef tract of northeastern Banks Island N. W. Territories. Bull. Can. Petro.
5. Folk R. (1962). Spectral subdiv. I-39.
6. Gallegos, J. A. (1993). Claves Litológicas, Public Univ. Granada, 204 Págs.
7. Hallsworth C.R. Servicio Geológico Británico (1999).
8. Pettijohn F. J. (1976). Rocas sedimentarias. 3º. Ed. EUDBA (ed. Univ. De Buenos Aires), 731pp.
9. Pettijohn F. J. (1980). Rocas sedimentarias, Ed. EUDBA (ed. Univ. De Buenos Aires), 731pp.
10. Segura Soto Rafael (1973) Introducción a la Petrografía, ediciones URMO, 208 paginas.
11. Segura Soto Rafael (1990) Maestría de Carbonatos.
12. Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. J. Geol. , 30,377-392.
13. Wentworth, C. K. (1933). Fundamental limits to sizes of clastic grains. Science, 77,633-634.
14. Vera Torres J. A. (1994). Estratigrafía. Principios y Métodos. Editorial, Madrid. 806 p.



TABLA DEL TIEMPO GEOLOGICO. ADAPTACION PARA CUBA SEGÚN LOS ESQUEMAS INTERNACIONALES

Santa Gil González, M. Roberto Gutiérrez Domech, Consuelo Díaz Otero, Gustavo Furrázola Bermúdez, Kenya Núñez Cambra.

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca s/n y Línea del Ferrocarril, San Miguel del Padrón, Ciudad de la Habana. paleontología@igp.minbas.cu.

RESUMEN

La Estratigrafía y la Geología Histórica, y sus ramas la Cronoestratigrafía y la Geocronología, al igual que otras disciplinas de las Ciencias de la Tierra han experimentado numerosos avances con el desarrollo de nuevas técnicas de laboratorio para la datación de la edad absoluta, y de equipos ópticos modernos, como los microscopios electrónicos, que han permitido una mejor datación de la edad relativa de las rocas y su ubicación más precisa en el tiempo geológico, a partir de una mejor identificación de fósiles considerados tradicionalmente como índices, con la determinación y el descubrimiento de nuevas especies con esas características.

Teniendo en cuenta la necesidad de estandarizar la información cronoestratigráfica y geocronológica para Cuba, con el propósito estratégico de hacerlo con toda la información geológica, se acometió la tarea de elaborar la Tabla Cubana del Tiempo Geológico.

Después de analizar exhaustivamente las tablas elaboradas por diferentes autores e instituciones, se llegó al acuerdo de adoptar la Tabla Estratigráfica de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, a pesar de que algunos de los pisos establecidos en ésta no han sido reconocidos en Cuba, principalmente, por falta de investigaciones sistemáticas en ese sentido o por estar ausentes de la historia geológica cubana.

Criterios a favor de utilizar la Tabla Estratigráfica de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS).

1. Mejor legibilidad.
2. Facilidades para la cartografía digital por ser anotaciones cortas y no complicadas.
3. Por ser la que estipula una organización internacional y permitir la utilización de una terminología técnica de fácil comprensión por todo el mundo científico.
4. Lograr asociar los mapas geológicos cubanos con el Mapa Geológico Mundial.

ABSTRACT

Stratigraphy and Historical Geology, and their branches Chronostratigraphy and Geochronology, like other Earth Sciences disciplines, have experienced numerous advances with the development of new laboratory techniques for the absolute age datation, and modern optic equipment, like the electronic microscopes, that have allowed a better relative age datation of the rocks and their more precise location in the geologic time, starting from a better identification of fossils, traditionally considered as indexes with the determination and the discovery of new species with those characteristics.

Taking into consideration the necessity to standardize the chronostratigraphic and geochronologic information for Cuba, due to the strategic purpose of doing this with all the geologic information, was carried out the task of elaborating the Cuban Chart of the Geologic Time.

After analyzing thoughtfully the charts elaborated by different authors and institutions, an agreement was taken on adopting the International Union of Geological Sciences Stratigraphic Chart even when some of the stages settled down in it, have not been recognized in Cuba,

Criteria in favor to use the Stratigraphic Chart of the International Union of Geological Sciences

1. Better legibility.
2. Easiness for the digital cartography for having short and not complicated notations.
3. To be the one that specifies an international organization and permits the employment of a common technical terminology of easy understanding for all the scientific world.
4. To obtain the association of cuban geological maps with the World Geologic Map.



Introducción

La necesidad de utilizar, en la labor de las instituciones y especialistas que trabajan en el campo de las Ciencias Geológicas, en Cuba, los recursos que en el mundo se emplean para estos fines y de homologar los conocimientos adquiridos durante décadas, definió la aprobación de un proyecto de investigación, en el Instituto de Geología y Paleontología, para elaborar una propuesta de Sistema Geológico de Cuba, que será discutida con los centros de investigación e investigadores de dichas ciencias.

Una parte imprescindible de esta investigación está constituida por la creación de una tabla del Tiempo Geológico que sea de uso común en el territorio cubano y que permita la comparación con otros países de la región y del mundo.

Para esto se comenzó por estudiar la tabla estratigráfica propuesta por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas y compararla con todas aquellas utilizadas por los diferentes centros, investigadores y especialistas.

La diferencia fundamental de la Tabla Estratigráfica Internacional con respecto a las anteriores está en la notación de los pisos y períodos, donde ésta se simplifica notablemente.

En el caso de los pisos, éstos dejan de tener un símbolo independiente para cada uno, presentando en común la letra que identifica el Sistema/ Período, pero en minúscula y cada Piso/Edad está identificado por números consecutivos de abajo hacia arriba, según tantas unidades existan (figura 1)

Eratema (Era)	Sistema (Período)	Serie (Epoca)		Piso (Edad)	Notación			
Cenozoico (Cz)	Paleógeno	Oligoceno	Superior	Chatiano	e ₉	E ₃	E	
			Inferior	Rupeliano	e ₈			
		Eoceno	Superior	Priaboniano	e ₇	E ₂		
			Medio	Luteciano	e ₅			
			Inferior	Ypresiano	e ₄			
		Paleoceno	Superior	Thanetiano	e ₃	E ₁ ²		E ₁
				Selandiano	e ₂			
			Inferior	Daniano	e ₁	E ₁ ¹		

Figura 1. Parte de la tabla del Tiempo Geológico correspondiente al Sistema Paleógeno.

En la adaptación de esta tabla internacional con el propósito cubano de estandarizar la información cronoestratigráfica y geocronológica elaborando una propuesta para uso común en el país, se respetó, en su esencia, la notación simbólica presente en la misma, independientemente de algunos cambios realizados.

La propuesta de tabla de tiempo geológico para Cuba incluye sólo las unidades cronoestratigráficas / geocronológicas presentes en el país, por tanto esta comienza en el Proterozoico que es la edad de las rocas más viejas reportadas en Cuba que se corresponden con los mármoles o calcifiros (?) del fundamento siálico de Socorro (Río Cañas), en el límite de las provincias de Matanzas y Villa Clara, en Cuba Central, cuya edad absoluta es de 945 ± 20 y 910 ± 25 ma (método Potasio-Argón, en Somín y Millán 1977, 1981) y 903 ± 7.1 ma (método Argón - Argón, en Renne *et al.*, 1989).



Materiales y Métodos

Para la confección de la tabla del Tiempo Geológico se creó un grupo de trabajo, integrado por los autores, que elaboraron una propuesta sometida a la consideración y aprobación del Consejo Científico del Instituto de Geología y Paleontología, cumplimentando parte de los requerimientos del proyecto en ejecución SIGEOL para Cuba..

La presente tabla (figura 5) es una modificación de la Tabla Estratigráfica Internacional (Remane, 2000) a partir de autores como Haq *et al.* (1988); Cowie y Basset (1989), Vera Torres (1994); Serra-Kiel *et al.* (1998) y de tablas editadas por diferentes instituciones (Geological Society of América, 1988; Societe Geologique de France, 1990; Institut Cartografic de Catalunya) con la intención de adecuarla a la columna estratigráfica cubana y tomando también en consideración los estudios bioestratigráficos sustentados, fundamentalmente, en ammonites, calpionélidos, radiolarios, foraminíferos planctónicos, macroforaminíferos, nannoplancton y ostrácodos, los cuales han permitido establecer y perfeccionar, en gran parte, esta columna.

Discusión

En la Tabla Estratigráfica aprobada por la IUGS los Pisos/Edades, como se ha señalado anteriormente, tienen un símbolo en común: una letra, en minúscula, que identifica el Sistema/ Período, y cada Piso/Edad está identificado por números consecutivos de abajo hacia arriba, según unidades existan.

El Cretácico constituye la excepción por ser el Sistema /Período con mayor número de pisos. Para identificar los seis Pisos/Edades del Cretácico Inferior (K_1) se utiliza la letra b minúscula, letra inicial del Berriasiano, una de estas unidades básicas cronoestratigráficas / geocronológicas, con los subíndices del 1al 6. Los pisos del Cretacico Superior (K_2) son simbolizados con la letra minúscula k y también con los subíndices del 1 al 6. Esta notación es asumida por los autores en la propuesta que se presenta. (figura 2)

Eratemala (Era)	Sistema (Período)	Serie (Epoca)	Piso (Edad)		Notación			
Mesozoico (Mz)	Cretácico	Superior	Senoniano	Maastrichtiano		k ₆	K ₂	K
				Campaniano		k ₅		
				Santoniano		k ₄		
				Coniaciano		k ₃		
			Turoniano		k ₂			
			Cenomaniano		k ₁			
		Inferior	Neocomiano	Albiano		b ₆	K ₁	
				Aptiano		b ₅		
				Barremiano		b ₄		
				Hauteriviano		b ₃		
Valanginiano				b ₂				
Berriasiano				b ₁				

Figura 2. Parte de la tabla del Tiempo Geológico correspondiente al Cretácico.

Se incluye el piso Neocomiano, de amplio uso en Cuba, sobre todo en las rocas del Margen Continental y en el Terreno Guaniguanico, y bien estudiado desde el punto de vista bioestratigráfico por calpionélidos y nannoplancton. Su notación sería entonces igual a la de la extensión de los pisos b₁ – b₄.

Se incorpora el piso Senoniano. Con anterioridad éste solo correspondía al intervalo entre el Coniaciano y el Santoniano, y de esta forma era utilizado, comúnmente, en los mapas e



informes cubanos En la actualidad éste ha sido extendido hasta el Maastrichtiano (Vera Torres, 1994), teniendo en cuenta los criterios y las investigaciones más actualizadas en este sentido. Este piso, ha sido empleado con frecuencia en la datación de las rocas del arco volcánico cretácico de Cuba. De ahora en adelante se sugiere no usar más este término para no traer confusión en cuanto la edad de las mismas, puesto que en ningún caso éstas llegan al Maastrichtiano. Su identificación sería $k_3 - k_6$.

Es asumida la E en lugar de la P como identificación del Paleógeno, donde fue tomada como referencia la inicial del nombre de una de sus series (Eoceno), y así diferenciarla de la P de Pérmico, aunque esta unidad cronoestratigráfica/ geocronológica no está presente en Cuba. A escala internacional el uso de la P podría conducir a confusión.

Para el Paleógeno la Serie/Epoca Paleoceno, es dividida en subseries. Las más usuales son Paleoceno Inferior y Paleoceno Superior, ya que en Cuba existen depósitos que caracterizan bien estas edades, no así el Paleoceno Medio. Su identificación sería E_1^1 (Daniano) y E_1^2 (con dos pisos, Selandiano y Thanetiano).

Aunque en la literatura geológica cubana se ha usado con cierta frecuencia el piso Montiano, para la parte baja del Paleoceno Superior, se determinó considerar el Selandiano, más conocido y mejor estudiado internacionalmente.

Para las notaciones en todos los casos donde las Series/Epocas contengan solamente un piso, como sucede con el Eoceno y el Oligoceno se usará la más simple. Por ejemplo, en el caso del Eoceno Superior no se usará E_2^3 sino e_7 . (figura 1)

Las divisiones de las series del Mioceno se tomaron tal y como aparecen en la Tabla Internacional pues no existen argumentos para decidir por una u otras, y por otro lado no se han realizado suficientes estudios detallados bio y cronoestratigráficos en Cuba para ese periodo, por lo que no se puede decir que no existan las seis divisiones. En el caso del Mioceno como se muestra en el fragmento de tabla correspondiente al Neógeno (figura 3) habrá doble notación, la que identifica a las subseries, más empleadas en Cuba, y las propias para los pisos.

Eratema (Era)	Sistema (Período)	Serie (Epoca)		Piso (Edad)	Notación			
Cenozoico (Cz)	Neógeno	Plioceno	Superior			N_2^2	N_2	N
			Inferior			N_2^1		
		Mioceno	Superior	Messiniano	n_6	N_1^3	N_1	
				Tortoniano	n_5			
			Medio	Serravalliano	n_4	N_1^2		
				Langhiano	n_3			
			Inferior	Burdigaliano	n_2	N_1^1		
				Aquitano	n_1			

Figura 3. Fragmento de la Tabla del Tiempo Geológico correspondiente al Sistema Neógeno

Con relación al Plioceno se le incorpora la división en Subseries/Subépocas (figura 3) no existentes en la Tabla Estratigráfica Internacional, pero de amplia difusión en nuestro país debido a la ocurrencia de conjuntos rocosos con estas edades, incluso compartidas con el Cuaternario.

Para el Cuaternario se aceptan las notaciones Q_1 y Q_2 para las Series/Epocas Pleistoceno – Holoceno, tal y como aparece en la Tabla Internacional. Las usuales divisiones y nomenclatura de Q_1 , Q_2 , Q_3 , para el Pleistoceno, se propone que sean identificadas



entonces mediante las notaciones Q_1^1 , Q_1^2 y Q_1^3 , así como la identificación actual del Holoceno sería Q_2 en lugar de Q_4 (figura 4), como habitualmente se han cartografiado en los mapas geológicos cubanos a diferentes escalas.

Eratema (Era)	Sistema (Período)	Serie (Epoca)		Piso (Edad)	Notación		
Cenozoico (Cz)	Cuaternario	Holoceno			Q_2	Q_1	Q
		Pleistoceno	Superior		Q_1^3		
			Medio		Q_1^2		
			Inferior		Q_1^1		
			Inferior		N_2^1		

Figura 4. Fragmento de la Tabla del Tiempo Geológico correspondiente al Sistema Cuaternario

Conclusiones

- Después de analizar exhaustivamente las tablas elaboradas por diferentes autores e instituciones, se llegó al acuerdo de adoptar la Tabla Estratigráfica de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, a pesar de que algunos de los pisos establecidos en esta no han sido reconocidos en Cuba, principalmente, por falta de investigaciones sistemáticas en ese sentido o por estar ausentes de la historia geológica cubana.
- Las divisiones del Sistema Cretácico correspondientes al Senoniano y al Neocomiano se recomienda mantener por la referencia a estos pisos en trabajos anteriores, pero no se recomienda su uso en los mapas de nueva creación.
- Se determinó no considerar el piso Montiano, para la parte baja del Paleoceno Superior, y si el Selandiano, más conocido y mejor estudiado internacionalmente.
- Para las notaciones en todos los casos donde las Series/Epocas contengan solamente un piso, se usará la más simple.
- En el caso del Mioceno habrá doble notación, la que identifica a las subseries, más empleadas en Cuba, y las propias para los pisos.
- Al Plioceno se le incorpora la división en Subseries/Subépocas no existentes en la Tabla Estratigráfica Internacional, debido a su amplia difusión en nuestro país.
- Las usuales divisiones y nomenclatura de Q_1 , Q_2 , Q_3 , para el Pleistoceno, serán identificadas mediante las notaciones Q_1^1 , Q_1^2 y Q_1^3 , así como la identificación actual del Holoceno sería Q_2 en lugar de Q_4 .



Figura 5
Tabla de Tiempo Geológico para Cuba
(Aprobado por el Consejo Científico del IGP, 6 de Septiembre de 2002)

Eono tema (Eón)	Eratema (Era)	Sistema (Período)	Serie (Epoca)		Piso (Edad)		Notación			Edad (ma.)		Duración						
Fanerozoico	Cenozoico (Cz)	Cuaternario	Holoceno				Q ₂			0. 01	0. 01	0. 01	1. 8					
			Pleistoceno	Superior			Q ₁ ³							Q ₁	Q	1. 81	1. 8	1. 8
				Medio			Q ₁ ²											
				Inferior			Q ₁ ¹											
		Neógeno	Plioceno	Superior			N ₂ ²		N ₂	N	3. 4	1. 59	3. 52		21. 99			
				Inferior			N ₂ ¹				5. 33	1. 93						
			Mioceno	Superior	Messiniano	n ₆		N ₁ ³	N ₁		7. 1	1. 77	5. 67	18.47		21. 99		
					Tortoniano	n ₅					11	3. 9	5. 4					
				Medio	Serravalliano	n ₄		N ₁ ²			13. 6	2. 6					7. 4	
					Langhiano	n ₃					16. 4	2. 8						
				Inferior	Burdigaliano	n ₂		N ₁ ¹			19. 1	2. 7						
					Aquitano	n ₁					23. 8	4. 7						
			Paleógeno	Oligoceno	Superior	Chatiano		e ₉			E ₃	E	28	4. 2		9. .9		41. 2
					Inferior	Rupeliano		e ₈					33. 7	5. 7				
		Eoceno		Superior	Priaboniano		e ₇		E ₂	37	3. 3		19. 3					
				Medio	Luteciano		e ₅			46	9							
				Inferior	Ypresiano		e ₄			53	7							
		Paleoceno		Superior	Thanetiano		e ₃		E ₁ ²	E ₁	57. 8		4. 8	9. 3	1 2			
					Selandiano		e ₂				62. 3		4. 5					
				Inferior	Daniano		e ₁				E ₁ ¹		65	2. 7		2. 7		
	Mesozoico (Mz)	Cretácico	Superior	Senoniano	Maastrichtiano		k ₆		K ₂	K	71. 3	6. 3	27. 6		72. 9			
					Campaniano		k ₅				83. 5	12. 2						
					Santoniano		k ₄				85. 8	2. 3						
					Coniaciano		k ₃				89	3. 2						
					Turoniano		k ₂				93. 5	4. 5						
					Cenomaniano		k ₁				98. 9	5. 4						
			Inferior	Neocomiano	Albiano		b ₆		K ₁		112. 2	13. 3	45. .3					
					Aptiano		b ₅				121	8. 8						
					Barremiano		b ₄				127	6						
					Hauteriviano		b ₃				132	5						
					Valanginiano		b ₂				136. 5	4. 5						
					Berriasiano		b ₁				144. 2	7. 7						
		Jurásico	Superior	Tithoniano		j ₇		J ₃	J	152	7. 8	12. 8		58. 8				
				Kimmeridgiano		j ₆				154	2							
				Oxfordiano		j ₅				157	3							
			Medio	Calloviano		j ₄		J ₂		160	3	18						
			Inferior					J ₁		175	15							
		Triásico					T											
Protero- zoico							PR											



Bibliografía

- Bureau de Reserches Geologiques et Minières. 1990, Societe Geologique de France
- Cowie, J.W. and Basset, M.G. 1989. Global Stratigraphic Chart with geochronometric and magnetostratigraphic calibration. Episodes, 12(2), suppl.
- Geological Society of America, 1988. Geologic Time Scale.
- Haq, B.U., J., Hardenbol and P.R. Vail, 1988. Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and eustatic cycles. In: C.K. Wilgus et al.(eds), Sea-level changes: an integrated approach. SEPM Spec. Publ. No 2: 71-108.
- Institut Cartogràfic de Catalunya. Servei Geològic de Catalunya. Taula dels temps geològics.
- Remane, J., M.G. Basset, J.W. Cowie, K. H. Gohrhandt, H.R. Lane, O., Michelsen, N. Naiwen, 1996. Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International commission on Stratigraphic (ICS). Episodes, 19(3): 77-81.
- Remane, J. (co), 2000. International Stratigraphic Chart. Explanatory note to the international stratigraphic chart. International commission on Stratigraphy. IUGS. UNESCO. 16 p.
- Renne, P., J.M. Mattinson, C.W. Hatten, M. Somin, T.S. Onstott, G. Millán y E. Linares, 1989. ⁴⁰Ar-³⁹Ar and U-Pb evidence for late Proterozoic (Greenville age) continental crust in North Central Cuba and regional tectonic implications: Precambrian Research 42: 325-341.
- Serra-Kiel, J., L. Hottinger, E. Caus, K. Drobne, C. Ferrández, A. Kumar Jauhri, G. Less, R. Pavlovec, J. Pignatti, J. M. Samsó, H. Schaub, E. Sirel, A. Strougo, Y. Tambareau, J. Tosquella y E. Zakrevskaya, 1998. Tethyan Paleocene-Eocene Larger Foraminifera Biostratigraphy: Shallow Benthic Zones. Institut Cartografic de Catalunya.
- Somín, M. y G. Millán, 1977. Sobre la edad de las rocas metamórficas de Cuba: Acad. de Ciencias de Cuba, Informes Científico-Técnico 2: 1-11.
- Somín, M. y G. Millán, 1981. Geología de los complejos metamórficos de Cuba (en ruso): Edit. Nauka. 219 p. Moscow.
- Vera Torres, J.A. (co), 1994. Escala de tiempo geológico calibrada correspondiente al Mesozoico y Cenozoico. En: Estratigrafía. Principios y Métodos. Universidad de Granada. Editorial Rueda: 81-84.



EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DEL MAPA AEROGAMMA-ESPECTROMETRICO 1:100000 DE CUBA COMO PARTE DE LA SOLUCIÓN DE DISTINTOS PROBLEMAS GEOLÓGICOS.

R. Sánchez Cruz, B. Rodríguez, N. Petrus, L. Lufriú, J.L. Chang, M. Pardo, I. Padilla, R. Prieto, A. Oviedo, F. Prieto

Instituto de Geología y Paleontología, Vía Blanca y Línea del Ferrocarril, s/n, San Miguel del Padrón, CP 11 000, Ciudad de la Habana, Cuba. E Mail: rscruz@igp.minbas.cu

RESUMEN

El Instituto de Geología y Paleontología ha completado diferentes mapas geofísicos temáticos en formato digital, lo que permite un manejo más eficaz de las distintas magnitudes que aparecen en sus bases de datos (BD) ya estandarizadas y corregidas. Para la resolución de las tareas cartográficas de diferentes estructuras geológicas se utiliza la BD (AGE) de Cuba 1:50000, la que incluye los canales de uranio, torio, potasio y otras transformaciones útiles. El conjunto de mapas obtenidos, apoya labores de selección de los diferentes escenarios presentes a lo largo de un país con una geología compleja, bajo una potente y variable corteza de intemperismo, e influenciada por disímiles factores ajenos, no siempre bien controlados, e ilustra la resolución de tareas no solo directamente relacionadas a la geología sino además a otras tareas cartográficas vinculadas a la geomorfología, la tectónica, ambientalistas, e hidrogeológicas.

Se muestran las características espectrométricas de: los diapiros salinos del norte cubano, las rocas ofiolíticas en Pinares de Mayarí, el silica cap Jacinto, las cúpulas de El Escambray y de Trinidad, la falla Pinar y la falla el Cobre, las terrazas de Maisí, las secuencias volcánicas de Cajobabo-Los Cerezos y terrígenas de Cabacú, los cauces de los afluentes del río Cauto, las zonas húmedas de la llanura sur habanera, los feraces suelos de Gran Tierra, los que posibilitan su segregación del fondo de valores que las rodea.

Por su carácter ilustrativo los ejemplos que se presentan sirven también para fines docentes en el entrenamiento de especialistas de las geociencias.

ABSTRACT

The Institute of Geology and Paleontology has completed different thematic geophysical maps in digital format, what allows a more effective handling of the different magnitudes that appears in its databases (DB) already standardized and corrected. The DB 1:50000 of Airborne Gammaspectrometric of Cuba, the one that includes the channels of uranium, thorio, potassium and other useful transformations is used here for the resolution of cartographic tasks of different geologic structures. The obtained set of maps, supports the selection of different present scenarios along a country with a complex geology, under a potent and variable weathering zone, and not always influenced by dissimilar controlled alien factors and it illustrates the non alone resolution of tasks directly related to the geology but also to other cartographic tasks linked to the geomorphology, the tectonic one, environmentalists, and hydrogeological.

The spectrometrics characteristic shown in the paper includes: the saline domes of the northern part of Cuban, the ophiolites rocks massifs in Pinares de Mayarí, the silica cap Jacinto, the domes of Escambray and Trinidad, Pinar del Río and El Cobre faults, the terraces of Maisí, the volcanic sequences over Cajobabo-Los Cerezos and Cabacú terrigenous sequences, the beds of the tributaries of the Cauto river, the humid areas of the Havanan south plain, the rich soils of Gran Tierra, all of them that facilitate their segregation from its surrounding spectrometric background.

For their illustrative character the examples that are presented are also good for educational matters in the training of specialists in geo-scientific activities.



Introducción

Como en otras partes del mundo, el conjunto de mapas aerogammaespectrométricos en escala 1:500000 de la República de Cuba vio la luz a posteriori de la realización de la mayoría de los trabajos de cartografía geológica a esa escala de diferentes zonas del país, por ello sus bondades cartográficas han sido casi siempre relegadas ante los usos puramente de apoyo a la prospección de distintas materias primas. El completamiento de una base de datos (BD) aerogammaespectrométrica a escala 1:100000, sin embargo se ha adelantado a la obtención de los primeros mapas geológicos a igual escala, contruidos principalmente a partir de los levantamientos geológicos 1:50000 y 1:100000, por lo cuál los resultados espectrométricos están en inmejorables condiciones para participar en los trabajos de obtención del Mapa Geológico 1:100000 del país. El soporte digital de la información, su necesario procesamiento estadístico y la posesión de herramientas de software y hardware avanzados para la realización de la tarea ponen esta herramienta en ventajosa posición para ser utilizada como uno de los pilares de dicho Mapa.

Materiales y Métodos

Los datos del LAGE presentados son el resultado del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de Cuba, en las escalas 1:50000; 1:25000 comenzados en 1979 en las zonas llanas y que se extendieron hasta 1990 con los vuelos sobre las zonas montañosas. Los levantamientos de las zonas llanas (portador avión) y de las zonas montañosa (portador helicóptero), fueron posteriormente unificados en base a los resultados de la Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional diseñada especialmente para este propósito.

El volumen del LAGE fue de 105069 Km² que representa según Padilla I. 1997 (10) el 98 % del territorio nacional de Cuba y exceptúa únicamente los terrenos de Guanahacabibes y la península de Zapata. En realidad el LAGE también exceptúa la Base Naval de Guantánamo y toda la provincia de Ciudad de La Habana y gran parte de la provincia de La Habana sobre cuyos territorios el Ministerio de las Fuerzas Armadas de Cuba (F.A.R.) denegó el permiso de vuelo por distintos intereses militares. Considerar el 98% del área del país cubierta, por lo tanto, es inadecuado.

Los datos de los vuelos eran procesados en la Expedición Nacional de Trabajos Geofísicos (E.N.T.G.), donde recibían el visto bueno de su calidad. En los inicios, una vez identificados los negativos y realizados los fotoamarres correspondientes, el procesamiento de la información se realizaba en el centro de cálculo IBTSSIIGGIMS de CebZapgeologia en Novosibirsk, Rusia, quién respondía por los mapas e informes correspondientes; pero en lo que a la postre resultó una mala decisión, por incompleta, se decidió traer el sistema de procesamiento a Cuba. Como resultado parte de los datos estaban en Cuba y parte quedaron en Rusia. Dado el prolongado tiempo de ejecución del Levantamiento (1979-1993, que incluye el tiempo de la confección de los últimos informes) el state of art lógicamente cambió, lo que puede observarse de la Tabla No.1 adjunta; las máquinas computadoras utilizadas del tipo Mainframe también cambiaron desde las EC.- 1022 hasta las EC.- 1062. (al momento de la utilización de estas últimas, ya el procesamiento de la información se realizaba completamente en Cuba).

Toda la información aerogeofísica fue procesada con el sistema de programas S.O.A.G.D.E.S. Lamentablemente, la realización compartida de los trabajos de procesamiento de la información entre Novosibirsk y la Habana, trajo aparejado que la parte inicial de los datos no estuviesen en Cuba en el momento en que condiciones políticas ajenas al problema dieron al



traste con los contratos firmados. El fin del contrato bajo el que se realizaban los trabajos coincidió además con la brusca disminución del intercambio comercial entre Cuba y Rusia de inicio de los '90 y con la desarticulación de las máquinas tipo mainframe y su paso a las PC, lo que provocó que las máquinas que soportaban el sistema SOAGDES fueran desmanteladas. La unificación final de la información fue realizada en Rusia y traída a La Habana pero no hubo retroalimentación con la parte rusa para corregir algunos problemas detectados en las matrices de datos y aclarar algunas dudas. La información pudo salvarse solamente en formato XYZ de SURFER 3.0 lo que castró sobremanera las posibilidades de reprocesamiento ulterior. Los principales problemas detectados en los LAGE son comunes a todos ellos y se relacionan fundamentalmente con weathering, microlevelling, empalme, nivelación y fondo. Metodológicamente sin embargo los trabajos del LAGE de Cuba están excelentemente realizados y sus resultados reflejan fielmente las características geológicas de los diferentes escenarios sobrevolados, algo que no puede decirse totalmente de la Verificación Terrestre de las anomalías, con resultados más limitados.

Tabla No. I. Características Técnicas del Levantamiento AeroGammaEspectrométrico.

No.	PRINCIPALES CARACTERISTICAS	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Llanas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Zonas Montañosas	LAGE 1:50000 y 1:25000 Red de Apoyo
1	Areas cubiertas en Km ² .	83285 (75808 + 7447)	21784 (19562 + 2222)	7290.46 Km.
2	Cantidad de Sectores	19	4	1
3	Medio Portador	AN - 2	MI - 17	AN - 2
4	Velocidad de Crucero en Km/h.	180	140 - 160	180
5	Fecha de Realización	1979 - 1986	1987 - 1990	1986
6	Aerogammaespectrómetro	AGS - 71s	SKAT - 77	AGS - 71s
7	Cantidad de Canales	8	8	8
8	Volumen Cristal de Ina(Tl) en L.	12.5	25.2	12.5
9	Intervalo de Muestreo en s.	1.0	0.28; 0.33; 0.5; 1.0	1.0
10	Resolución Energética según Cs-137 en %	12.3	12.3	12.3
11	Altura de Vuelo en m.	60 ± 5	75 ± 25	60 ± 5
12	Radioaltímetro	RB - 2 y RV - UM	APV	RB - 2
13	Cámara de Amarre Fotográfico	AFAG - 17	AFA- 36; AFAG - 17	AFAG - 17
14	Descifrador de Fotonegativos	PDN - 1	PDN - 1	PDN - 1
15	Error Máximo del Amarre Planimétrico en m.	± 50	± 50	± 50
16	Distancia Promedio entre Puntos de Observación (Km.)	4 - 5	2 - 3	4 - 5
17	Porcentaje de Identificación de Fotoamarres en %	94 - 96	94 - 96	99



Se fundamentó la necesidad del reordenamiento, alistamiento y adecuación de la información de las BD existentes para corregir los errores detectados en las matrices recibidas del ejecutor. La naturaleza de esos errores también resultó ser de disímil origen y fue una tarea muy importante identificarlos y corregirlos. (18), para ello se subdividió el territorio nacional en tres partes: occidente, centro y oriente. Los datos restablecidos se encuentran en los fondos del I.G.P. y la O.N.R.M. (12, 15, 16), Fig. 1, 2 y 3. Este trabajo es parte de la estandarización y unificación final de la BD AGE (19).



Figura 1. Mapa de Uranio (Ra) (ppm)

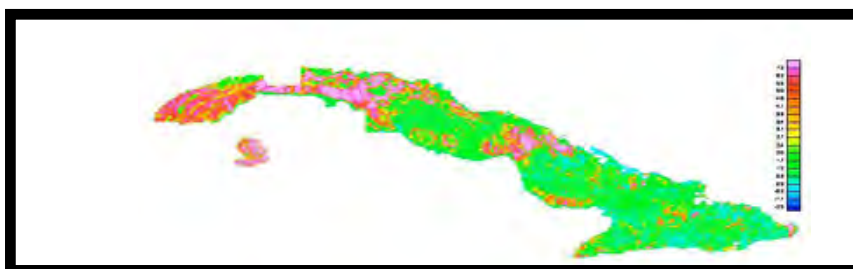


Figura 2. Mapa de Thorio (ppm)



Figura 3. Mapa de Potasio (%)

Las principales correcciones consideradas en los datos de vuelos incluyeron los controles en la estabilidad del equipamiento en el aeropuerto base, las calibraciones en el Banco de Güines, y otros. Las principales correcciones realizadas a los datos AGE durante el procesamiento incluyen: Filtrado $N=7$ con el fin de suavizar las curvas correspondientes a los canales de U_{Ra} , Th y K; corrección de influencia entre canales; corrección de fondo residual y reducción a la superficie terrestre, compensación a nivel único (14); evaluación de la estadística de fondo y recálculo de los parámetros de interpretación. Otros de los problemas detectados en los LAGE son comunes a todos ellos y se relacionan con weathering, microlevelling, empalme, nivelación



y fondo. Por comodidad en este trabajo, se utilizará como la calidad correspondiente al error medio cuadrático en la determinación de las concentraciones: Uranio = ± 0.4 ppm.; Thorio = ± 1.0 ppm.; Potasio = ± 0.15 %.

Resultados y Discusión

Producto de la relación existente entre los contenidos de K en las rocas y las alteraciones hidrotermales acompañantes de los procesos mineralizantes, los mapas de contenidos de K son utilizados generalmente para la cartografía de esos procesos y de la mineralización. Los ejemplos a continuación demuestran que en otras ocasiones además de los contenidos de K, otros radioelementos pueden ser utilizados para la cartografía de distintas formaciones geológicas, procesos, eventos u otros fenómenos: Las conocidas cúpulas del Escambray, tanto la de Trinidad como la de Santi Spíritus, continentes de las metavulcanitas de los Terrenos del Noroeste pueden ser contorneadas por valores anómalos de los contenidos de K cercanos al 1.5% - 2%. En la Fig. 4, se distingue claramente en la imagen del elemento un cinturón de color rojo, hasta magenta, que contornea de forma circular sus afloramientos. En detalle el cinturón de las concentraciones de potasio, es más regular y está mejor definido alrededor de la cúpula de Trinidad en el oriente de ambas (13).

La gammaespectrometría también caracteriza los escenarios ofiolíticos; un ejemplo puede ser encontrado en la región Nororiental de Cuba, en los macizos de ofiolitas mesozoicas de Pinares de Mayarí y Nicaro, los que se contornean por concentraciones anormalmente bajas de potasio, como corresponde al contenido de dicho elemento en las rocas ultrabásicas que los conforman. Las menores concentraciones de K, están mejor distribuidas en el lóbulo occidental del macizo sobre la conocida meseta de Pinares de Mayarí, la morfología del terreno, plano sobre la meseta, apoya este resultado. En el lóbulo oriental, macizo de Nicaro, los mínimos de K no son tan homogéneos, igualmente la morfología puede ser la causa: los terrenos sobre el macizo Nicaro están conformados por elevaciones montañosas que conforman un relieve más desmembrado. En el mapa de K ambos macizos están separados por una cadena de pequeños máximos relativos, de hasta 1.5%. con dirección NNW. Fig. 5.

En el Norte de Cuba central, dentro de rocas carbonatadas que representan las secuencias del paleomargen continental, se encuentran dos conocidos diapiros salinos: Cunagua y Punta Alegre; ambos debidos a las secuencias evaporíticas que los forman pueden ser bastante bien cartografiados con el canal de K. Sobre los estables y mínimos valores de las rocas carbonatadas que los contienen, las secuencias evaporíticas, ricas en sales de sodio y potasio se distinguen por las altas concentraciones de este radioelemento. Cunagua, por su posición espacial está representado solamente por su parte occidental, la otra se encuentra bajo las aguas del mar, Fig. 6. Si observamos detenidamente la imagen, vemos que las concentraciones de potasio desde el sur se elevan paulatinamente aisladas por una franja verde de concentraciones intermedias de las muy bajas concentraciones de K sobre las secuencias carbonatadas sureñas. Esta franja indica la cercanía en la profundidad del material de las secuencias evaporíticas, por lo que ayuda a comprender la real extensión de dicho diapiro. Algo muy parecido ocurre para el diapiro de Punta Alegre, pero este resulta más isométrico en su emplazamiento dentro de las secuencias carbonatadas, (no aparecen las zonas de concentraciones intermedias que puede observarse en el occidente del diapiro de Cunagua); las concentraciones de K alcanzan sus máximos valores de forma más regular a partir de los bordes de mínimas concentraciones, Fig. 7.



En Cuba, especialmente en los últimos tiempos se han realizado múltiples trabajos para la utilización de los datos gammaespectrométricos en la cartografía de estructuras favorables a la aparición de hidrocarburos. Los primeros intentos al respecto aparecen en Lufriú et al. , 1989, (6), donde se menciona la correspondencia entre la aparición de máximos locales de potasio con anomalías de metano; esta relación aparece utilizada por Alfonso Roche J.R. et al. , 1993 (Ref. 1), a posteriori, donde se estableció la posibilidad de cartografiar a distancia las áreas potencialmente productoras de hidrocarburos, reveladas por mínimos aerogammaespectrométricos de la relación K/Th. Sin embargo quedó sin resolver el esclarecimiento de la naturaleza geoquímico-mineralógica de los mínimos del índice K/Th ligados a las áreas ya en producción o potenciales. En los mapas del índice P en las áreas de Cantel-Preciosa y Motembo, donde los hidrocarburos aparecen asociados a las serpentinitas, se distinguen algunas zonas de mínimos del índice P (K/Th) rodeados por valores máximos.

No es hasta 1996 que Pardo M. et al. (9), realiza un primer intento por aclarar el problema tomando como patrón un área del yacimiento Pina-Ciego de Ávila donde aparecen los hidrocarburos en acumulaciones secundarias someras dentro de rocas volcánicas. Los datos aerogammaespectrométricos usados permitieron establecer la presencia de cuatro mínimos del índice K/Th en las inmediaciones del depósito conocido. En el área se observan dos áreas con diferentes valores de fondo del índice P (1.0 y 0.5), separadas por un gradiente latitudinal que coincide con el cambio litológico entre las arcillas de la Fm. Paso Real, al Norte con las calizas de la Fm. Güines, al Sur (9). Los autores concluyen que el depósito Pina está representado por “un débil mínimo local cerrado sin máximos en su periferia, cuyo contorno coincide casi exactamente con los límites del área productora de petróleo biodegradado”, Fig. 8. Pardo et al. 1996 ha continuado desde esa fecha investigaciones de este cariz, fundamentalmente en la región central de Cuba (Cantel - Sur de Camagüey), pero combinada con otros complejos de métodos y técnicas no convencionales y refiere con la utilización del índice P (K/Th), la delimitación de áreas perspectivas para la localización de hidrocarburos someros en el sur de Camagüey logrando reducir con esta técnica, hasta el 20% las áreas favorables a su aparición.

Pueden ser citados varios casos al respecto sobre la utilización de datos AGE en la cartografía de rasgos geomorfológicos los que sin duda influyen en la migración de los radioelementos estudiados: el valle del Caujerí y las terrazas del extremo oriental de Cuba. El valle del Caujerí se cartografía en el mapa gammaespectrométrico por concentraciones de Potasio de hasta 3%, las que según Chang J.L. 2002, (3) “podrían estar influenciadas por el aporte y acumulación de elementos indicadores o afines de Potasio o el mismo Potasio, propiciado por un relieve negativo (depresión)”, sin embargo podría considerarse adicionalmente, y no por ello puede ser el último factor a tener en cuenta, el antropogénico, producto de los fertilizantes asiduamente utilizados en los sembradíos de dicho valle, ya que los valores de la intensidad gamma del canal integral, no son sobremanera anómalos, como no lo son los obtenidos en el gamma pedestre integral de la región.

El mejor ejemplo entre la migración de los radioelementos y ciertos rasgos geomorfológicos es ofrecido por Chang J.L. 2002 (3) con las terrazas de Maisí, donde se explica la existencia de anomalías de los elementos de Th y U de hasta $25 \times 10^{-4} \%$ y $44 \times 10^{-4} \%$ respectivamente, vinculándolos con la existencia de las formaciones Río Maya y Jaimanitas, la primera mucho más recristalizada y dura que las últimas, lo que favorece en conjunto con los movimientos neotectónicos la formación de terrazas que facilitan los procesos que conllevan a la irregular distribución de los elementos radioactivos siguiendo los patrones del relieve. El elemento uranio aparece entonces predominantemente en la primera terraza, seguido por una segunda terraza manifiestamente estéril en los radioelementos buscados, sin especialización radio geoquímica. El tercer nivel de terrazas presenta una especialización eminentemente thorífera y en la zona



superior, caracterizada por llanuras abrasivo-acumulativas, se observa en equilibrio natural todos los radioelementos, Fig. 9, (3): la diferente movilidad de cada uno de ellos determina su posición en tal o cuál nivel de terraza. El tipo de litología presente, favorable a la formación de cavidades por donde puedan circular las aguas subterráneas es un factor predominante en este tipo de distribución escalonada de los radioelementos.

La utilidad del LAGE en la cartografía de suelos puede ejemplificarse en la región de Gran Tierra, donde existen dos opiniones: Chang J.L. 2002, (3, 5) vincula las anomalías de K al desarrollo de la Fm. Chafarina de edad jurásica, Fig. 10. La Fm. Chafarina está constituida junto con las rocas de la Fm. Sierra Verde por bloques arrastrados hacia su posición actual, (8). Sánchez, R. y Rosales C.M. 1981 (8) vinculan los valores anómalos del canal pedestre integral (Fig. 10^a) con los suelos en la región de Gran Tierra y los procesos que los originaron. Tres muestras de estos suelos analizadas detectaron contenidos de Th por encima del Clark, por lo que los autores trataron de explicar la feracidad de los suelos de la región de Gran Tierra con las pequeñas concentraciones anómalas de ese elemento. Experimentos efectuados por ellos demostraron un enriquecimiento muy superficial. La relación con los afloramientos de la Fm. Chafarina con la extensión de los valores anómalos de K y aún su existencia en estratos subyacentes en el área Chang J.L. 2002 (3) no está todavía comprobada por los datos existentes. Sánchez R. y Apud A. 1981, en sus trabajos geoelectrónicos de Sondeo Eléctrico Dipolar en la región, diseñados para determinar la existencia de un basamento metamórfico bajo las formaciones sedimentarias del extremo Este de Cuba: Río Maya, Jaimanitas, Cabo Cruz, Maquey, etc. refirieron potencias de alrededor de 400 m. de secuencias sedimentarias de resistividades análogas a las superficiales; además el pozo E – 6 ubicado por los autores para este fin (8) no cortó asimismo las referidas rocas de la Fm. Chafarina en 300 m. de profundidad. Lufriú L., et al. 1996, (7, p-22) además, refieren la especialización radiogeoquímica de las rocas metamórficas de Cuba como eminentemente thoríferas, lo que coincide con lo planteado por Sánchez y Rosales, 1981 (8).

Otra aplicación del LAGE en tareas de cartografía de colas y halos de dispersión mecánica de los radioelementos puede ser observado en algunos sectores cercanos a fuentes fluviales de importancia, que de una u otra manera participan directamente en conjunto con la litología cercana a sus márgenes y a los rasgos geomorfológicos de su entorno en la conformación de los patrones descritos. En la Fig.11 se observan los patrones de distribución del K en algunos de los afluentes del río Cauto. Este río, el mayor de Cuba, con un muy amplio valle fluvial, recibe desde el Sur los aportes detríticos de las rocas eminentemente volcánicas presentes en la ladera meridional de las montañas de la Sierra Maestra que sin embargo no parecen ser las únicas responsables del patrón dendrítico de la distribución del K a lo largo del sistema fluvial. La amplitud de la anomalía alrededor del cauce de la fuente fluvial, habla de la vejez de su sistema de drenaje, periódicamente afectado por crecientes que desbordan su amplio cauce. La extensión de las anomalías de K desde el N, donde es ínfima la posible contribución de este elemento a partir de detritus de rocas volcánicas ricas en él, dice que puede existir además una contribución antropomórfica en el desarrollo de las zonas anómalas. El deslinde que ambas contribuciones tienen en la distribución espacial de los abanicos o halos de K requiere de un trabajo geomorfológico y litológico detallado, en la separación de cada una de las cuencas tributarias de todos y cada uno de los afluentes del sistema fluvial en combinación con el uso de los mapas del elemento uranio, muy vinculado a los fertilizantes ricos en fósforo ampliamente utilizados en los desgastados suelos de la región. El empeño en la recuperación de la cuenca del río Cauto pasa también sin dudas por las posibilidades que brindan los datos AGE en estas tareas.



Los humedales del Sur habanero pueden ser cartografiados por los contenidos anómalos mínimos de Th y U. Las concentraciones de ambos elementos transitan de manera brusca, conformando un límite sublatitudinal cuasiparalelo a la costa sur de La Habana, de valores muy cercanos a cero a valores mayores que 1.0 ppm. Las secuencias cuaternarias anegadas de esta región son las responsables de estos decrementos. Fig. 12.

La cartografía de secuencias volcánicas y terrígenas puede ser ejemplificada con la estrecha franja que ocupan las secuencias volcánicas de El Cobre indiferenciado en la región de Los Cerezos – Cajobabo, y la débil pero amplia anomalía sobre las formaciones San Luis y Cabacú en la región de Cabacú. La cartografía de las secuencias de la Fm. El Cobre se ve complicada en su frontera norte contigua por la presencia de las metavulcanitas de la Sierra del Purial, que si bien no presentan elevadas concentraciones de K en sus rocas, tampoco son un mínimo tan expresivo como lo pueden ser las rocas del complejo ofiolítico inmediatamente al N de ellas (zona de mínimos del elemento K al S de la anomalía de Cabacú), Fig. 13. Adicionalmente, el cuadro se complica por los valores anómalos correspondientes al cuerpo de dioritas de Jojo. En la región de Cabacú, la anomalía es más homogénea, y vinculada a los conglomerados polimícticos de la Fm. Cabacú representando la extensión en área de las formaciones terrígenas, San Luis incluido. El relieve llano y la red fluvial limitada del sector potencian estas características.

La cartografía de la elevación silicificada de Jacinto en la llanura camagüeyana a partir de los valores mínimos en los contenidos gammaespectrométricos de potasio (20) es también un buen ejemplo. Jacinto, un cerro testigo, relicto del magmatismo epitemal cretácico al N de Guáimaro, es una elevación de unos 250 m. de altura SNMM, compuesto por rocas silicificadas y cuarzo sericíticas. La cartografía de su emplazamiento real es muy importante por cuanto a él se relaciona el depósito de oro de adularia sericita de igual nombre, situado a unos 3.5 Km. al W de su cima. La localización del centro del sistema epitermal puede significar el descubrimiento de las zonas de bonanza de la mineralización aurífera, de ahí su importancia. En el mapa del radioelemento K la cota 100 de la elevación coincide casi exactamente con la isolínea cero del contenido de potasio, cartografiando parte de las alteraciones hidrotermales presentes en el sector. Fig. 14.

Dos casos ilustran claramente el uso del LAGE para la cartografía tectónica: la falla Pinar del Río y la falla El Cobre. La primera clave en la geología de una de las áreas más complejas y la segunda vinculada con el depósito VMS tipo Kuroko de El Cobre, que clasifica entre una de las mayores minas del mundo. La falla Pinar está muy bien representada como un mínimo alargado y curvo en su extremo occidental de los elementos de U y de Th. La mayor movilidad del U hace que la falla se manifieste con valores mínimos extendidos en una mayor área a ambos lados de su traza, algo que no ocurre con el mapa de concentración de Th, donde se observa un estrecho mínimo del elemento sobre la traza de la dislocación, Fig.15. Un caso parecido se manifiesta en la región de El Cobre, donde una falla de plumaje de igual nombre sin dudas estrechamente vinculada a la mineralización sulfurosa que conformó el yacimiento homónimo, está muy bien representada en el mapa del radioelemento Th. Esta vez, la traza de la falla no puede ser cartografiada con un mínimo de los valores de Thorio, sino con un cambio de nivel a modo de escalón que separa en general secuencias al sureste preponderantemente más thoríferas que las estériles que aparecen en el noroeste de la dislocación (Fig. 16) (21). Como colofón puede observarse el mapa del parámetro $W=qTh/qU$, (21), donde aparecen en el extremo noroeste, aparentemente estéril, anomalías interesantes de esta relación y evidentemente relacionadas con el vulcanismo en el área y posiblemente con la mineralización metálica, Fig.17, lo que comprueba al igual que en caso de la prospección gasopetrolífera, la



importancia de la realización de distintas transformaciones conocidas a los datos AGE para resolver tareas eminentemente cartográficas sobre diferentes escenarios y con distintos fines.

Existen otros muchos ejemplos de apoyo del LAGE a la cartografía de diferentes escenarios en la República de Cuba, entre ellos se pueden citar: la cartografía del límite formacional neogénico – cuaternario en el occidente de Cuba, mediante el cambio de los niveles de concentración II y III (2 ppm. - > 6 ppm.) al nivel I (2 ppm.) en los canales de U y Th (17); la cartografía de las cortezas de intemperismo ferroniquelíferas mediante la utilización de la especialización urano-thorífera en dependencia del tipo de corteza (2, 7), Fig. 18; la cartografía de los humedales de la ciénaga de Lanier a partir de los datos de los elementos U y Th, Fig. 19 y muchos otros más.

El último resultado mencionado pone en tela de juicio la decisión tomada durante la confección del Proyecto para la realización del Levantamiento Aerogeofísico de Cuba y los subsiguientes contratos que lo llevaron a efecto, de excluir las zonas de los humedales de la Ciénaga de Zapata y de la Ensenada de Corrientes y Guanahacabibes fuera de los trabajos del Levantamiento Aerogeofísico. Al parecer pesaron más los criterios de su futuro uso en la prospección de minerales y petróleo y gas que su posible utilidad cartográfica, lo que demuestra un estrecho conocimiento de las posibilidades del método.

Muchos otros usos pueden ser dados a estos datos además de los mencionados: méritos, en la obtención de relaciones entre los radioelementos asociados y distintas enfermedades recurrentes en determinadas zonas y bajo determinadas condiciones (11); de riesgos, en la predicción de escenarios favorables para la ocurrencia de deslizamientos (4).

El Levantamiento Aerogammaespectrométrico de La República de Cuba cumplió con los objetivos cartográficos para lo que fue realizado, su utilización queda validada en trabajos de esta índole para la escala 1:100000 y otras.

Referencias Bibliográficas

- Alfonso Roche, J.R., M. Pardo, J. Alvarez, N. Petrus y otros, 1993: "Informe sobre los trabajos metodológicos-experimentales de métodos geofísicos y geoquímicos no convencionales para la prospección de hidrocarburos someros en Cuba Septentrional (inédito)", ENG.
- Chang Bravo J.L. et al. 1990, "Resultados del Levantamiento Aerogeofísico Complejo de las provincias de Guantánamo, Santiago de Cuba y Holguín, sector Guantánamo Sur". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Chang Bravo J.L. 2002 "Influencia de los rasgos geomorfológicos en la migración de los radioelementos naturales". Resúmenes del 2do. Congreso Cubano de Geofísica, La Habana 2002"
- Chang Bravo J.L.; V. Suárez; E. Castellanos; J. Moreira; K.Núñez. 2002. "Análisis de riesgos por deslizamientos. Contribución a partir del estudio de la migración de los Radioelementos Naturales". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003. Comunicación Verbal.
- ICGC, 1981: Mapa de Suelos, Ministerio de la Agricultura, Edición 1 1981E-724.
- Lufriú, L. , I. Padilla y L. Corbea, 1989: "Utilización de la aerogammaespectrometría en la búsqueda de petróleo y gas". Boletín Técnico de Petróleo MINBAS No. 2, 13-17.
- Lufriú, L.; I. Padilla; L. Corbea. 1996 "Notas Explicativas al mapa del campo Aeromagnético y a los mapas de Radiación Gamma y concentraciones de U(Ra), Th, K a escala 1: 250000 de la República de Cuba" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Nicolaiev, A.; N. Núñez; S. Merestkov; R. Sánchez Cruz; P. Skorina; R. Cordobés; I. Shein; J. Revorido; C.M. Rosales, et al. 1981. "Informe sobre los Trabajos de Levantamiento Geológico 1:100000 y sus Búsquedas acompañantes 1: 50000; 1: 25000; 1: 10000 en las Montañas de La Sierra del Purial, Guantánamo", 1981. Archivo O.N.R.M. La Habana.



- Pardo Echarte, M. E., N. Petrus y otros, 1996: "Utilización de datos aerogammaespectrométricos para el reconocimiento de regiones gasopetrolíferas en Cuba"; un ejemplo: Pina-Ciego de Ávila. (en prensa), Ciencias de la Tierra y el Espacio.
- Padilla I. 1997. "Grado de estudio Aerogeofísico de La República de Cuba". Estudios sobre Geología de Cuba. IGP 1997; p-491, p-494. ISBN 959 - 243- 002- 0
- Padilla I. 2002. "Evaluación de las dosis de elementos radioactivos en la región central de Cuba". Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Geólogo-Geofísicas. Universidad de Campinas. Brasil. Comunicación Verbal.
- Petrus Marcos N. F. Prieto y otros 1998. "Rescate de la BD gammaespectrométrica de la parte occidental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Petrus Marcos N. "Visualización de los datos aerogammaespectrométricos para los estudios geológicos". V Congreso Cubano de Geología, La Habana 2003. Comunicación verbal.
- Prieto Caínzos R.; et al. 1989 "Red de Apoyo Aerogeofísica Nacional" Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2001. " Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región de Cuba Central" .2001. Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Prieto Castro F.; N. Petrus y otros 2000. "Creación de la Base de Datos Aerogammaespectrométrica de la región oriental de la República de Cuba". Archivo O.N.R.M. La Habana.
- Rodríguez Basante B. 1999. "Utilización de los métodos geofísicos en el desciframiento de los rasgos geológicos de Cuba occidental". Tesis para el grado de MSc, ITC. The Netherlands, 1999.
- Rodríguez Basante B.; R. Sánchez y otros 2003 "Identificación y clasificación de los errores más comunes presentes en la BD Gammaespectrométrica de Cuba". Comunicación Verbal.
- Sánchez Cruz R., B. Rodríguez y otros 2002. Tema de Investigación y Desarrollo No. 226 "Standarización de la BD AGE 1: 100000 de la República de Cuba" (Comunicación Verbal).
- Sánchez Cruz R.; N. Petrus 2002 "Sistema Epitermal Jacinto: Razones Geofísicas para reconsiderar su ubicación espacial". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.
- Sánchez Cruz R.; E. Escobar; X. Casañas; N. Petrus; A. Oviedo, 2002. "La Región de El Cobre: Un Reanálisis de su favorabilidad desde el punto de Vista Geofísico". V Congreso Cubano de Geología. La Habana 2003.

Nota: La cantidad de casos utilizados hace que la cantidad de figuras necesarias para ejemplificarlos vaya más allá de lo permisible en la impresión digital. Todas las figuras citadas están incluidas en la presentación.