

METODOLOGIA DEL CALCULO DEL GRADO DE INCRUSTACION DEL AGUA EN EL ACUIFERO DE TEHUACAN, PUE.

Por el Ing. Juan Manuel Lesser Illades

GENERALIDADES

En los alrededores de Tehuacán, Pue., existe un acuífero explotado por galerías, pozos y norias. El agua de este acuífero, se caracteriza por tener una gran cantidad de sales en solución, en especial de carbonatos de calcio y de magnesio.

Debido a sus características, esta agua es embotellada por firmas muy conocidas como son Aguas de Tehuacán, San Lorenzo, Garci-Crespo, Peñafiel y otras.

Al ser utilizada esta agua como potable para la ciudad de Tehuacán, produce incrustación en las tuberías de la red de distribución, causando problemas y molestias a los habitantes de la ciudad.

OBJETIVO

El objetivo de este artículo, es el de presentar la metodología del cálculo del grado de incrustación del agua, tomando como ejemplo, para ello, el acuífero de Tehuacán, Pue.

INTRODUCCION

En el área estudiada, el agua proviene de la lluvia, donde parte de ésta al precipitarse sobre las formaciones geológicas, se infiltra y corre a través de ellas. Al circular por el subsuelo, entra en contacto con diversas rocas, disolviendo las sales minerales que las forman hasta alcanzar el límite de saturación, a partir del cual comienzan a precipitarse los sólidos disueltos.

Las principales rocas que afloran en el área y con las cuales el agua tiene contacto son:

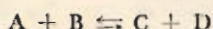
Roca	Mineral	Composición
Caliza	Calcita	CaCO ₃ Carbonato de calcio
Dolomita	Dolomia	CaMg (CO ₃) ₂ Carbonato doble de calcio y magnesio
Yeso	Yeso	CaSO ₄ · H ₂ O Sulfato de calcio hidratado

METODO DE CALCULO

El cálculo del grado de incrustación de calcita, dolomita y yeso de una muestra de agua, se hace de la siguiente forma.

Se obtiene la constante de incrustación (Ki) para cada compuesto como se muestra más adelante y se compara con su constante de equilibrio (Ke) correspondiente (HEM, 1970). Cuando para una muestra de agua, los valores de (Ki) son mayores que los de (Ke), esta es un agua incrustante y cuando los valores de (Ki) son menores a los de (Ke), el agua es corrosiva.

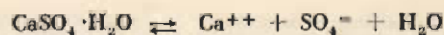
Para obtener la constante de incrustación (Ki), se aplica la Ley de Acción de Masas, la cual señala que, si en una reacción química se cumple lo siguiente:



Entonces la constante de incrustación es igual a:

$$K_i = \frac{[C] [D]}{[A] [B]}$$

En esta relación los paréntesis indican las actividades de los iones que encierran. Para el caso del sulfato de calcio (yeso), éste se disocia según la siguiente reacción:



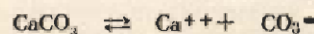
Aplicando la Ley de Acción de Masas, obtenemos que la constante de incrustación es igual a las actividades de los productos entre los reactantes, o sea:

$$K_i = \frac{[Ca^{++}] [SO_4^{-}] [H_2O]}{[CaSO_4 \cdot H_2O]}$$

Las actividades de los compuestos es igual 1, por lo tanto:

$$K_i = [Ca^{++}] [SO_4^{-}]$$

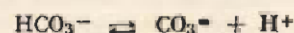
De manera similar para el carbonato de calcio (calcita) se tiene:



$$K_i = [Ca^{++}] [CO_3^{-}] \quad (1)$$

Debido a que los análisis no reportan carbonatos (CO₃⁻), se sustituyen éstos por bicarbonatos en la siguiente forma:

El bicarbonato (HCO₃⁻) se disocia en carbonato e hidrógeno.



Por la Ley de Acción de Masas;

$$K_i = \frac{[CO_3^{-}] [H^{+}]}{[HCO_3^{-}]}$$

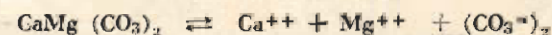
En equilibrio, esta constante es igual a 10^{-10.33}; sustituyendo este valor y despejando:

$$[CO_3^{-}] = \frac{[HCO_3^{-}] \cdot 10^{-10.33}}{[H^{+}]} \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1);

$$K_i = \frac{[Ca^{++}] [HCO_3^{-}] \cdot 10^{-10.33}}{[H^{+}]}$$

De manera similar, para el carbonato doble de calcio y magnesio (dolomia), se tiene:



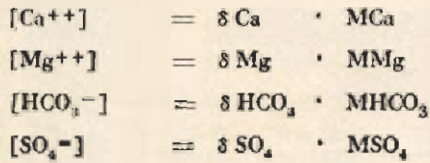
Aplicando la Ley de Acción de Masas:

$$K_i = [Ca^{++}] [Mg^{++}] [CO_3^{-}]^2 \quad (3)$$

Sustituyendo (2) en (3)

$$K_i = [Ca^{++}] [Mg^{++}] \left(\frac{[HCO_3^{-}] \cdot 10^{-10.33}}{[H^{+}]} \right)^2$$

Las actividades indicadas por los paréntesis rectangulares, se obtienen multiplicando el coeficiente de actividad iónica δ de cada elemento, por la concentración en moles por litro (M) de cada ion:



δ se obtiene por medio de la fórmula

$$-\log \delta_i = \frac{AZ_i \sqrt{I}}{1 + B a_i \sqrt{I}}$$

Donde Z es la carga del ion; A y B son constantes dependientes de la temperatura. En nuestro caso, a 25°C, A = 0.5085 y B = 0.3281 $\times 10^8$ (KLOTS, 1950); "a" es una constante relacionada con el tamaño y carga del ion (HEM, 1970); I es la fuerza iónica calculada por la fórmula:

$$I = \frac{1}{2} (M \cdot Z^2)$$

Donde M es la concentración de cada ion en moles por litro. Las constantes de incrustación (Ki) así obtenidas, se comparan con las constantes de equilibrio (Ke);

- Ke (calcita) = $10^{-8.34}$
- Ke (dolomita) = 10^{-17}
- Ke (yeso) = $10^{-4.61}$

La comparación de las constantes se hace dividiendo (Ki) entre (Ke). Los valores superiores a la unidad, indican que el agua de la muestra correspondiente es incrustante. Los valores inferiores a la

unidad indican que el agua es corrosiva y los valores iguales a uno, indican que existe equilibrio químico.

El agua de lluvia es corrosiva, debido a que tiene la propiedad de disolver sales y, el aumento de éstas en solución, se efectúa hasta que el agua se satura. A partir de este momento, se convierte en incrustante ya que comienza a precipitar sales.

Los términos corrosión e incrustación han sido usados, en la mayoría de los casos, para denominar a un agua de mala calidad que causa algún perjuicio, esto es, cuando el fenómeno de incrustación o corrosión es muy notable. En nuestro caso se aplican estos términos al agua que tiene la propiedad de disolver o precipitar sales. Para valores de Ki/Ke cercanos a 1, prácticamente la corrosión y la incrustación son nulas, pero conforme estos valores se alejan de la unidad, entonces la propiedad de corroer y/o incrustar aumentan a tal grado de ser perjudiciales.

GRADO DE INCRUSTACION DEL AGUA DE TEHUACAN, PUE.

Se calculó, a partir de análisis químicos, el grado de incrustación de calcita, dolomita y yeso, del agua de una galería, dos manantiales, seis pozos y catorce norias, situados al Poniente de la ciudad de Tehuacán. Los datos de los análisis químicos así como los resultados del cálculo, se muestran en la figura 1.

En las figuras 2, 3 y 4, se graficaron los valores del grado de incrustación para los tres compuestos analizados. En el eje de las abscisas se graficó en escala logarítmica el valor de Ki/Ke mientras que en el de las ordenadas, en escala aritmética se tiene a los diferentes aprovechamientos muestreados.

El valor 1 en todas las gráficas, corresponde al límite de equilibrio químico. La zona situada arriba del límite de equilibrio, corresponde a la zona de aguas saturadas, por lo cual, existirá precipitación e incrustación del compuesto en cuestión. Mientras mayor sea el valor de Ki/Ke, mayor será la precipitación o incrustación. La zona abajo del límite de equilibrio, corresponde a aguas insaturadas, donde ésta tiene poder de disolución por lo cual es corrosiva.

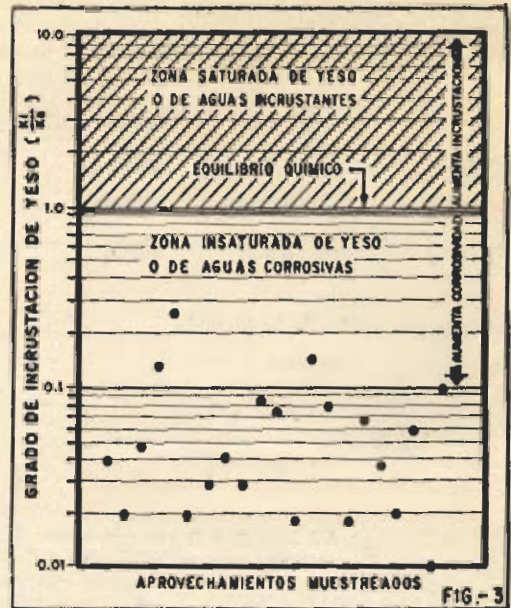
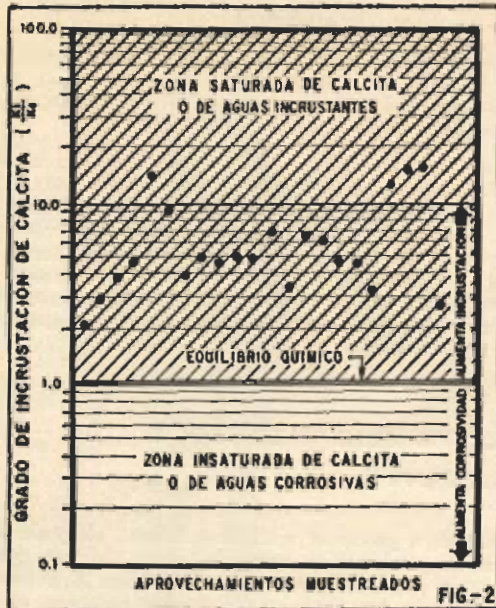
Los resultados obtenidos en las muestras de Tehuacán, indican que todas las muestras, se encuentran sobresaturadas con respecto a calcita, ya que el valor de Ki/Ke es mayor de 1 y por lo tanto son aguas incrustantes. Esto es debido a la abundancia de rocas calizas y sedimentos lacustres calcáreos existentes.

Respecto al yeso, los valores de Ki/Ke son menores a 1, indicando que el agua de la zona, se encuentra insaturada de este compuesto, o sea que tiene tendencia a ser corrosiva, aunque el grado de corrosividad es muy bajo.

ANALISIS QUIMICOS DE TEHUACAN, PUE.

FUENTE DE MUESTREO	FECHA DE MUESTREO	C.E. MMHOS/CM	D.M.	SOLIDOS TOTALES mg/l	TEMP. EN °C	CATIONES												ANIONES												GRADO DE INCRUSTACION		
						Ca ⁺⁺				Mg ⁺⁺				Na ⁺				HCO ₃ ⁻				SO ₄ ⁻⁻				Cl ⁻	(Ki/Ke) YESO	(Ki/Ke) CALCITA	(Ki/Ke) DOLOMITA			
						ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l	ppm	me/l									
163	10-IV-74	789	7.82	808	23.9	31	2.34	36	2.94	35	1.52	122	5.27	50	1.04	26	0.73	0.01	3.01	22.34												
166	11-IV-74	112	7.92	732	24.9	50	3.89	35	2.87	102	4.43	112	5.11	155	3.22	66	1.86	0.04	4.00	34.23												
168	11-IV-74	134	7.60	778	24.6	74	3.69	65	5.34	120	5.22	595	9.75	92	1.91	92	2.59	0.02	4.28	57.45												
169	11-IV-74	137	8.03	790	24.2	94	4.69	30	2.48	174	7.56	366	9.27	136	2.83	94	2.65	0.05	13.93	220.8												
173	11-IV-74	158	7.53	1018	24.4	117	5.81	61	5.01	187	8.13	551	9.01	357	7.83	90	2.53	0.11	4.21	45.40												
174	12-IV-74	175	7.36	1284	24.1	166	3.29	66	5.42	108	4.69	322	5.27	538	11.20	70	1.97	0.26	9.34	123.30												
177	12-IV-74	894	8.00	428	23.2	42	2.09	24	1.97	125	5.43	171	6.08	106	2.20	44	1.24	0.02	4.17	35.06												
179	12-IV-74	114	8.11	560	23.2	42	2.09	31	2.55	156	6.78	390	6.39	155	3.22	64	1.08	0.03	5.43	77.28												
181	12-IV-74	122	7.78	862	23.2	69	3.44	33	4.35	132	5.74	488	7.99	165	3.43	74	2.08	0.04	4.99	68.25												
183	12-IV-74	116	7.79	822	23.2	72	3.59	33	2.71	139	5.04	478	7.83	120	2.42	72	2.03	0.03	5.34	46.92												
186	12-IV-74	381	8.12	126	23.2	40	1.92	28	2.10	5	0.21	239	3.75	16	0.31	8	0.22	0.00	3.60	31.63												
187	12-IV-74	203	7.69	1618	23.2	88	4.29	78	6.41	429	18.66	810	13.27	800	8.32	278	7.84	0.09	7.23	168.80												
193	12-IV-74	211	7.79	1678	23.2	66	3.29	66	5.42	515	22.40	810	13.60	462	9.61	280	7.89	0.08	8.93	175.30												
197	12-IV-74	211	8.09	1534	23.2	39	1.89	42	3.45	737	32.05	1403	22.99	357	7.43	214	6.03	0.02	6.64	356.30												
198	23-IV-74	253	7.72	1748	23.2	157	7.81	55	4.52	561	24.40	1030	16.88	394	8.20	416	11.73	0.15	16.69	358.60												
199	12-IV-74	284	7.81	2220	23.2	69	3.44	75	6.36	538	23.40	514	8.75	462	9.61	518	14.61	0.08	4.81	91.99												
214	12-IV-74	463	8.27	890	24.3	30	1.49	31	1.06	332	14.48	752	12.12	150	2.12	55	1.57	0.02	17.90	257.20												
217	12-IV-74	348	7.78	810	24.3	70	3.49	57	4.58	172	7.48	312	5.44	315	6.55	332	3.72	0.07	3.30	31.83												
218	12-IV-74	348	7.57	820	24.3	117	5.81	38	1.20	105	4.56	493	8.08	81	1.74	134	3.78	0.04	4.76	26.29												
243	18-IV-74	215	7.52	1254	21.3	42	2.09	41	1.37	385	16.74	720	11.80	188	3.91	230	6.48	0.02	3.28	18.23												
246	18-IV-74	206	7.89	1394	24.6	48	2.39	36	2.36	351	15.44	613	10.07	189	3.51	242	6.82	0.05	5.38	75.20												
249	18-IV-74	117	7.66	884	24.1	42	2.09	51	4.33	158	8.87	373	9.39	83	1.72	76	2.14	0.03	3.76	34.33												
256	24-IV-74	203	7.79	1388	25.1	110	5.48	70	3.75	507	22.05	1176	19.27	164	3.37	238	6.48	0.10	16.11	604.60												

FIGURA No. 1



El grado de incrustación K_i/K_c de dolomía, es mayor a la unidad, por lo cual se deduce que los aprovechamientos muestreados se encuentran sobresaturados de dolomía, o sea que son incrustantes. Esto nos indica, entre otras cosas que las rocas sedimentarias que forman las Sierras, están constituidas, en gran parte, de dolomitas.

Los altos valores de incrustación encontrados, explican la formación de travertinos en el Valle, así como la incrustación en bombas, tuberías, calderas y en otros materiales que tienen contacto con esta agua.

REFERENCIAS

- Back, William, 1961: "Calcium Carbonate Saturation in groundwater, from routine analyses". U.S.G.S., W.P.S. 1535-D.
- Back, W. and Zoetl, J., 1975: "Application of Geochemical Principles, Isotopic Methodology and Artificial Tracers to Karst Hydrology". In: Hydrogeology of Karstic Terrains.
- Garrels and Christ, 1965: "Solution Minerals and Equilibria".
- Hem, John, 1971: "Study and interpretation of the Chemical characteristics of natural water". U.S.G.S., W.P.S. 1473.
- Krauskopf, K. B., 1967: "Introduction to Geochemistry".

