

LA COMPOSICION QUIMICA DE LAS AGUAS DE FORMACION:  
OTRO INSTRUMENTO EN LA INTERPRETACION GEOLOGICA

Por Carlos Soto R.

Compañía Shell de Venezuela  
Apartado 809, Caracas 101

(Recibido en mayo de 1975, en forma revisada en octubre de 1975)

RESUMEN

Es posible que el análisis de la composición química del agua de formación se convierta en un nuevo instrumento para la interpretación de la historia geológica de las cuencas sedimentarias. Su utilización como elemento de juicio adicional en la solución de problemas geológicos no ha sido muy difundida. En este trabajo se ofrece una metodología a seguir para poder cumplir con este objetivo.

ABSTRACT

The water that accompanies the rocks in the deep basins has never been a motive really studied by the geologist that are interested in investing the geological history of the sedimentary basins. Several are the parameters that are used in these studies: the fossils, the litology, the structures, types of sedimentations, electric logs, geophysical methods, ect. These instruments are important, but other instruments are also necessary.

The results to obtain the chemical analysis of several analysis of water to permit establish thier are two systems of classification. The Stiff diagram differs with 4 types of water: X, Y, Z and V and the Sulin diagram is classified accordingly to its origin in: connatas (X, Y, V) and meteorics (Z). At the same time this is subdivided accordingly to its ionic composition.

It is possible that the analysis of the chemical composition of the formation waters will be a new instrument used for the interpretation of the geological history of the sedimentary basins.

METODOS DE CLASIFICACION

Los análisis de agua muestran el contenido de los iones principales, a saber: los cationes Na, Ca y Mg, y los aniones Cl, SO<sub>4</sub> y HCO<sub>3</sub>. Estos análisis vienen dados en partes por millón, pudiendo considerarse equivalentes a miligramos por litro, los cuales a su vez se convierten a miliequivalentes por litro y a miliequivalentes por ciento para ser representados gráficamente en los diagramas de Stiff y Sulin respectivamente.

Diagrama de Stiff

Los miliequivalentes de cationes y aniones son representados a izquierda y derecha de una línea vertical (Fig. 1). Los valores se unen con líneas rectas para conformar una figura característica para cada tipo de agua. La escala utilizada para cada ión debe ser cuidadosamente escogida antes de iniciar la construcción de los gráficos (STIFF, 1951).

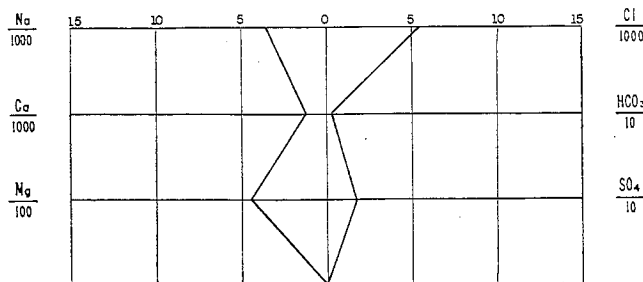
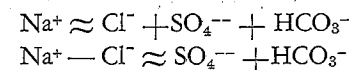


Fig. 1. Diagrama de Stiff (meq./lt)

Diagrama de Sulin

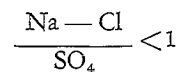
SULIN (1974) se basó en que las aguas, de acuerdo a su composición química, pueden clasificarse en aguas en condiciones hidrodinámicas o meteoricas y aguas en condiciones hidrostáticas o connatas (Fig. 2).

Las aguas meteoricas contienen SO<sub>4</sub> y HCO<sub>3</sub>, pero muy poco Ca y/o Mg. El Na es predominante,

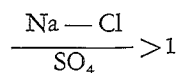


de donde Na/Cl > 1

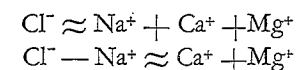
Las aguas meteoricas se clasifican en aguas de sulfato de sodio



y aguas de bicarbonato de sodio

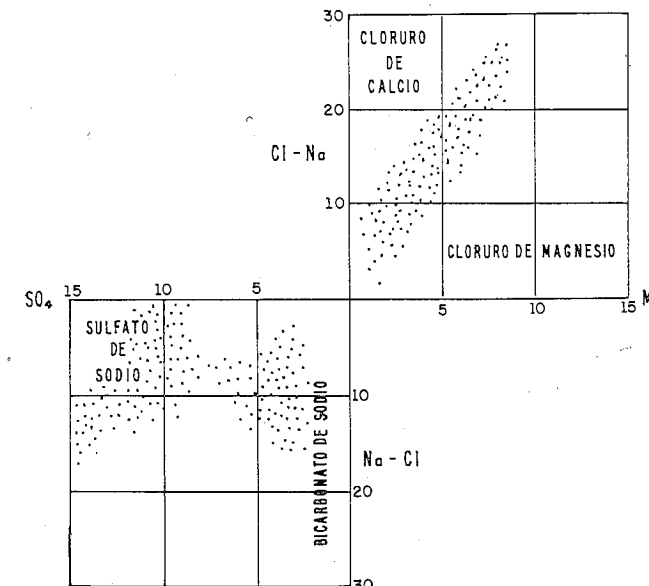


Las aguas connatas contienen poco SO<sub>4</sub> y/o HCO<sub>3</sub> y prácticamente el único anión es Cl<sup>-</sup>,

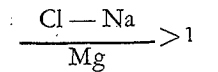


de donde Na/Cl < 1

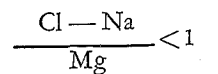
DIAGRAMA DE SULIN  
(% meq/l)



Las aguas connatas se clasifican en agua de cloruro de calcio



y aguas de cloruro de magnesio



CLASIFICACION GENETICA DE AGUAS			
METEORICAS		CONNATAS	
Na = Cl + SO <sub>4</sub> + HCO <sub>3</sub>		Cl = Na + Ca + Mg	
Na/Cl > 1		Na/Cl < 1	
SULFATO DE SODIO		BICARBONATO DE SODIO	
Na-Cl / SO <sub>4</sub>	< 1	> 1	
Cl-Na / Mg		> 1	< 1
		CLORURO DE CALCIO	CLORURO DE MAGNESIO

Fig. 2. Diagrama de Sulin. Clasificación genética de las aguas

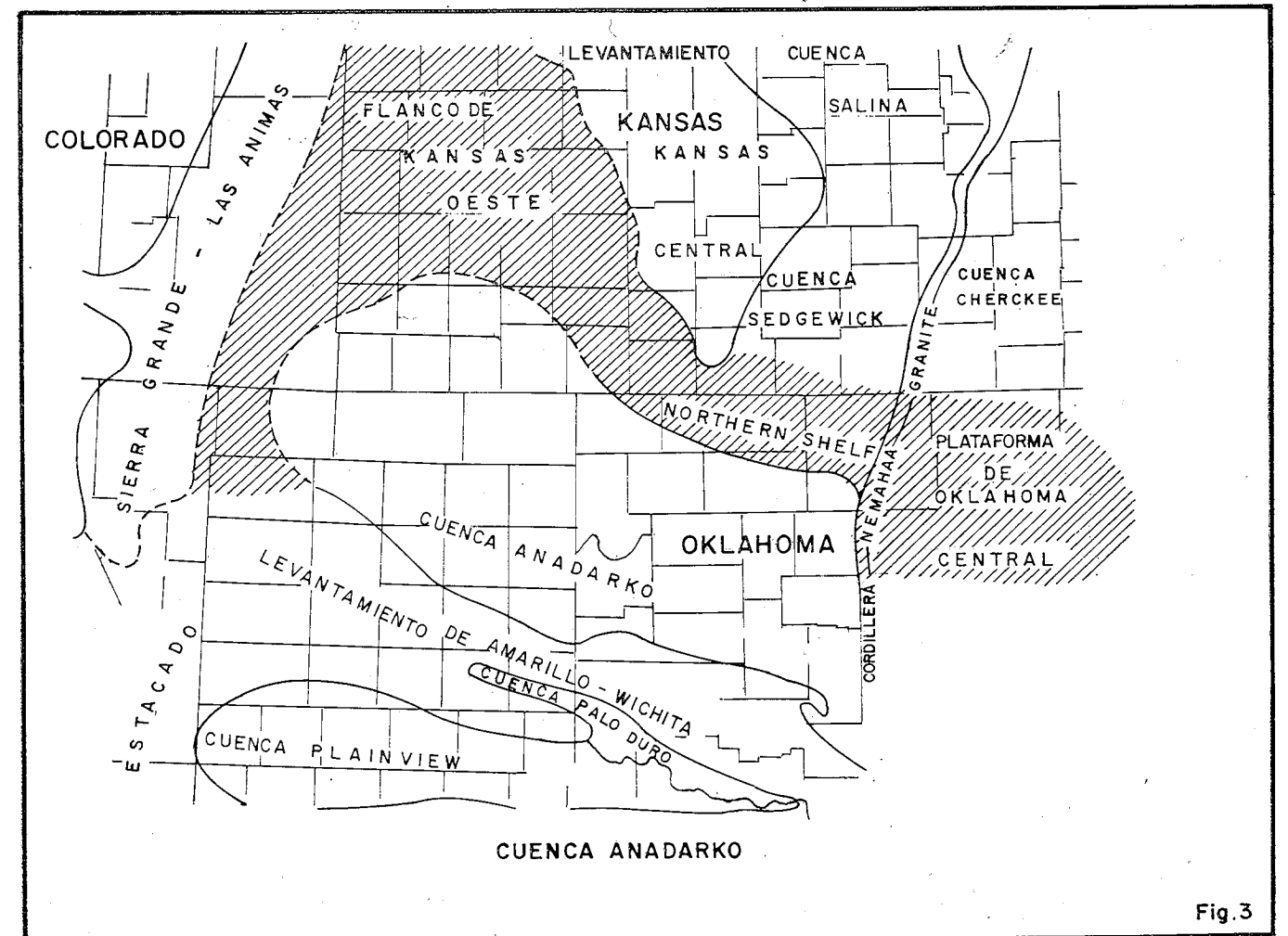


Fig. 3. Cuenca Anadarko (Soto, 1974)

Una vez clasificadas las muestras de agua y conociendo los horizontes estratigráficos de donde han sido tomadas, podemos llegar a interpretar aspectos de la historia geológica de una cuenca sedimentaria.

Para ilustrar esto, tomaremos como ejemplo la Cuenca Anadarko, situada en la parte noroccidental de Oklahoma, Estados Unidos (Fig. 3). Esta cuenca está limitada al oeste por el levantamiento de Sierra Grande, al sur por las Montañas de Amarillo y al norte y noreste por un área de plataforma. Nuestro análisis se va a limitar a las áreas oeste y sur, donde se concentró la principal actividad tectónica.

El límite oeste de la cuenca, lo constituye el levantamiento de Sierra Grande, contra el cual se acuñan todas las formaciones desde el Missisipiense hasta el Pérmico (Fig. 4). En este sector tenemos análisis desde el Pensilvaniense hasta el Pérmico Inferior. Según estudios de algunos investigadores, toda el área de transición o acuñamiento entre las formaciones correspondientes a este intervalo con el levantamiento de Sierra Grande, podría constituir un área discordante o de cambio de facies, representada por los sedimentos arcósicos o granito lavado de Sierra Grande y los sedimentos marinos de las formaciones adyacentes. Esos sedimentos clásticos habrían sido producto de meteorización "in situ" durante las diferentes etapas del levantamiento.

SISTEMA	SERIE	GRUPO	NOMENCLATURA LOCAL	
			CAMPO PANHANDLE	CAMPO HUGOTON
PÉRMICO	LEONARD	SUMNER	RED CAVE	RED CAVE
			WICHITA	WICHITA
	WOLFCAMP	CHASE	BROWN DOLOMITE	HERINGTON KRIDER
			WHITE DOLOMITE	WINFIELD
			MOORE Co. LIME	FT. RILEY
			ARK. DOLOMITE	
			ARK. LIME	WREFORD
			COUNCIL GROVE	
	ADMIRE			
	PENSILVANIENSE	VIRGIL	WABAUNSEE	
SHAWNEE			SHAWNEE	
GRANITO PE				

Fig. 4. Columna estratigráfica. (Tomado de PIPPEN, 1970)

El análisis de las muestras de agua de este sector evidencia una posible comunicación entre el Pérmico y el Pensilvaniense. Las aguas del Pérmico Inferior (tipo V) fueron identificadas como aguas connatas de áreas profundas, con la particularidad de contener un alto porcentaje de sulfato, lo cual no es característico de este tipo de agua. La presencia de evaporitas en las formaciones pérmicas de la región explica esta situación. El agua del Pensilvaniense Inferior, correspondiente a la Formación Morrow, también se identificará como agua connata del tipo cloruro de calcio, pero mucho menos concentrada y con alto contenido de  $SO_4^{2-}$ . El agua de esta misma formación, hacia el centro y este de la cuenca, no contiene sulfato.

La Formación Morrow está constituida por lentes de arená que descansan discordantemente sobre los sedimentos missisipianos en la parte occidental de la cuenca y gradan a los clásticos arcósicos que flanquean la Sierra Grande. Es

posible que las aguas con alto contenido de sulfato se escurrieran desde el Pérmico a través del granito lavado, penetrando la discordancia del Missisipiense y se mezclaran con las aguas originalmente connatas (tipo Y) de la Formación Morrow (Fig. 5), dando lugar a un tipo de agua diferente (tipo X). Esto apoya la idea de la presencia de una zona permeable entre el Pérmico Inferior y el Pensilvaniense Inferior, explicando a su vez el contenido de sulfato en las aguas de la Formación Morrow al oeste.

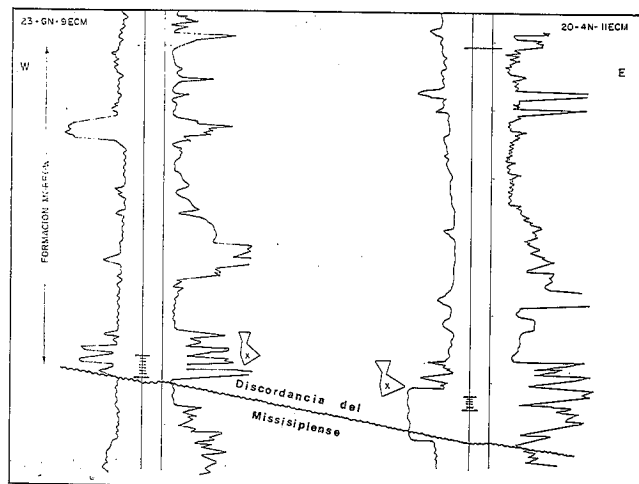


Fig. 5. Localización estratigráfica de las aguas tipo X

Hacia el centro de la cuenca, el análisis de las muestras de la Formación Morrow indicó la presencia de aguas connatas tipo cloruro de calcio, las cuales representan aguas que normalmente deben encontrarse en cuencas profundas (tipo Y). En la parte surcentral y hacia su extremo este, el análisis dio como resultado un tipo de agua diferente que se identificó como tipo Z (Fig. 6), la cual es un agua diluida con alto contenido de bicarbonato, característico de aguas meteóricas en circulación. Esto plantea una situación anómala, ya que lo común es que la salinidad aumente con la profundidad. Muestras de agua tomadas en este sector a formaciones más jóvenes resultaron con un contenido de iones bastante alto, y se clasificaron como connatas (clase cloruro de sodio). Es importante señalar que en el área donde se encontraron aguas del tipo Z se midieron presiones altas. Buscando una explicación a este fenómeno se encontró que existe una relación entre las presiones altas y las aguas diluidas de la Formación Morrow. En el proceso de compactación el agua intersticial es expulsada de los poros de las rocas en la medida que el peso de la columna sedimentaria va aumentando, produciéndose un equilibrio entre el peso de los sedimentos y las presiones soportadas por el agua y los granos de la roca. Este equilibrio da lugar a presiones normales. Cuando el agua no puede ser expulsada, el equilibrio no se establece y la presión aumenta por encima de lo normal. Se ha tratado de explicar esta situación como producto de una sedimentación rápida, lo cual produciría, en un corto tiempo, una abundante acumulación de sedimentos que no permitirían un proceso de compactación normal. Esta es la sedimentación característica de la parte sureste de la cuenca de Anadarko, la cual, comparándola con modelos establecidos, pudo identificarse como una "yoked basin" (KRUMBEIN & SLOSS, 1963), que es una cuenca cratónica caracterizada por un área subsidente, adyacente a un levantamiento complementario (montañas de Amarillo) que pro-

porciona detritus al área de subsidencia. El fallamiento en el flanco levantado es típico de estas cuencas y la afluencia

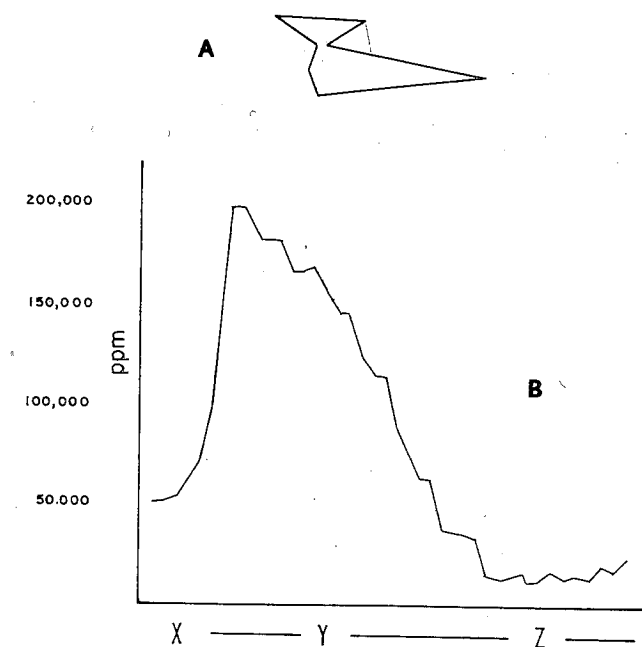


Fig. 6. (A) Aguas del Pérmico. (B) Aguas del Pensilvaniense (Formación Morrow). (C) Disminución de la concentración con la profundidad

de sedimentos es sumamente rápida (Fig. 7). Al mismo tiempo que la presión aumenta debido a la interrupción en el proceso de compactación, el agua entrampada no tiene oportunidad de moverse y tiende a mantener su composición química original. Estas aguas pueden denominarse inaduradas, pues a pesar de su identificación como aguas meteóricas en condiciones de circulación hidrodinámicas, se sabe que no están comunicadas con la superficie. La composición química de esas aguas y su clasificación como aguas meteóricas diluidas explica el desarrollo de altas presiones en el área e identifica tectónicamente la cuenca (DICKY & HUNT, 1972).

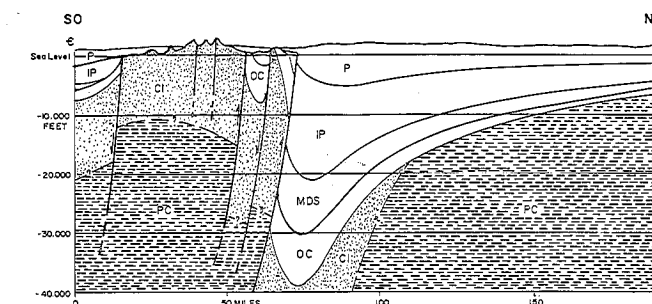


Fig. 7. Corte suroeste-noreste de la cuenca Anadarko. (Tomado de JOHNSON, 1972)

#### CONCLUSION

La utilización de la composición química del agua de formación constituye un elemento de importancia para interpretar la historia geológica de una cuenca; más aún, este tipo de estudios puede ayudar en la solución de problemas estratigráficos de carácter local como lo sería las correlaciones detalladas en áreas donde los métodos tradicionales tales como registros eléctricos, paleontología, palinología, etc., no ofrecen elementos de juicio concluyentes. En estos casos, la información obtenida por caminos rutinarios podría ser complementada con la utilización del método descrito en el estudio en consideración.

#### BIBLIOGRAFIA

- DICKEY, P. and J. HUNT (1972). "Geochemical and hydrogeologic methods of prospecting for stratigraphic traps". *Am. Assoc. Pet. Geol.*, Mem. 16, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 136-167.
- JOHNSON, K.S. (1972). "Generalized geologic cross sections in Oklahoma". *Educational Publication 1 of Oklahoma Geological Survey*, U.S.A.
- KRUMBEIN, W.C. and L.L. SLOSS (1963). "Stratigraphy and sedimentation". W.H. Freeman and Company, San Francisco, U.S.A., 660 p.
- PIPPEN, L. (1970). "Panhandle-Hugoton field, Texas, Oklahoma, Kansas, the first fifty years". In *Geology of giant petroleum fields* ed. M.T. Halbouty, *Am. Assoc. Pet. Geol.* Mem. 14, Tulsa, Oklahoma, U.S.A., 204-222.
- SOTO, C. (1974). "Chemical composition of deep subsurface waters of the Anadarko Basin". *Unpublished M.S. Thesis*, The University of Tulsa, U.S.A., 60 p.
- STIFF, H.A. (1951). "The interpretation of chemical water analysis by means of patterns". *Am. Inst. Mining Metall and Pet. Eng., Trans.*, U.S.A., 192-376.
- SULIN, V.A. (1974). "Waters of petroleum formations in the system of natural waters" Moskow; U.R.S.S., Yostoptekhizdat, 96 p.