

NUEVAS TECNICAS EN LA PROSPECCION PARA YACIMIENTOS DE FOSFATOS *, **

POR

V. E. MCKELVEY ***

* Traducido del Vol. II (Natural Resources), ps. 163-172, de la serie de artículos preparados por la conferencia de las Naciones Unidas sobre la aplicación de la ciencia y tecnología en beneficio de áreas subdesarrolladas, 1963.

** Publicación autorizada por el Director, U.S. Geological Survey.

*** Geólogo Jefe Asistente, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.

CONTENIDO

	Páginas
Introducción	49
Origen y ambientes de la sedimentación de fosforitas marinas	50
Facies de fosforita	54
Bibliografía	63-64

FIGURAS

Fig. 1. Corrientes superficiales en un océano imaginado, mostrando áreas de masas ascendentes de aguas ricas en nutrientes . .	51
Fig. 2. Distribución de masas de aguas ascendentes y fenómenos relacionados con ellas en los océanos modernos	54
Fig. 3. Sucesión lateral de ambientes y sedimentos en el mar de "Phosphoria"	57
Fig. 4. Relaciones estratigráficas entre las formaciones "Phosphoria", "Park City" y "Chugwater" en los Estados de Idaho y Wyoming	59

INTRODUCCION

1. Hace dos décadas, el fósforo fue llamado el “cuello de botella” para el alivio del hambre en el mundo.

Se creía que en América del Sur, Asia y otras extensas áreas de la tierra no había fuentes locales de este abono vital. Ahora el panorama es mucho más alentador, en parte porque se han desarrollado unos pocos depósitos de importancia, pero principalmente porque los avances tecnológicos prometen más fosfato disponible en el futuro.

2. Entre estos avances, tienen especial significación en los campos de la tecnología de beneficio y fertilización: a) Variedad de técnicas de lavado y flotación, que hacen posible ahora la producción de concentrados comerciales partiendo de depósitos inconsistentes con un contenido bajo entre 5 y 10 por ciento del P_2O_5 (1); b) Fertilizantes fosfáticos recientemente encontrados que no necesitan ácido sulfúrico o necesitan menos de la cantidad usual para producir las variedades ordinarias de superfosfato, razón por la cual se pueden fabricar donde el ácido sulfúrico escasea (2); c) Ciertas fosforitas, algunas aparentemente altas en hidroxilapatita se disuelven con relativa facilidad en las soluciones del suelo (a juzgar por su solubilidad neutra al citrato de amonio); por consiguiente, se pueden aplicar directamente sin tratamiento previo como fertilizantes en muchos suelos, por lo cual su precio en el mercado puede reducirse. Como ejemplos están los depósitos de la Isla de Curaçao, algunas del Africa del Norte (3) y las fosforitas recientemente descubiertas en el Desierto de Sechura en el Perú (4). Los experimentos adelantados por el Instituto de Pesquisas Agronómicas del Brasil, con la cooperación de técnicos de la U.S. Agency for International Development, indican que las fosforitas comunes, que son relativamente insolubles cuando se aplican en la mayoría de los suelos de climas templados, pueden ser usadas directamente en los suelos ácidos de los trópicos (5). Todos estos factores ayudarán a incrementar la disponibilidad geográfica y a disminuir los costos de los fertilizantes fosfáticos.

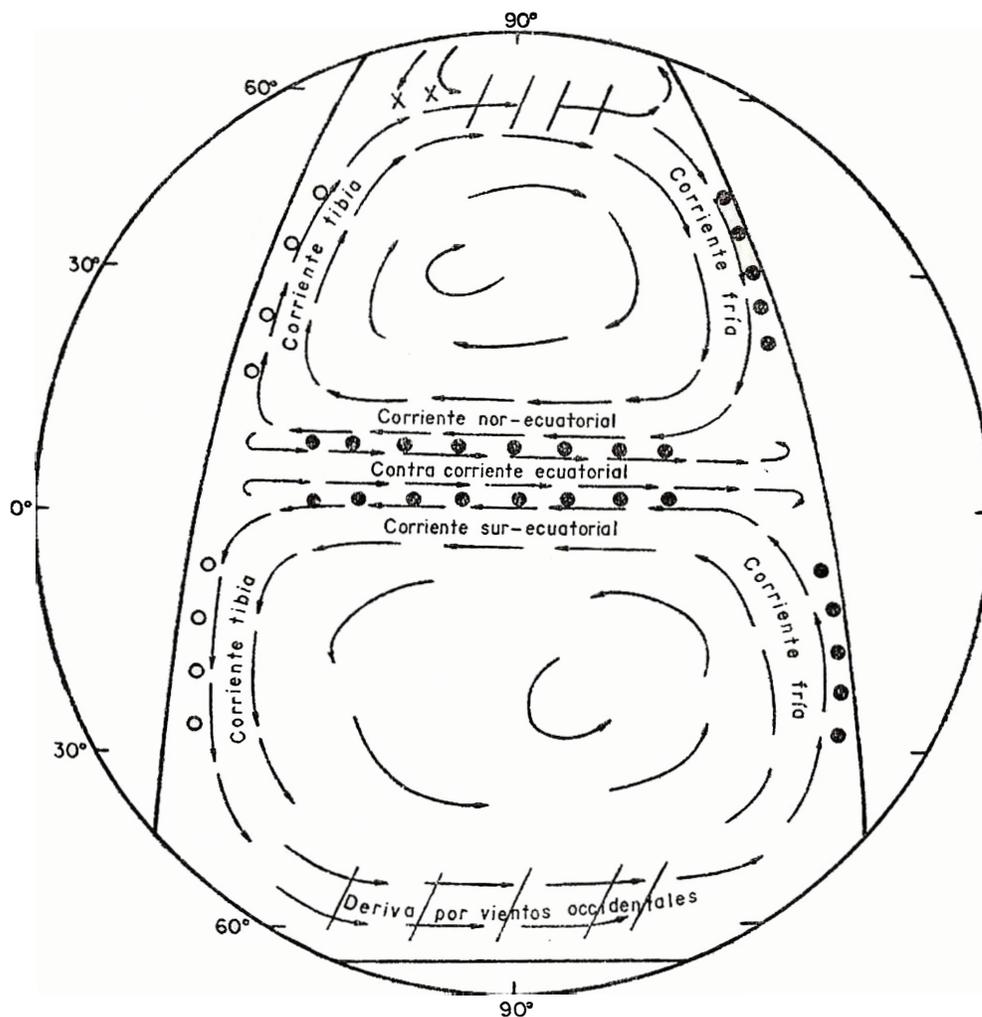
3. Igualmente importante, en el incremento de la disponibilidad geográfica de la fosforita, es el mejor conocimiento del ori-

gen de las fosforitas marinas obtenido de los extensos estudios de la formación "Phosphoria" del Pérmico, en el oeste de los Estados Unidos (6) y (7) y del análisis del medio ambiente marino moderno en el que se están formando actualmente fosforitas (6), (8), (10). Este mejor entendimiento del origen y ocurrencia de fosforitas marinas suministra guías útiles en la prospección, puesto que hace posible el reconocimiento de áreas geográficas y formaciones geológicas favorables para la ocurrencia de una clase importante de fosforitas. Este tópico, guías geológicas útiles para la prospección, y sus bases genéticas, es el objetivo principal de este estudio.

ORIGEN Y AMBIENTES DE LA SEDIMENTACION DE FOSFORITAS MARINAS

4. La solubilidad del fosfato en el agua del mar aumenta con la disminución del pH y de la temperatura (11); por esta razón el fósforo está más concentrado en las aguas frías profundas. Sin embargo, la circulación oceánica (un reflejo de la circulación atmosférica producido por el calentamiento solar combinado con la rotación de la tierra) ocasiona ascensión de las aguas de las profundidades del mar y conduce estas aguas ricas en nutrientes a la zona de fotosíntesis en áreas determinadas.

5. En un océano idealizado, los principales elementos del sistema de corriente son: un gran movimiento circular o giro en cada hemisferio (Fig. 1) en el cual el agua que se enfría en las latitudes polares, se mueve hacia el ecuador, siguiendo los bordes orientales del océano; y las aguas que se calientan en latitudes ecuatoriales, se desplazan hacia los polos (12). En este conjunto de movimiento oceánico las aguas frías ricas en nutrientes asoman a la superficie en cuatro circunstancias: a) Donde la corriente diverge de una costa o donde dos corrientes divergen entre sí, el efecto producido por las corrientes frías que se mueven hacia el ecuador ocasiona la ascensión de agua fría rica en fosfatos a lo largo de la costa, lo cual es incrementado por el movimiento hacia el océano de las aguas superficiales costaneras como resultado de los efectos combinados de los vientos dominantes y de la fuerza de Coriolis, ya que a medida que el agua superficial se mueve hacia el océano, el agua fría de la profundidad asciende en grandes masas para reemplazarla; b) Donde dos corrientes se encuentran para producir turbulencia; c) A lo largo del borde occidental de las corrientes de densidad que se mueven hacia los polos, y



XX Mezcla turbulenta.

/// Mezcla como resultado de enfriamiento invernal.

● Aguas ascendentes causadas por divergencia.

○ Aguas ascendentes por causas dinámicas.

Fig. 1 CORRIENTES SUPERFICIALES EN UN OCEANO IMAGINADO, MOSTRANDO AREAS DE MASAS ASCENDENTES DE AGUAS RICAS EN NUTRIENTES - (Vease Fleming, 1.957)

d) En las altas latitudes donde el agua de alta salinidad de los trópicos tiende a hundirse como resultado del enfriamiento invernal (Fig. 1).

6. Esta turbulencia profunda del mar está acompañada por efectos pronunciados, climáticos, biológicos y geológicos, especialmente en áreas de ascensión de grandes masas de agua producida por divergencia. La presencia de aguas frías a lo largo de las costas produce neblinas costaneras y desiertos de aire húmedo. Algunas de las áreas más secas del mundo son de este tipo de aire húmedo, quizás con algo de vegetación higrofítica pero sin lluvias. El desierto peruano y los del suroeste africano son buenos ejemplos.

7. Las aguas fertilizadas naturalmente, que están adyacentes a estos desiertos, forman los jardines marinos más exuberantes, porque las masas ascendentes de agua fría mantienen allí enormes cantidades de organismos (11), con diatomeas y otros fitoplanctónicos en un extremo de la cadena alimenticia, y peces, ballenas y aves marinas pescadoras en el otro. El florecimiento de dinoflagelados (mareas rojas) y de diatomeas es fenómeno biológico característico de las áreas de ascenso de grandes masas de agua, como lo es también la mortalidad masiva de peces que acompaña las mareas rojas y que puede ser consecuencia de éstas (9).

8. Los fenómenos geológicos que acompañan al ascenso de masas de agua son tal vez los más complejos de todos. El fosfato en la masa de agua ascendente se vuelve menos soluble a medida que aumentan el pH y la temperatura cerca de la superficie, y se precipita, bien inorgánica o bien bioquímicamente. Parte de la materia orgánica producida en la zona de fotosíntesis es llevada a la superficie por las corrientes ascendentes y dispersada o destruída por las corrientes superficiales, pero una buena parte de ella se decanta en el fondo produciendo condiciones reductoras aun en mar abierto. La sílice se precipita bioquímicamente por acción de las diatomeas, silicoflagelados y esponjas; los carbonatos se precipitan bien sea química o bioquímicamente en aguas costaneras más templadas, y en las lagunas que se extienden dentro de los desiertos adyacentes, se pueden formar salinas. Y por supuesto el guano y las rocas guanizadas en general, también son depósitos característicos de este medio ambiente.

9. Estos varios fenómenos se pueden observar hoy en día en muchas áreas de masas ascendentes, especialmente aquellas situadas a lo largo de las márgenes occidentales de los continentes, y casi todos los depósitos de fosfato ahora conocidos en el fondo del

océano están en esas áreas de aguas ascendentes y divergentes. (Fig. 2).

Sin embargo, los efectos geológicos son menos conocidos en el océano moderno que en los sedimentos antiguos y para ilustrar las características de los sedimentos formados en un ambiente de masas de agua ascendente, tenemos que volver ahora a la formación pérmica "Phosphoria" y a sus sedimentos asociados en el oeste de los Estados Unidos.

FACIES DE FOSFORITA

10. Las facies sedimentarias que se encuentran en este medio ambiente se resumen en la Figura 3, que representa una sección idealizada de las rocas depositadas sincrónicamente en el mar de "Phosphoria" en los Estados de Idaho y Wyoming. Como se muestra allí, la arcilla (shale) carbonosa oscura pasa gradual y progresivamente en dirección a los bajos, a arcilla (shale) fosfática, fosforita y dolomita; chert; varias facies de roca carbonática, y depósitos salinos y arcilla (shale) de color claro y rojo.

11. Movimientos epeirogénicos hacen que estos ambientes se desplacen lateralmente. Por consiguiente, a medida que el mar trasgrede y regrede, la sucesión lateral ilustrada en la figura 3 viene a reproducirse en total o parcialmente en el mismo orden o en orden inverso en la sección vertical. Y en la región en general, las facies de mar somero pueden traslaparse o intercalarse con facies de mar más profundo, en la sección vertical. Un ejemplo de tal secuencia de sedimentos intercalados se puede ver en la reconstrucción de la sección transversal de la formación "Phosphoria" y sus equivalentes estratigráficos, como se ilustra en la Figura 4.

12. La sucesión vertical de litologías no es en general el conjunto completo de sedimentos que ilustra la Fig. 3, ni están exactamente en el mismo orden que allí aparece, sino que pueden interrumpirse localmente por interestratificación de otras litologías. Igualmente la sucesión horizontal rara vez es tan regular o completa como la que muestra la Figura 3, puesto que el fondo del mar puede ser mucho más irregular de lo que se supone en el diagrama idealizado.

13. Esencialmente, sin embargo, el conjunto ilustrado en las figuras 3 y 4 es típico de fosforitas marinas depositadas en áreas de masas de aguas ascendentes, asociadas con divergencias. Las rocas típicas son arcilla negra (shale) fosforita y chert (o diatomita o lodolita silícea), y la sucesión vertical es con frecuencia

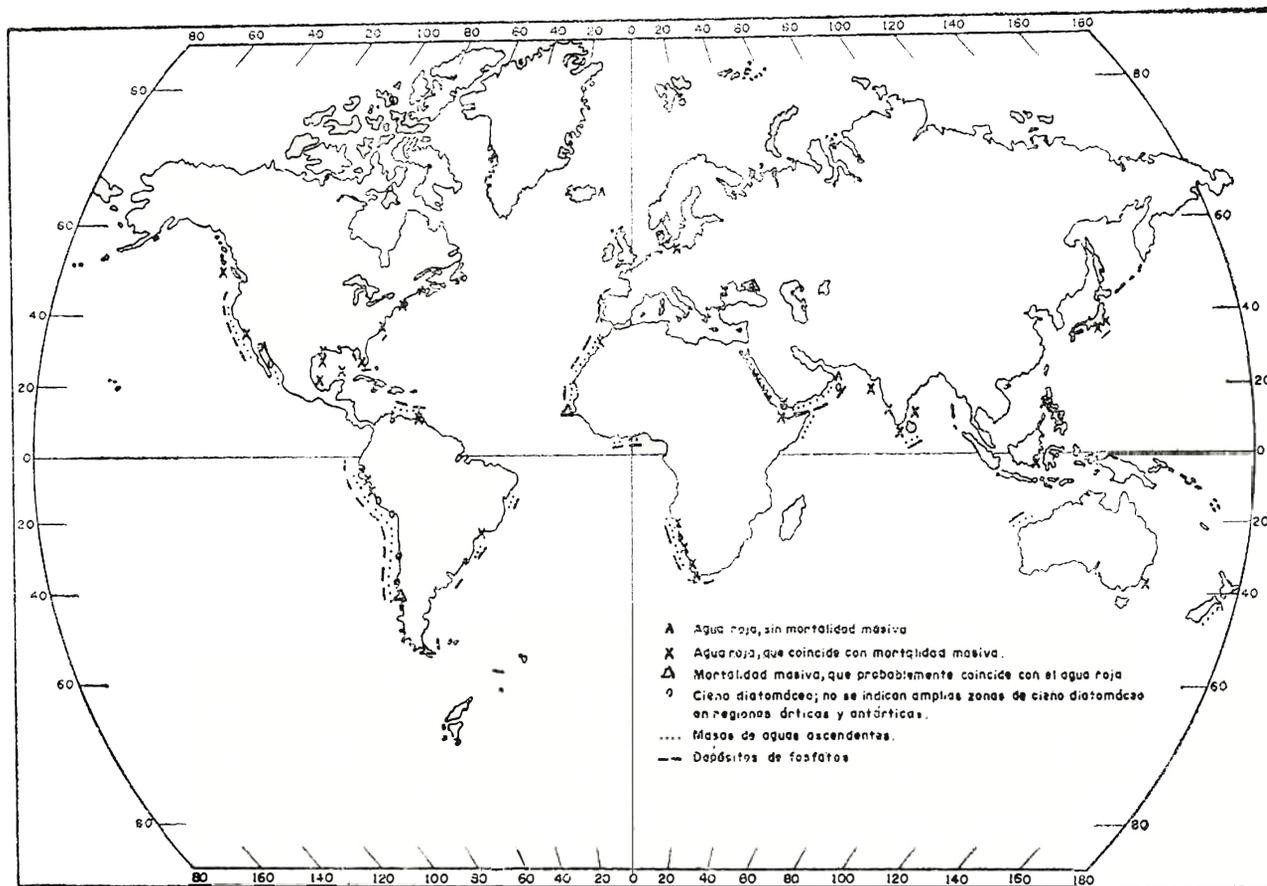


Fig.2 DISTRIBUCION DE MASAS DE AGUAS ASCENDENTES Y FENOMENOS RELACIONADOS CON ELLAS EN LOS OCEANOS MODERNOS (MODIFICADO DE BRONGERSMA-SANDERS, 1957, PARA INCLUIR DATOS SOBRE LA DISTRIBUCION DE DEPOSITOS FOSFATICOS).

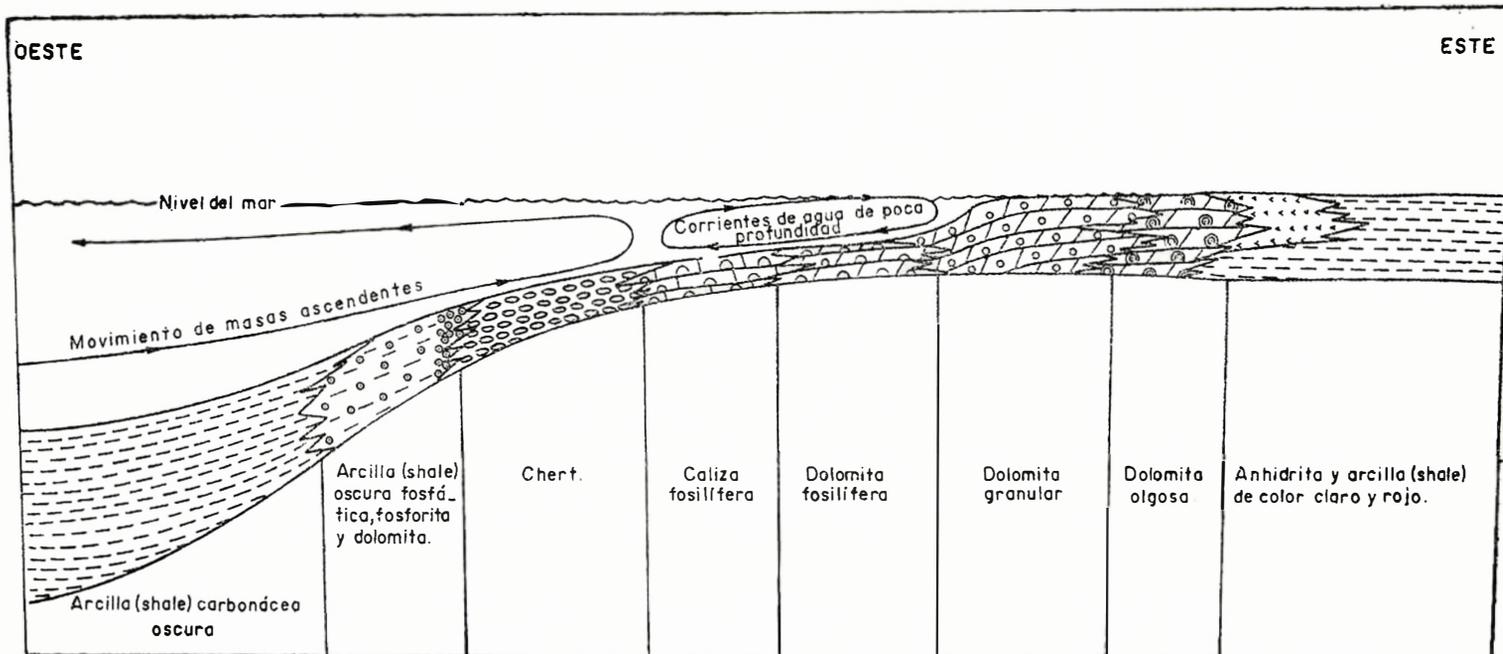


Fig. 3 SUCESION LATERAL DE AMBIENTES Y SEDIMENTOS EN EL MAR DE "PHOSPHORIA" (CHENCY Y SHELDON, 1.959)

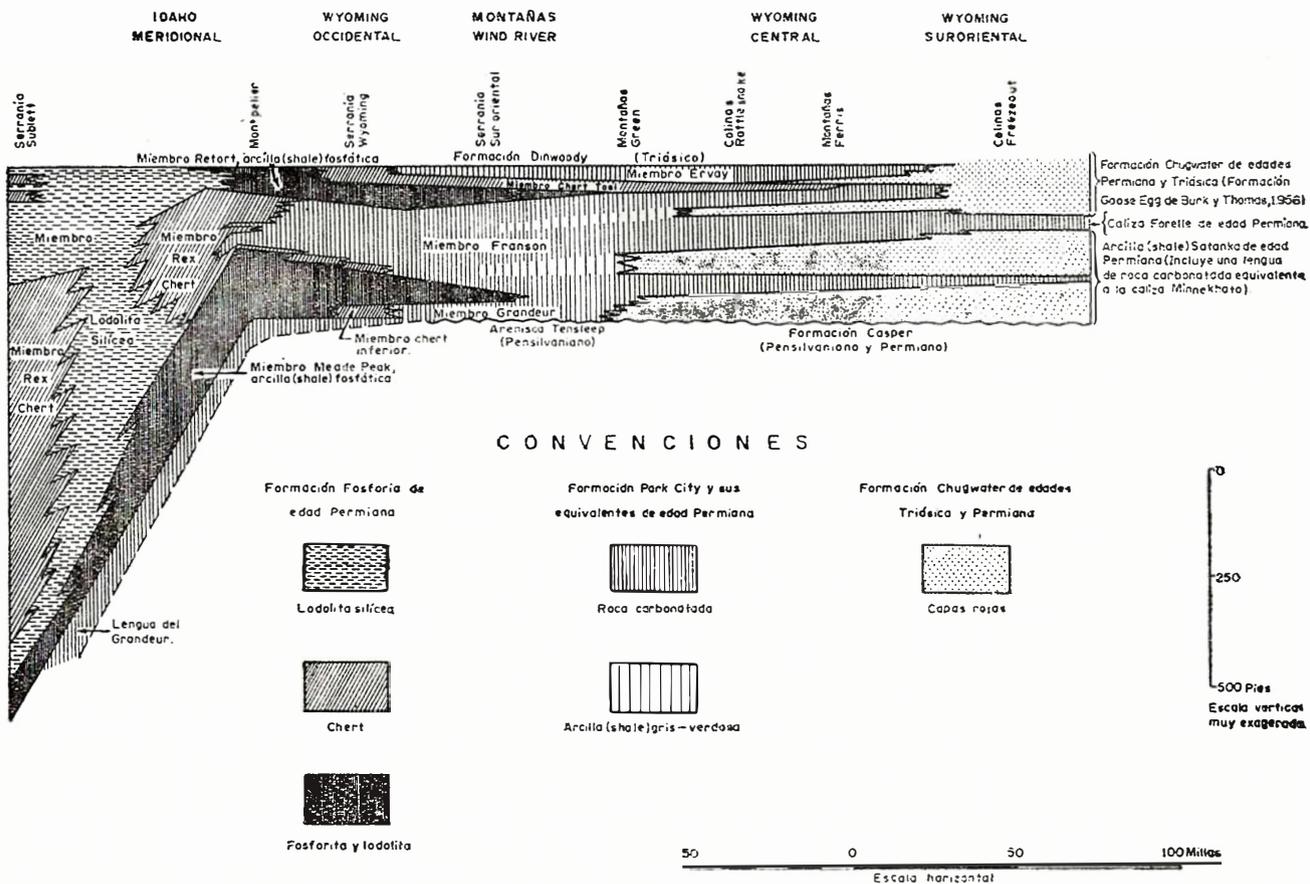


Fig.4 RELACIONES ESTRATIGRAFICAS ENTRE LAS FORMACIONES "PHOSPHORIA" "PARK CITY" Y "CHUGWATER" EN LOS ESTADOS DE IDAHO Y WYOMING (MEKELVEY Y OTROS, 1959)

no muy distinta de la que se representa en la Figura 4. Formaciones tales como la miocena Monterrey de California, que no contiene mucha caliza asociada pueden representar sedimentación a latitudes relativamente altas donde la temperatura es demasiado baja para favorecer la precipitación de roca carbonatada. Y aquellas calizas fosfáticas que no están asociadas con cantidades apreciables de arcilla negra (shale) o chert, que son comunes en el Mioceno de la costa norteamericana del Golfo de Méjico, tal vez se depositaron en áreas de ascensión dinámica de masas de agua o de mezcla turbulenta a lo largo del borde occidental de corrientes de densidad tibia, que se encuentran a lo largo del borde occidental de los océanos (Fig. 1). Estas corrientes no son ricas en nutrientes ni son tan frías como las aguas de masas ascendentes formadas por divergencia, y en latitudes bajas crean condiciones favorables para la precipitación de caliza, pero son aún suficientemente fértiles para sostener un crecimiento orgánico moderadamente rico.

14. El conocimiento del origen, ambiente de deposición y relaciones de facies de las fosforitas, proporciona dos clases generales de guías útiles en la prospección; unas que podemos llamar oceanográficas y otras geológicas o estratigráficas.

15. Las guías oceanográficas se basan en la distribución de las masas ascendentes en los mares modernos. Por la relativa estabilidad de muchos márgenes continentales desde finales del Mesozoico, las corrientes oceánicas han sido también relativamente estables. De aquí que muchas áreas de movimiento ascendente actual sean guías para la localización general de masas ascendentes de fines del Mesozoico y del Cenozoico y sugieren la ocurrencia de depósitos de fosfatos en rocas y arenas de playa de las regiones costaneras adyacentes. Los yacimientos de fosfato conocidos en California, Baja California, Venezuela, Marruecos, Senegal y Angola son ejemplos de tales depósitos. Los yacimientos de fosfatos descubiertos recientemente por George Nicol en el desierto de Sechura en el Perú fueron encontrados siguiendo este medio de aproximación. Se pueden esperar buenos resultados en la búsqueda de fosforita en la vecindad de otras áreas de masas ascendentes, por ejemplo en Chile, Africa suroccidental, Dahomey, La Costa del Marfil, Río de Oro y los países vecinos al Mar de Arabia.

16. El actual fondo del mar en áreas de masas ascendentes, contiene también depósitos de fosfatos que tal vez puedan ser recuperados por dragado (13). Es muy posible que la mayoría de los depósitos de guano en la vecindad de masas ascendentes ya estén descubiertos, pero también es probable que las rocas fosfatizadas formadas por el lavado de anteriores depósitos de guano, que al

presente están totalmente destruidos, no hayan sido tan bien prospectadas.

17. Las guías geológicas útiles en la búsqueda de depósitos de fosfatos son aquellas suministradas por la presencia de miembros compañeros de la familia de la fosforita, principalmente la arcilla (shale) negra bituminosa y el chert u otras rocas silíceas. Puede presumirse que casi cualquier arcilla (shale) marina negra bituminosa o chert estratificado (exceptuando en general los cherts interestratificados con rocas volcánicas y otras sucesiones gruesas de sedimentos eugeosinclinales) pueda tener fosforita o arcilla (shale) fosfática asociada, aunque tal vez no en depósitos de espesor o calidad explotables. El análisis de las relaciones regionales de las litofacies puede hacer posible el uso de otros miembros de la familia de sedimentos que muestra la figura 3 —por ejemplo capas rojas y salinas— para identificar los horizontes que pueden ser favorables lateralmente para la ocurrencia de fosforita.

18. Un brillante ejemplo de la aplicación de la aproximación geológica a la prospección, es el descubrimiento hecho por R. P. Sheldon de la fosforita en sedimentos del Cretáceo Superior en la región de Gaziantep, Turquía, en agosto de 1962. Sheldon, trabajando en el proyecto del U.S. Geological Survey, patrocinado por la Mining Assistance Commission de Turquía y la U.S. Agency for International Development, empezó su búsqueda de fosfatos con el estudio de la literatura sobre las relaciones de la paleogeografía y las litofacies en Turquía; luego examinó los registros de rayos gamma de pozos, en un intento para identificar los horizontes específicos fosfáticos; y después estudió en el campo las áreas favorables y los horizontes así definidos.

19. El uso por Sheldon de los registros de rayos gamma merece especial mención, porque ilustra una herramienta muy útil en la prospección de terrenos inexplorados. La mayoría de las fosforitas marinas contiene de 0.005 a 0.02 por ciento de uranio, cantidad suficiente para ser detectada no solo en registros de rayos gamma, sino también en circunstancias favorables, por reconocimientos radiométricos aéreos. Sin embargo, las fosforitas ricas en hidroxilapatita (Sechura, Perú, por ejemplo), y casi todas las rocas guanizadas contienen muy poco o nada de uranio, de modo que este método puede no ser aplicable a ellas.

20. En la prospección de fosforitas, vale la pena insistir que muchas de ellas, especialmente las que están asociadas con arcillas (shales) negras, es fácil que estén veladas o en el mejor de los casos mal expuestas, y deben ser prospectadas por medio de trincheras o de apiques. Además, la fosforita no es una roca muy fácil

de distinguir, y las personas que no estén familiarizadas con su apariencia pueden pasarla por alto en muestras de mano o en afloramientos. Una valiosa ayuda en su identificación en el campo es el hecho de que los granos fosfáticos tienen generalmente la forma de bolitas, oolitas, nódulos o pisolitas. Un ensayo de campo sencillo y seguro, en general, se obtiene con la aplicación de unas pocas gotas de ácido clorhídrico concentrado. En rocas que contengan más de 5 al 10 por ciento de P_2O_5 producirá una mancha blanca cuya densidad es proporcional, a grandes rasgos, al contenido de fosfato (14).

Con frecuencia se forma una película similar de eflorescencia de modo natural en superficies meteorizadas. Se pueden hacer en el campo análisis semicuantitativos de fosfatos por el método descrito por Shapiro (15).

21. Además de las fosforitas marinas depositadas en ambiente de masas ascendentes, hay otras clases de depósitos de fosfatos, importantes económicamente y probablemente son más abundantes de lo que se reconoce hasta ahora. Las rocas fosfatizadas derivadas del guano ya han sido mencionadas; otros tipos importantes son los depósitos residuales de fosfatos, incluyendo aquellos concentrados en antiguas inconformidades, y los depósitos de apatita de origen ígneo que están asociadas comúnmente con rocas intrusivas alcalinas. Las áreas favorables para la ocurrencia de depósitos explotables de fosfato son muy extensas y podemos esperar que una prospección intensa aumentará la disponibilidad de este nutriente vital en muchas áreas del mundo.

BIBLIOGRAFIA

- (1) RUHLMAN, E. R., Phosphate rock: Part I, Mining, beneficiation and marketing: U.S. Bureau of Mines Info. Circular 7814, 33 pp. (1958).
- (2) WALTHALL, J. H., Chemistry and technology of new phosphate materials, 205-255 in Fertilizer technology and resources in the United States, Agronomy Mon. 3, Acad. Press, New York (1953).
- (3) JACOB, K. D., W. L. HILL, Laboratory evaluation of phosphate fertilizers, 209-346, in Soil and fertilizer phosphorus in crop nutrition: Agronomy Mon. 3, Acad. Press, New York (1953).
- (4) CHENEY, T. M., Written communication (1961).
- (5) HAYNES J. L., Written communication (Oct. 1961).
- (6) MCKELVEY, V. E., R. W. SWANSON, R. P. SHELDON, The Permian phosphate deposits of western United States: 19th Internat. Geol. Cong. Comptes Rendus, sec. II, 45-64 (1953).
- (7) MCKELVEY, V. E., J. S. WILLIAMS, R. P. SHELDON, E. R. CRESSMAN, T. M. CHENEY, R. W. SWANSON, The Phosphoria, Park City, and Shedhorn

- formations in the western phosphate field: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 313-A, 1/47 (1959).
- (8) KAZAKOV, A. V., The phosphorite facies and the genesis of phosphorites: Trans. Sci. Inst. Fertilizers and Insecto-fungicides, № 142 (published for the 17th Internat. Geol. Cong.) Leningrad, 95-113 (1937).
 - (9) BRONGERSMA-SANDERS, M., Mass mortality in the sea: Treatise on marine ecology and paleoecology, Ch. 29, 941-1010, I, Ecology. Geol. Soc. American Mem. p. 67 (1957).
 - (10) MCKELVEY, V. E., Relation of upwelling marine waters to phosphorite and oil (abs.) Geol. Soc. America Bull., 70, p. 1783 (1959).
 - (11) SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON, R. H. FLEMING, The Oceans: Prentice-Hall, New York, 1086 pp. (1946).
 - (12) FLEMING, R. H., General features of the ocean: Ch. 5, 87-108 in Treatise on marine ecology and paleoecology I, Ecology, Geol. Soc. America Mem. p. 67 (1957).
 - (13) MERO, J. L., Sea floor phosphorite: California Mineral Inf. Service 14, № II, 1-12 (1961).
 - (14) GARDNER, L. S., Phosphate deposits of the Teton Basin area, Idaho and Wyoming: U.S. Geol. Survey Bull. 944-A, 1/37 (1944).
 - (15) SHAPIRO, L., Simple field method for the determination of phosphate in phosphate rocks: Am. Mineralogist, 37, 341-342 (1952).