

**Comportamiento hidráulico y geoquímico del acuífero en el Valle el Hundido, Municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México**

Juan Rodríguez & Lilia Arriaga

Juan Rodríguez & Lilia Arriaga  
Facultad de Ingeniería Civil. UANL, Av. Pedro de Alba s/n Ciudad Universitaria, San Nicolás de Los Garza,  
Nuevo León, México  
lampazos54e94@yahoo.com

M. Ramos., V.Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago,  
Guanajuato, 2013.

## Abstract

This paper presents the results of the project CONACYT-SEMARNAT 2007 (Clave CO-1-0083), this investigation allowed us to define the hydraulic and geochemical behavior of aquifers in fractured and granular media, a census of water harvesting in the Hundido Valley, registering a total of 142 works, 85 are operating and 57 are not equipped. In the static level settings ground levels range from 50.00m in the use CNA 48 to 40.00 m in the well CNA 124, while the static level isoelevación ranges from 800.00 m in Well CNA 760.00m 48 to 124 in the use CNA . Following on from the pumping tests of long duration (72 hrs) by Jacob, Hantus, Theis it was determined that the aquifer in fractured media behaves as free, the values  $T = 9296.76 \text{ M}^2 / \text{Day}$ , the storage coefficient (S) is  $1.89\text{E}-01$ ., the average flow (Q l/ s) is approximately 84.01 (l/ s). Using the Piper triangular diagram, Schoeller-Berkalov it was determined four types of water: Sulfates Mixed, Mixed Sodium, Calcium sulfate and sodium sulphates. Since the specific conductivity using the equation of Sodium Absorption Ratio (SAR) is able to establish four groups of water: C4-S4, C4-S2, S1 and C3-C4-S1 with conductivities ranging from micro-mhos 97.529 /cm in the well CNA138 to 1671 Micro-mhos/cm in the well CNA 9.

## 9 Introducción

Uno de los temas más controvertidos en la actualidad en el mundo entero es el abastecimiento de agua; en un estado como el de Coahuila al igual que el norte de nuestro país, con las características meteorológicas extremas disponemos de un recurso hídrico limitado, sobre todo errático en su comportamiento. En dicho trabajo se presentan los resultados del proyecto de investigación: CONACYT- SEMARNAT 2007 (Clave CO-1-0083)

**Objetivos:** Generar conocimiento mediante investigación sobre el comportamiento hidráulico y geoquímico de los acuíferos, a fin de establecer el modelo conceptual hidrogeológico en el Valle El Hundido.

**Objetivos técnicos:** Conocer el comportamiento hidráulico de los acuíferos mediante pruebas de bombeo de larga duración. Determinar el tipo y familia de agua mediante análisis fisicoquímicos, con apoyo de diagramas triangulares de Piper, Schoeller- Berkalov y Wilcox. Establecer el modelo conceptual de los acuíferos y su posible recarga mediante fallas y fracturas.

### 9.1 Metodología

Para determinar el comportamiento hidráulico del acuífero en el Valle El Hundido, se seleccionaron en forma estratégica 8 pozos en los siguientes sitios: Ejido Santa Teresa de Sofía y Rancho San Fernando.

En cada localización se realizaron pruebas de bombeo escalonadas de larga duración (72 hrs.), aplicando las ecuaciones de Theis, Jacob, Cooper se determinaron los parámetros hidráulicos así como el tipo de acuífero. Mediante los diagramas triangulares de Piper, Schoeller- Berkalov se logró caracterizar el tipo y familia.

Aplicando la guía que utiliza el laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norte América, se logró clasificar el agua de acuerdo a su salinidad y conductividad específica.

## 9.2 Área de estudio

La zona de estudio se encuentra en la parte central del Estado de Coahuila, entre los paralelos  $26^{\circ} 20'$ ,  $27^{\circ} 20'$  de latitud norte y entre los meridianos  $101^{\circ} 45'$ ,  $102^{\circ} 45'$  de longitud oeste con una superficie de aproximadamente  $952 \text{ Km}^2$ .

**Figura 9** Localización del Área de Estudio

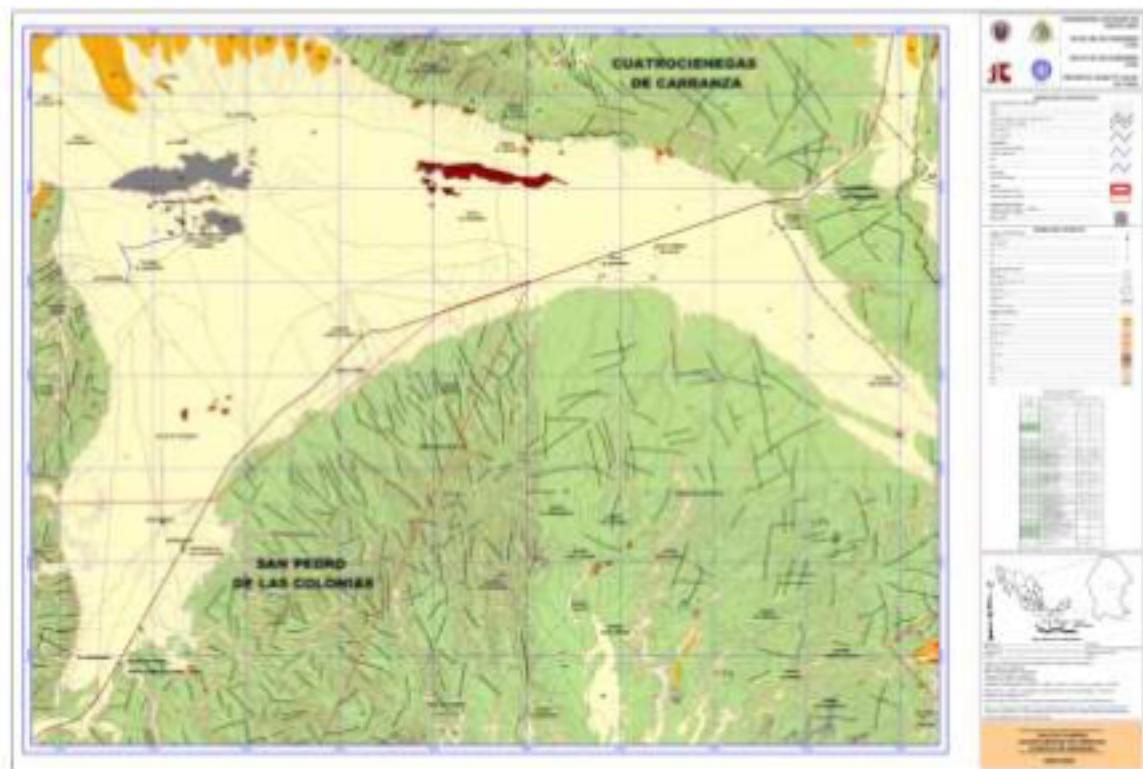


El Valle El Hundido se encuentra aproximadamente a 32 kilómetros de la reserva ecológica del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila delimitado al norte por la Sierra La Fragua, al sur y oeste por la Sierra de Alamitos y al oeste por la Sierra El Venado.

Geología del sitio: El Valle El Hundido se encuentra enclavado en el desierto Chihuahuense, dicho valle está rodeado por distintas serranías que forman parte de la Sierra Madre Oriental estas serranías son: La Fragua, El Venado.

Los Alamitos y la del Granizo, es importante remarcar que dicho valle lo cruz un elemento estructural muy importante que es la falla de San Marcos, sobre la traza de la falla se presentan afloramientos del basamento cristalino, mediante análisis radiométricos fue datado asignándole una edad del Permo- Triásico (McKee J W, Jones N W, 1990). La secuencia sedimentaria que conforma el área de estudio está constituida por depósitos de origen marino y continental, en edades que van desde el Permo- Triásico al reciente, descansando sobre éste las siguientes formaciones: Lechos Rojos, San Marcos, La Virgen, Cupido, La Peña, Aurora, Acatita, Kiamichi, Grupo Washita (Georgetown, Del Río, Buda) Eagle Ford, hacia los valles se encuentran sedimentos aluviales y derrames basálticos del Cuaternario. En la figura 9.1 se muestra la geología del área de estudio.

**Figura 9.1** Geología del área de estudio



Marco tectónico regional: La zona de estudio se encuentra delimitada por diferentes estructuras que forman parte de la Sierra Madre Oriental. Al noreste se encuentra la Sierra de La Fragua, al noroeste encontramos la Sierra de San Marcos El Pino, al suroeste la Sierra del Granizo y al suroeste la Sierra de Los Alamitos al este franco se encuentra la Sierra del Venado. El Noreste de México tectónicamente representa la conjunción de dos provincias tectonoestratigráficas altamente contrastantes: Provincia del Golfo de México que presenta una evolución tectónica dominada por el desarrollo de una margen pasiva; asociada con la apertura del Golfo de México, entre el Jurásico medio y el Cretácico Tardío, donde la estratigrafía es dominada principalmente por rocas sedimentarias marinas del Mesozoico. La Provincia del Pacífico está influenciada por la subducción Mesozoica a lo largo de la margen del Pacífico. Figura 9.2. (Bartolini C., Richard. T., Buffler,2001)

**Figura 9.2** Marco geológico estructural del sistema de sierras que conforman el área de estudio



## 9.2 Comportamiento hidráulico del acuífero en el valle el hundido

De acuerdo con las características geológicas de las diferentes unidades hidrogeológicas, se logró establecer el funcionamiento hidráulico del acuífero en el Valle El Hundido mediante pruebas de bombeo de larga duración, se logró definir el comportamiento hidráulico del acuífero, el cual es recargado a través de fallas y fracturas; esto se logró comprobar al observar el tiempo de recuperación de los pozos, después de terminada la prueba de bombeo, el tiempo de recuperación en cada uno de ellos fue de 2.00 horas, esto confirma que la Falla de San Marcos actúa como un conducto que aporta a los acuíferos tanto a los que están vinculados con medios granulares como a los consolidados. La recarga directa a través de la lluvia no es posible, debido a que es escasa en la región. El censo de aprovechamientos hidráulicos se realizó en varios períodos; en época de estiaje y en temporada de lluvias en los años 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008. Se registraron un total de 142 aprovechamientos de los cuales 28 se encuentran operando y 114 corresponden a agujeros que están sin equipar en la figura 9.3 se muestra la distribución de los aprovechamientos censados.

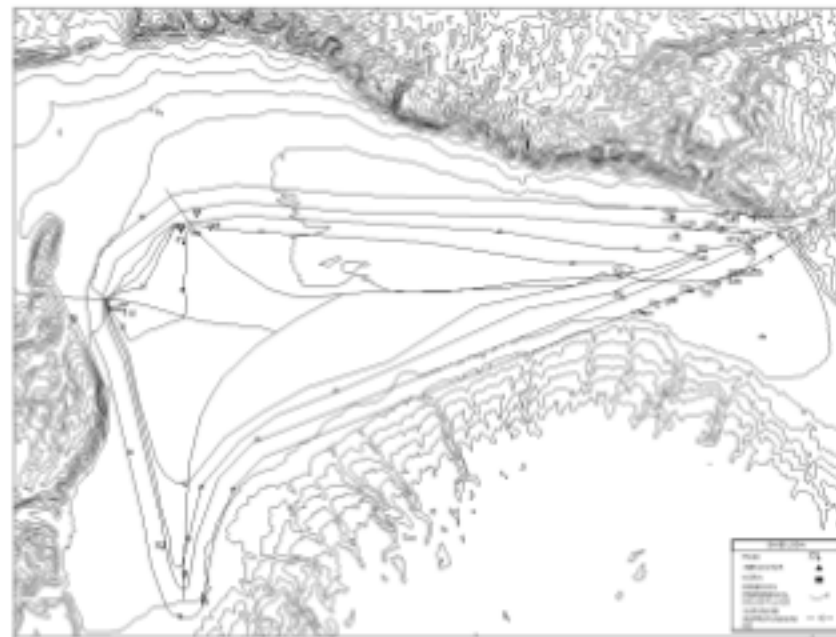
**Figura 9.3** Censo de aprovechamientos hidráulicos



Configuración de isoelevación del nivel estático Septiembre 2006: Para el período correspondiente entre 2003- 2006, con los datos disponibles de los diferentes censos de aprovechamientos realizados en los años de 2003, 2004, 2005 y 2006; en forma general los niveles piezométricos oscilan desde 800 en el Pozo CNA 48; hasta 760 en el aprovechamiento CNA 124.

En la figura 9.4 se muestra la configuración de la isoelevación del nivel estático correspondiente al mes de septiembre de 2006, en dicha configuración se muestra la dirección preferencial del flujo subterráneo el cual tiene una dirección SW- NE. En el centro del valle se forma una depresión, dicha estructura morfológica está estrechamente relacionada con aquellos aprovechamientos cuyas concentraciones de sulfatos y cloruros son muy elevadas.

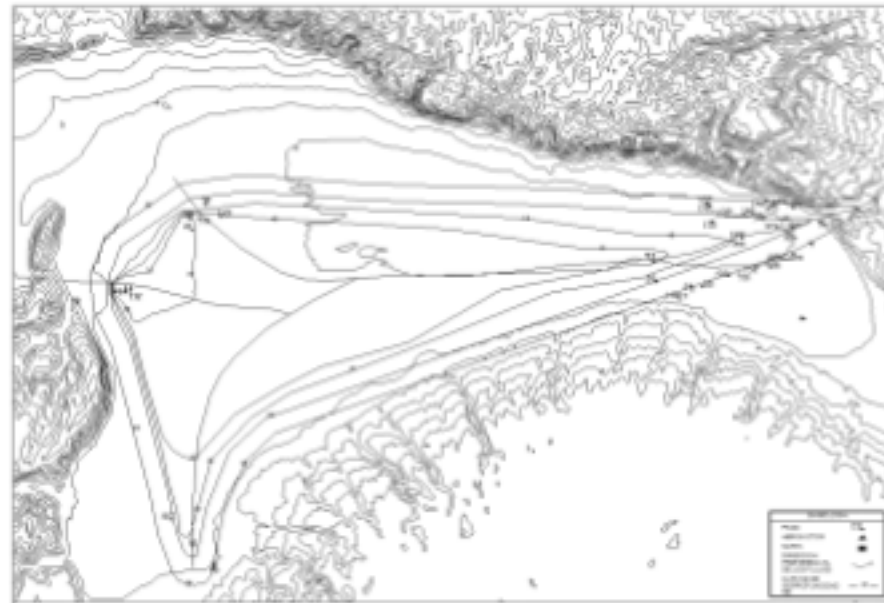
**Figura 9.4** Configuración Isoelevación Nivel Estático Septiembre 2006



Configuración de isopropundidad nivel estático: Para el período correspondiente entre 2003- 2006, con los datos disponibles de los diferentes censos de aprovechamientos realizados en los años de 2003, 2004, 2005 y 2006; en forma general los niveles piezométricos oscilan desde 50m, en el Pozo CNA 48, hasta 40m, en el aprovechamiento CNA 124.

En la figura 9.5 se muestra la configuración de la isopropundidad del nivel estático correspondiente al mes de septiembre del 2006, en dicha configuración se muestra la dirección preferencial del flujo subterráneo el cual es SW- NE, teniendo como única salida el Cañón de la Fragua.

**Figura 9.5** Configuración Isopropundidad Nivel Estático. Septiembre 2006



Pruebas de bombeo: Para determinar las características hidráulicas de los acuíferos en el Valle El Hundido, se realizaron 8 pruebas de bombeo de larga duración (72 horas) distribuidas de la siguiente manera: cuatro en el Rancho San Fernando y las otras en el Ejido Santa Teresa de Sofía, municipio de Cuatro Ciénegas, Coahuila. En la figura 9.6 se muestra la localización de los pozos donde se realizaron las pruebas de bombeo.

**Figura 9.6.** Localización de sitios para pruebas de bombeo



Los resultados obtenidos de las pruebas de bombeo de larga duración en los pozos CNA 24, CNA 25, CNA 27 Y CNA 63 ubicados en el Ejido Santa Teresa de Sofía, nos permitieron definir que dicho acuífero se comporta como libre en medios fracturados.

El caudal específico oscila desde 64.17 l/s en el Pozo CNA 25 hasta 90 l/s en el aprovechamiento CNA 24.

Los abatimientos en los pozos de bombeo en el Ejido Santa Sofía oscilan desde 0.48 m, en el aprovechamiento CNA 24 hasta 8.38 en el pozo CNA 63. Para la batería de pozos en el Rancho San Fernando el comportamiento hidráulico de los pozos presenta caudales que varían desde 95 l/s en el pozos CNA21 y 49 para el pozo CNA 51 su caudal es del orden de 103.4 l/s, mientras que para el aprovechamiento CNA 54 es de 105.29 l/s con abatimientos que oscilan desde 27.98 m en el CNA 51 hasta 40.08 en el CNA 21. En la Tabla 1 se muestran los resultados de las pruebas de bombeo, logrando establecer la presencia de dos acuíferos uno en medios fracturados asociados a rocas carbonatadas correspondientes a la Formación Aurora del Cretácico Inferior equivalente a la Formación Treviño en el Ejido Santa Teresa de Sofía y el otro en medios granulares, localizado en la parte central del valle, específicamente en el Rancho San Fernando. (Rodríguez, Souza V., 2005)

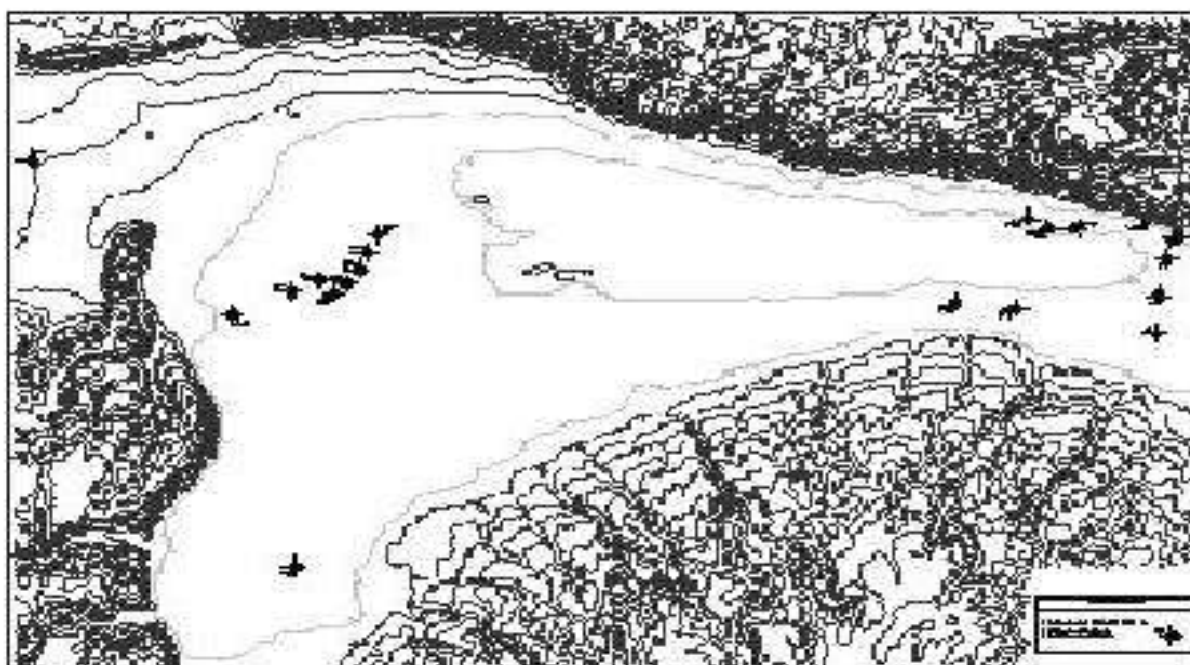
**Tabla 9** Resultados de las pruebas de bombeo realizadas en el valle El Hundido

UBICACIÓN Ejido Santa Teresa de Sofía	Coordenadas UTM			Nivel Estático (m)	Nivel Dinámico (m)	Parámetros Hidráulicos		
	X	Y	Z(msnm)			Q (l/s)	T (m <sup>2</sup> /día)	S
Pozo No 1. (CNA24)	772603	2945313	804	29.12	29.60	90	20,592.30	5.03 E-01
Pozo No 2. (CNA25)	772111	2945102	798	30.7	32.50	101	6821.7	3.02 E-02
Pozo No 3. (CNA27)	771350	2944797	806	33.7	34.70	80.9	8877.13	2.19 E-01
Pozo No 4. (CNA63)	771247	2944798	801	31.62	40.00	64.17	895.92	7.63 E-03
<b>SAN FERNANDO</b>								
Pozo CNA 54	748411	2948637	819	36.5	65.60	105.29	571.8	8.74 E-03
Pozo CNA 49	746076	2948650	827	25.15	43.52	95	571.8	1 E-02
Pozo CNA 51	746914	2946921	822	36.5	64.36	103.04	571.8	7.07 E-03
Pozo CNA 21	746648	2948553	826	25.72	65.80	95	262.09	5.63 E-03

Caracterización química del agua subterránea: En la caracterización química del agua subterránea en el Valle del Hundido, se han estudiado junto con los datos obtenidos en esta investigación, los análisis de dos proyectos previos realizados en los años de 2001 y 2005. En la tabla 9.1 se muestran los resultados fisicoquímicos de las 20 muestras de agua cruda analizadas en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL. En la figura 9 se presenta la ubicación de cada una de las muestras de agua subterránea monitoreadas para su posterior análisis físico- químico con su respectiva toponimia de cada pozo.

**Tabla 9.1** Análisis físico químicos de muestras de agua en El Valle El Hundido

Área	Muestra	Conductividad en micro-mhos / cm	pH	Cationes				Aniones				
				Ca (++)	Mg (++)	Na (+)	K (+)	HCO <sub>3</sub> (-)	CO <sub>3</sub> (=)	SO <sub>4</sub> (=)	Cl (-)	NO <sub>3</sub> (-)
VALLE DEL HUNDIDO	POZO IMTA 12	5772.00	7.31	583.20	264.48	446.20	16.38	102.48	0.00	2701.44	445.17	0.00
	POZO IMTA 17	2394.00	7.91	82.40	42.00	331.20	8.58	622.20	9.60	129.60	300.33	2.48
	POZO IMTA 81	4210.00	7.65	562.80	173.28	366.16	11.70	97.60	0.00	2415.36	198.09	27.28
	POZO IMTA 82	4922.00	7.49	542.40	202.80	461.38	14.04	112.24	0.00	2614.08	265.54	48.36
	POZO IMTA 83	4782.00	7.44	554.00	200.16	446.20	16.38	102.48	0.00	2701.44	445.17	0.00
	POZO IMTA 84	4733.00	7.36	552.00	190.32	433.78	11.70	102.48	0.00	2647.68	220.10	40.92
	POZO IMTA 85	4658.00	7.5	579.20	202.80	458.62	12.48	97.60	0.00	2688.00	230.04	68.20
	POZO IMTA 86	4800.00	7.57	565.20	197.76	393.76	11.70	87.84	0.00	2493.12	239.98	73.16
	POZO IMTA 87	4919.00	7.42	562.00	192.72	453.56	12.48	97.60	0.00	2563.20	255.60	71.92
	POZO CNA 4	4364.00	7.35	388.00	170.40	270.94	10.14	146.40	0.00	1614.72	295.36	14.88
	POZO CNA 6	2558.00	8.71	117.60	66.72	373.52	9.36	58.56	0.00	860.16	290.39	0.00
	POZO CNA 7	5394.00	7.11	535.20	150.72	553.84	7.80	200.08	0.00	2259.84	465.76	16.12
	POZO CNA 9	1671.00	7.11	235.20	69.12	90.16	3.90	234.24	0.00	771.84	771.84	2.48
	POZO CNA 23	2595.00	7.4	342.00	116.40	190.90	5.46	175.68	0.00	1250.88	164.01	74.40
	POZO CNA 25	3100.00	7.84	332.00	121.44	248.40	6.24	170.80	0.00	1366.08	195.96	0.00
	POZO CNA 44	4557.00	7.33	520.00	175.44	368.70	12.48	107.36	0.00	248.00	195.25	22.32
	POZO CNA 138	97520.00	7.43	3330.00	1208.88	19080.34	168.48	585.60	0.00	32349.12	15316.83	9.92
	POZO CNA 139	68040.00	7.6	2250.00	1045.68	11406.62	171.60	434.32	0.00	21903.36	8509.35	3.72
	POZO CNA 140	26560.00	7.2	2250.00	346.08	3208.96	90.48	297.68	0.00	7643.52	4204.62	7.44
	POZO CNA 146	1710.00	6.91	190.00	71.76	55.20	8.58	48.80	0.00	777.60	53.96	2.48

**Figura 9.7** Localización de tomas de muestras para análisis fisicoquímicos

La investigación planteada en este proyecto está dirigida a evaluar en forma cuantitativa y cualitativa el comportamiento hidrogeoquímico del acuífero en el Valle del Hundido y su conexión con el Valle de Cuatro Ciénegas.

Mediante los análisis físico químicos por elementos mayores se logró determinar que la calidad del agua presente en el Valle del Hundido de acuerdo a lo que establece la NOM -127-SSA-1-1994 no es apta para consumo humano, debido a las altas concentraciones de sulfatos y de cloruros en algunos sitios muestreados como son: CNA-6, IMTA- 17 y IMTA-138.

Con el propósito de interpretar los parámetros hidrogeoquímicos del acuífero en el Valle del Hundido, se tomaron en consideración los criterios de aguas de A.M Piper., Schoeller- Berkaloff y L. V. Wilcox (Appelo, C.A.J. y Postma. D., 1993)

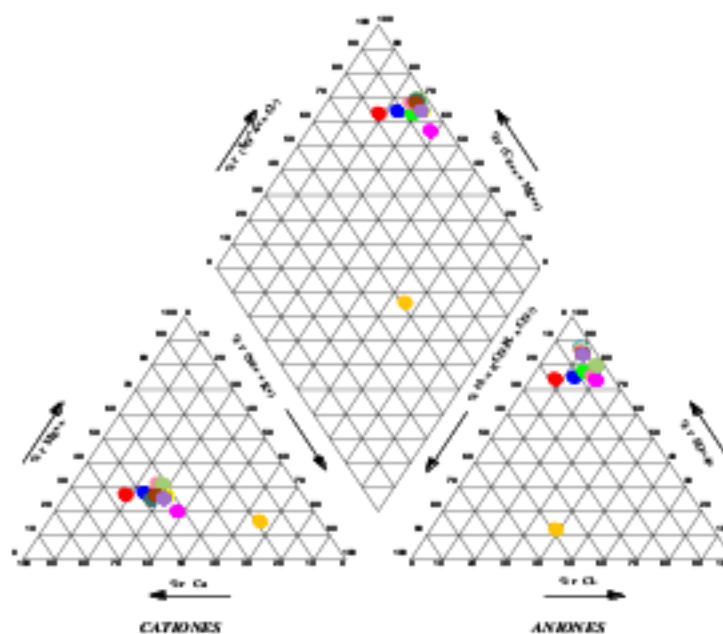
Diagramas de Piper: Los diagramas de Piper consisten de un sistema de dos triángulos en uno de ellos se representan los cationes y en el otro los aniones, las unidades empleadas en este diagrama son en (% de mili -equivalentes), dicho diagrama se complementa con un rombo ubicado en la porción superior de los triángulos.

Los tres ejes del triángulo de los cationes se utilizan para las concentraciones de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , representando las concentraciones en (% de mili equivalentes/litro). El triángulo de los aniones se representa en forma similar con ejes para el  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^- \text{CO}_2^-$ .

De esta manera se obtiene el análisis de cada muestra de agua subterránea la cual se representa como un punto en cada uno de los triángulos.

En el diagrama de Piper (figura 9), se presenta el tipo y familia de agua correspondiente a cada muestra.

**Figura 9.8** Diagramas triangulares de Piper



En base a dichos diagramas se logró determinar que el 70% corresponden a Sulfatadas-Mixtas, 15% Sódico-Sulfatadas, 10% de las muestras corresponden a la clasificación de Cálculo- Sulfatadas y el 5% Sódico Mixtas. Grafico 9.

**Grafico 9** Distribución porcentual de las principales familias de agua en el Valle El Hundido



Clasificación del agua para uso agrícola mediante el diagramas de Wilcox Relación absorción de sodio (RAS):

Los diferentes aprovechamientos hidráulicos en el Valle El Hundido, son utilizados en irrigación de cultivos que toleran el grado de salinidad, siendo la alfalfa y el sorgo los cultivos que soportan este tipo de agua.

A partir de la salinidad como de la conductividad específica mediante la ecuación del RAS, se logró establecer cuatro tipos de agua: el 86.6% de las muestras de agua se clasificaron como tipo C4-S2 (conductividad eléctrica mayor de 2890 ( $\mu\text{mhos/cm.}$ ), el 6.6% como tipo C4-S1 con conductividades de 2450( $\mu\text{mhos/cm.}$ ) y el 6.6% restante como C3-S1 con una conductividades eléctricas de 2100( $\mu\text{mhos/cm.}$ ). En la Tabla 3 y en la figura 7 se muestran los resultados obtenidos mediante la ecuación del Ras.

La tendencia de un agua a remplazar el calcio y el magnesio absorbidos en las partículas arcillosas del suelo por el sodio disuelto, puede expresarse mediante la aplicación de la relación absorción de sodio (RAS) el cual se define de la manera siguiente:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} \quad (9)$$

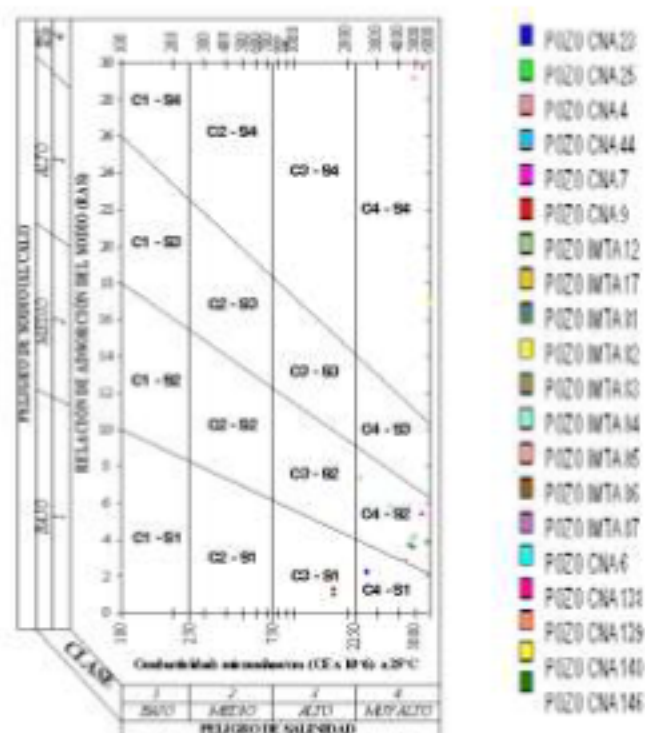
De acuerdo con la gran concentración de los valores de Ca y Mg que se presentan en el agua subterránea del Valle del Hundido, la totalidad de los valores de RAS que se calcularon para las muestras colectadas en el área de estudio van desde 2.00 en el Pozo CNA 9 hasta 9.00 en el Pozo IMTA 17, la conductividad correspondiente al pozo CNA 9 es de 2185( $\mu\text{mhos/cm.}$ ) mientras que para el aprovechamiento hidráulico IMTA 17 su conductividad eléctrica es de 2890( $\mu\text{mhos/cm.}$ ), el promedio resultante de las muestras analizadas en la zona son del orden de 6.5.

Haciendo uso del diagrama de clasificación de aguas para uso agrícola de L. V. Wilcox (1955) donde se vaciaron los datos de conductividad específica y relación absorción de sodio, se obtuvo que el 86.6% de las muestras indican un tipo de agua de salinidad muy alta y una alta concentración de sodio, 6.6% presenta una lata salinidad y bajo peligro de sodio, las restantes muestras presentan una concentración media de salinidad y bajo peligro de sodio; las muestras restantes presentan concentraciones media de salinidad y bajo peligro de sodio. Tabla 9.2, figura 9.9.

**Tabla 9.2** Calidad de agua para uso agrícola

Tabla No. CALIDAD DEL AGUA PARA USO AGRICOLA								
No. POZO	CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA (Micro-mhos/cm)	R. A. S. (Meq/l)	CLASIFICACIÓN	CONDICIONES DE SALINIDAD		COORDENADAS		
				PELIGRO DE SALINIDAD	PELIGRO DE SODIO	X	Y	Z
CNA 4	4364.00	2.87	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13777700	2943993	
CNA 6	2558.00	6.8	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13777837	2946003	
CNA 7	5394.00	5.43	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13778169	2947820	809
CNA 9	1671.00	1.32	C3-S1	ALTO	BAJO	13778554	2949048	825
CNA 23	2595.00	2.27	C4-S1	MUY ALTA	BAJO	13772603	2945313	804
CNA 25	3100.00	2.95	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	770264	2945584	803
CNA 44	4557.00	3.75	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13743196	2944977	843
CNA 139	97520.00	71.8	C4-S4	MUY ALTA	MUY ALTO	772993	2449965	799
CNA 139	68040.00	49.63	C4-S4	MUY ALTA	MUY ALTO	773769	2449394	796
CNA 140	26560.00	16.6	C4-S4	MUY ALTA	MUY ALTO	774743	2949409	796
CNA 146	1710.00	0.86	C3-S1	ALTO	BAJO			
IMTA 12	5772.00	3.83	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13745546	2932070	836
IMTA 17	2394.00	7.37	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13735644	2963015	954
IMTA 81	4210.00	3.45	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13745376	2946163	826
IMTA 82	4922.00	4.27	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13747063	2946112	828
IMTA 83	4782.00	4.12	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13747503	2946565	821
IMTA 84	4733.00	4.05	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13747958	2947311	821
IMTA 85	4858.00	4.16	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13748287	2948158	821
IMTA 86	4800.00	3.62	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13746423	2946726	828
IMTA 87	4919.00	4.2	C4-S2	MUY ALTA	MEDIO	13748703	2949076	818

**Figura 9.9** Diagrama de Wilcox para calidad del agua para uso agrícola en el Valle del Hundido.



Características hidrogeológicas de las formaciones acuíferas: Debido a la diversidad de tipos litológicos y génesis de las formaciones sedimentarias existentes en el área de estudio, éstas presentan dos unidades acuíferas una en medios granulares asociadas a depósitos de abanicos aluviales y la otra vinculada con rocas consolidadas (calizas).

Las unidades hidrogeológicas en rocas consolidadas forman acuíferos muy potentes a nivel regional en el noreste de México, dichas unidades de acuerdo a su posición estratigráfica que guardan en la zona son: Formación Cupido del Hauterviano y la Formación Aurora del Albiano; ambas del Cretácico Inferior.

La unidad correspondiente a rellenos aluviales está estrechamente relacionada con depósitos de Pie de Monte y Eólicos, de edad Reciente. La unidad en rocas consolidadas corresponde al acuífero profundo, mientras que la segunda esta forma el acuífero somero.

En la zona del Valle del Hundido la geometría de los acuíferos que yacen a diferente profundidad queda controlada principalmente por los contrastes de permeabilidad existente entre los diferentes tipos de sedimentos ínter estratificados, todos estos aspectos inciden en un mayor grado de anisotropía y heterogeneidad del medio y, por lo tanto, en la circulación del agua subterránea (Custodio, 1986).

Los cálculos se realizaron mediante la aplicación de la ecuación de Theis, el radio de influencia fue determinado mediante la ecuación de Cooper - Jacob y Jacob distancia; dicha información se presenta en los diferentes gráficos y en las Tabla 9.4.

Análisis de los resultados de la prueba de bombeo Pozo CNA 24: Para la obtención de los parámetros hidráulicos a partir de pruebas de bombeo escalonadas realizadas en los pozos ubicados en el Ejido Santa Teresa de Sofía con pozos de observación, se logró definir el caudal específico del acuífero, su coeficiente de almacenamiento y su transmisibilidad, toda esta información se obtuvo aplicando la ecuación de Theis:

$$s_p = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (9.1)$$

Para determinar T se utilizó la ecuación de Jacob:

$$T = \frac{0.366(Q)}{s_p} \log \frac{R}{r} \quad (9.2)$$

A partir de la ecuación de Theis con un gasto específico de 90 l/s se obtuvo el valor de u:

$$Q = \frac{4\pi T S_p}{W(u)} \therefore W(u) = \frac{4\pi T S_p}{Q} \quad (9.3)$$

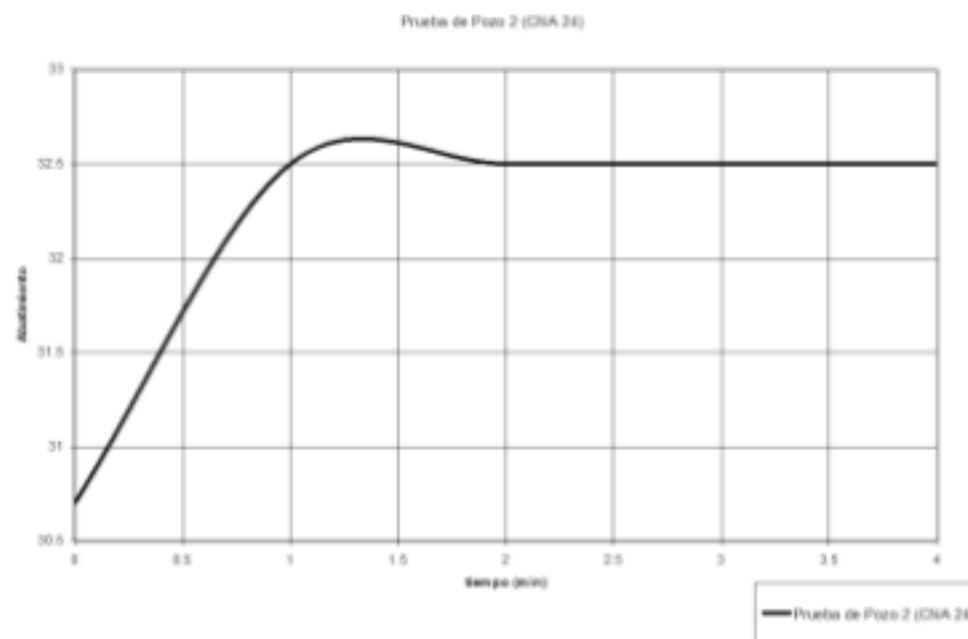
$$W(u) = (sp)(4)(\pi)(T)/Q ; u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (9.4)$$

Basándonos en las tablas XIV Valores de W (u) correspondientes a valores de u para ser utilizados en la Fórmula de NO Equilibrio de Theis. Página 498 y 499.

El agua subterránea y los pozos (Johnson Division, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 55165., 1975). Custodio y Llamas., 1975 Hidrología subterránea. Ediciones Omega, Barcelona, España se obtiene el valor de u.

En el análisis Abatimiento- Tiempo el acuífero se comportó como un acuífero libre en medios fracturados; también es importante señalar que los objetivos que se tenían programados en la prueba fueron cumplidos totalmente. En la figura 12 se muestran los resultados obtenidos durante el desarrollo del aforo.

**Grafico 9.1** Gráfica Tiempo/ versus abatimiento



Cálculo del radio de influencia mediante la aplicación de la ecuación de Cooper-Jacob:

Su radio de influencia fue definido a partir del pozo de bombeo CNA 24 teniendo como pozo de observación el Pozo CNA 27. Para establecer el radio de influencia se utilizó la ecuación de Cooper- Jacob.

$$R_{24} = 1.5 \sqrt{t^* T / S} \quad (9.5)$$

Utilizando la Transmisividad obtenida a partir de la ecuación de Theis = 27,429.93 M<sup>2</sup>/día su radio de influencia es equivalente a:

$$R_{24} = 1.5 \sqrt{t \cdot T / S} \quad (9.6)$$

Para determinar el radio de influencia se utilizó la ecuación de Jacob-distancia:

$$R_{27} = \frac{2.25(T) (t)}{S} \quad (9.7)$$

La pendiente de la recta de acuerdo al gráfico descenso/distancia fue calculada aplicando la siguiente ecuación:

$$\Delta s_{24} = \frac{2.3Q}{2\pi T} \quad (9.8)$$

En la tabla 9.3 se muestran los resultados de la prueba de bombeo realizados en el Pozo CNA 24, teniendo como pozo de observación CNA 27

**Tabla 9.3** Resultados de la prueba de bombeo en el Pozo CNA 24

Método	Transmisividad(T) M <sup>2</sup> /Día	Coefficiente de Almacenamiento (S)	Tiempo (Días)	Radio de influencia Cooper- Jacob (m)
Cooper y Jacob	20,574.32	5.09 E-01	3	522.34
Theis	27,429.93	6.70 E-01	3	525.68
Jacob	20,574.32	5.09 E-01	3	522.34

Modelo conceptual hidrogeológico del acuífero en el Valle El Hundido:

Los resultados obtenidos de las investigaciones realizadas en el Valle El Hundido, nos permitieron establecer el modelo conceptual hidrogeológico sobre el comportamiento hidráulico del acuífero y su conexión con el Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila en la figura 13 se muestra la secuencia sobre el funcionamiento hidráulico del sistema de lagos intermontanos, los cuales funcionan como un sistema de tanques conectados entre sí, mediante antiguos carstos, los que se comportaban hidráulicamente como sifones, esto fue comprobado posteriormente por la Dra. Valeria de Souza al realizar análisis de DNA en bacterias, el genotipo de éstas: en los valles: Hundido, Cuatro Ciénegas y Claveras son similares (Souza, 2006).

**Figura 9.10** Modelo conceptual hidrogeológico del acuífero en el Valle el Hundido



### 9.3 Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos de las pruebas de bombeo de larga duración en los pozos CNA 24, CNA 25, CNA 27 Y CNA 63 ubicados en el Ejido Santa Teresa de Sofía, nos permitieron definir que dicho acuífero se comporta como libre en medios fracturados. El caudal específico oscila desde 64.17 l/s en el Pozo CNA 25 hasta 90 (l/s) en el aprovechamiento CNA 24.

Los abatimientos en los pozos de bombeo en el Ejido Santa Sofía oscilan desde 0.48 m, en el aprovechamiento CNA 24 hasta 8.38 en el pozo CNA 63. Para la batería de pozos en el Rancho San Fernando el comportamiento hidráulico de los pozos presenta caudales que varían desde 95 (l/s) en el pozos CNA 21 y 49 para el pozo CNA 51 su caudal es del orden de 103.4 (l/s), mientras que para el aprovechamiento CNA 54 es de 105.29 (l/s) con abatimientos que oscilan desde 27.98 m en el CNA 51 hasta 40.08 en el CNA 21. Los parámetros hidráulicos obtenidos del acuífero en medios fracturados son:  $T = 9296 \text{ M}^2/\text{Día}$ ,  $S = 1.89 \text{ E-}02$ , mientras que para el acuífero en medios granulares son:  $T = 494 \text{ M}^2/\text{Día}$ ,  $S = 7.86 \text{ E-}03$ .

### 9.4 Conclusión

A partir de pruebas de bombeo y análisis fisicoquímicos de agua realizados en el Valle El Hundido, se logró concluir lo siguiente:

El acuífero en medios fracturados se comporta como libre, está asociado con calizas de edad cretácica.

El acuífero granulares está relacionado con depósitos aluviales.

El acuífero en medios fracturados recarga en forma ascendente al granular, a través de fallas y fracturas.

A partir de iones mayoritarios, se logró determinar cuatro tipos de agua: Sulfatadas Mixtas, Sódico Mixtas, Sódico Sulfatadas, Cálculo Sulfatadas.

## 9.5 Referencias

Appelo, C.A.J. y Postma. D., (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema, Amsterdam.

Bartolini C. Richard T, Buffler, Cantú C. A., (2001). *The Western Gulf of Mexico Basin, Tectonic, Sedimentary Basin and Petroleum System*. 474 pp.

Custodio, E. (1991). La interpretación hidrogeoquímica como herramienta de estudio de valoración de sistemas acuíferos; aspectos metodológicos generales. En *Hidrología, estado actual y perspectiva*. Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Barcelona: 121-162.

Custodio E. Llamas M. R., (1983). *Hidrología Subterránea*. Editorial Omega. Barcelona. Vol. 2.

Mc Kee. J .W., Jones .N.W., Long. L.E. (1990). Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico. *Geol. Soc. Of Am. Bull.*, Vol. 102, pp593-614.

Rodríguez .M.J.M., Souza .S.V., Díaz de León L.E., (2005). The overexploitation of the Aquifer of the Hundido Valley and the corresponding ecological impact on the Reserves of Cuatro Ciénegas Valley of Coahuila, Mexico. *Water resources and environmental problems in karst*. Belgrado. 303-320 pp.

Souza V, Espinoza A.L., Escalante A, Farmer J, Rodríguez M. J.M. (2006). Soberón X., Dirzo R., Elser J.J. 2006. An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. April 25, 2006 .Vol.103, no 17 pp. 6565-6570. *The National Academy of Sciences of the USA*.

