

ISOTOPOS AMBIENTALES APLICADOS AL ESTUDIO DE LA INTERCONEXION DE LOS ACUIFEROS CALIZOS Y DE RELLENOS EN LA REGION LAGUNERA DE COAHUILA - DURANGO, MEXICO.

Carlos Latorre D. (SARH.- México)  
Juan M. Lesser I. (SARH.- México)  
Luis Quijano L. (OIEA.- Viena, Austria)  
Bryan R. Payne (OIEA.- Viena, Austria)

RESUMEN

La Región Lagunera es una amplia planicie que presenta clima árido, donde se ha desarrollado uno de los principales polos agrícolas de la República, el cual está basado en la irrigación tanto por medio de agua superficial, como a través de alrededor de 3000 pozos que sobreexplotan un acuífero granular cuyo nivel ha ido bajando gradualmente, originando graves problemas a la agricultura. Boreando a la Región Lagunera, se encuentran sierras formadas por rocas calizas acuíferas, las cuales no se encuentran explotadas y en caso de constituir un sistema acuífero independiente al de rellenos de la planicie, podría ser una fuente adicional de agua en la región. Se efectuó una interpretación en base a isótopos ambientales, a fin de estudiar la interconexión de los acuíferos calizos y de rellenos, mediante la cual se identificaron claramente a las aguas procedentes de las dos principales cuencas que alimentan a la zona, la cuenca del Aguanaval y la cuenca del Nazas, las cuales presentan condiciones climatológicas y fisiográficas distintas. Se identificó también el agua del acuífero, la cual se caracteriza por corresponder a agua de lluvia de recarga reciente, no evaporada y con un bajo contenido salino, en contraste con las aguas de los rellenos de la planicie, la que corresponde a agua infiltrada hace más de 40 años, que se encuentra parcialmente evaporada y con un alto contenido salino. En la porción estudiada se detectó un cambio gradual en las características químicas e isotópicas del agua del acuífero calizo hacia el agua de los rellenos, de donde se concluyó que existe conexión entre los dos acuíferos.

ABSTRACT

The basin called "Región Lagunera" is a large plain with an extensive land production based on irrigation by surface water by approximately 3,000 wells that over exploit a granular aquifer which its water level is dropping gradually with a consequent deterioration in the land production. Around the Región Lagunera there exist topographic elevations constituted mainly of permeable limestone where there is not ground water development. If the limestone aquifer is independent to the granular aquifer, it can be an additional source of water to this region. In order to study the interconnection between the aquifers, stable isotopes were determined and studied, founding that the limestone aquifer has young water without evaporation effects and low saline content, in contrast with the granular aquifer where the water is more than 40 years old, presents evaporation effects and high saline content. There is a gradual change in the isotopic and chemical characteristics of the water from the limestone to the granular aquifer which is interpreted as a connexion between them.

## GENERALIDADES

La zona estudiada se localiza en la porción suroeste del estado de Coahuila y parte este del estado de Durango, entre los paralelos 25° y 26° de latitud norte y los meridianos 102°40' y 104°00' de longitud oeste (Figura 1). Se encuentra limitada al oeste y sur por la Sierra Madre Oriental y hacia el este y norte por bolsones y sierras aisladas. Dentro del área se encuentra la ciudad de Torreón, al suroeste; así como la antigua Laguna de Mayran al noreste. La zona cuenta con un alto desarrollo agrícola y es conocida como "La Región Lagunera".

La zona está ubicada en las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval. La climatología de la cuenca del Nazas es típica de sierra y según la clasificación de Koppen modificada corresponde a un clima templado subhúmedo. La temperatura media anual es de aproximadamente 15°C, la evaporación de 1,780 mm. y la precipitación media de 550 mm. La altura de la cuenca varía de 2,500 a 3,000 m.s.n.m., con una altura media de aproximadamente 2,700 m.s.n.m.

Por otra parte, la cuenca del Río Aguanaval se localiza en el Antiplano Mexicano, caracterizado por planicies áridas (bolsones), en las que se encuentran lagunas efímeras. La climatología de esta región, según Koppen, es templada semiárida. Su temperatura media anual es de aproximadamente 17°C, la evaporación media de 2,250 mm. y la precipitación de 400 mm. La altura de esta cuenca varía de 2,000 a 2,600 m.s.n.m., siendo la altura media de aproximadamente 2,300 m.s.n.m.

Localmente en la Región Lagunera, la temperatura media es de 20.5°C, la evaporación del orden de 2,350 mm. y la precipitación anual de 250 mm. La altura de las sierras locales varía desde 1,400 m.s.n.m. hasta alturas generalmente del orden de 2,600 m.s.n.m. con máximos de 3,100 m.s.n.m. localizados en la Sierra de Jimulco. Los valores climatológicos característicos de algunos puntos de las cuencas pueden observarse en la Figura 2.

En la parte oriental de la región se localiza una extensa planicie de depósitos lacustres aluviales y eólicos, donde en el pasado los ríos Aguanaval y Nazas vertían directamente sus aguas, formando lagunas, tanto efímeras como perennes. Parte del agua se infiltraba al subsuelo para formar un acuífero en los materiales granulares.

Circundando a la Región Lagunera, principalmente hacia sus flancos oeste y sur, se encuentran sierras constituidas por rocas calizas, que presentan horizontes de gran permeabilidad, lo que ha permitido la formación de un acuífero de gran potencial.

Con la perforación de los primeros pozos en el año de 1920, se inició la explotación del agua subterránea para uso agrícola. La poca profundidad del nivel freático (del orden de 15 m.) y la gran producción de las captaciones, propició que al inicio de la década de los cuarenta, las obras en operación se incrementaran a un número aproximado de mil. El mayor número de captaciones, del orden de 3,000, se registra en el año de 1960, y a partir de esta fecha decrece, pues algunas obras entran en desuso debido al abatimiento del nivel freático.

Antiguamente, la recarga principal de los acuíferos provenía en forma directa de las infiltraciones del agua de los ríos Nazas y Aguanaval. En el año de 1946 entra en operación la presa Lázaro Cárdenas, construida sobre el río Nazas, la que origina una disminución del aporte de agua al acuífero. Un hecho similar tiene lugar entre 1962 y 1964, con el inicio del revestimiento de los canales de riego y con la puesta en funcionamiento de la presa Francisco Zarco, también sobre el río Nazas, con lo que se controlaron totalmente los escurrimien-

tos de este río. Por lo que respecta a la zona sureste en donde se localiza el río Aguanaival, también se ha disminuído en forma apreciable la recarga actual al acuífero, ya que el agua del río es encauzada por medio de canales para usarse en las zonas de riego.

Por otro lado, es de esperarse que la recarga proveniente de la infiltración de la lluvia en la planicie sea mínima, ya que la precipitación media anual es de 200 mm. La recarga por lluvia podría aumentarse ocasionalmente por la influencia de ciclones.

Es así que la intensa explotación del agua subterránea y el aprovechamiento de las aguas superficiales han provocado una disminución considerable en la recarga del acuífero, causando un notable descenso de los niveles freáticos, dejando inutilizados un gran número de pozos e incrementando los costos de bombeo.

### OBJETIVO DEL TRABAJO

El objeto del estudio fué determinar si el acuífero en rocas calizas de las sierras, recarga al acuífero de rellenos granulares que conforma la Región Lagunera. En caso de que los sistemas acuíferos fueran independientes sería factible extraer volúmenes adicionales de agua de las calizas, sin que repercutiera en la actual sobreexplotación del acuífero de rellenos.

### BASES PARA LA INTERPRETACION ISOTOPICA

En el presente trabajo, se utilizan los isótopos estables del agua, Oxígeno 18 y Deuterio, así como el radioisótopo Tritio, cuyas configuraciones moleculares más abundantes en el medio ambiente son:  $H_2^{18}O$ ,  $HD^{16}O$  y  $HT^{16}O$ . Los principales procesos físicos que alteran el contenido de estos isótopos en un sistema, son los cambios de fase, las reacciones de intercambio isotópico, y el decaimiento radiactivo, por lo que a una escala regional, el contenido isotópico depende de la temperatura del ambiente, la altura de la región, el tiempo de residencia del agua en el subsuelo, etc.

En caso de la evaporación de un cuerpo de agua, debido a que los isótopos pesados, Oxígeno-18 y Deuterio, tienen una menor presión de vapor, tienden a permanecer en la fase líquida, mientras que los ligeros son liberados. De esta forma, conforme los efectos de evaporación son más acentuados, mayor será el contenido de isótopos pesados del sistema. El caso contrario sería el del proceso de condensación, por el cual la fase gaseosa cederá preferentemente sus isótopos pesados, quedándose con los mas ligeros.

Desde el punto de vista práctico, lo anterior produce lo que se conoce como efecto continental, por el cual las masas de humedad de la atmósfera, al precipitarse en forma de lluvia, pierden gradualmente sus isótopos pesados conforme penetran en el continente. Otro efecto similar es el de altura, que produce un mayor empobrecimiento en isótopos pesados, conforme es mayor la altura de la zona donde ocurre la precipitación. En la práctica, esto permite distinguir diferencias en las alturas de recarga del orden de 100 metros.

Los procesos de condensación de las gotas de lluvia, se realizan en términos generales, en condiciones de equilibrio, y se ha encontrado a nivel mundial que las variaciones de Deuterio y de Oxígeno-18 de la precipitación, obedecen la relación  $\delta D\text{‰} = 8 \delta^{18}O\text{‰} + 10$ . En esta ecuación que se referirá como línea meteórica mundial, el contenido de los isótopos se ha expresado en términos-

de  $\delta$  ‰, que se define como:

$$\delta \text{ ‰} = \frac{R - R_{\text{smow}}}{R_{\text{smow}}} \times 10^3$$

En donde R para el Deuterio es el cociente del contenido de Deuterio y de Hidrógeno, y R para el Oxígeno-18 es el cociente del contenido de este isótopo y del Oxígeno-16. El R smow es el valor de estos cocientes para el patrón mundial de aguas oceánicas (SMOW), que se utiliza como referencia para expresar el contenido isotópico de las muestras de agua.

La evaporación del agua superficial y en particular cuando se almacena en presas o lagos, es por lo general intensa, y ocasiona un enriquecimiento isotópico sujeto a condiciones fuera de equilibrio. En este caso el agua no obedece la relación lineal de la precipitación, sino que se sujeta a una ecuación del tipo  $\delta D \text{ ‰} = (5+1)\delta^{18}O \text{ ‰} + C$ , en donde C es una constante.

En lo que se refiere al Tritio, se produce constantemente en la atmósfera en forma natural, por medio de las interacciones con los rayos cósmicos, y ocasionalmente es producido por el hombre en las pruebas nucleares. La cantidad de Tritio en la atmósfera depende de factores tales como hemisferio de que se trate, la latitud, etc. Su contenido en el agua del suelo disminuye exponencialmente de acuerdo a la ley de decaimiento radiactivo, con una vida media de 12.26 años. El contenido de Tritio se expresa por lo general en "unidades de Tritio" (U.T.), que se definen como la concentración en la que existe 1 átomo de Tritio por cada  $10^{18}$  átomos de Hidrógeno.

La persona interesada en conocer con más detalle los principios y aplicaciones de las técnicas de los isótopos ambientales se les recomienda la lectura de la referencia 5.

#### ANALISIS DE RESULTADOS

Dada la extensión de la Región Lagunera, se seleccionaron algunos sitios representativos de las probables fuentes de recarga del agua subterránea y de las regiones de contacto entre las formaciones calizas y los rellenos. Se obtuvieron un total de 41 muestras distribuidas en la región según se muestra en la Figura 3, y con las características de muestreo indicadas en la Tabla 1. Once de las muestras son aprovechamientos representativos del acuífero calizo, y cercanos a estos puntos, se seleccionaron 20 muestras en aprovechamientos que explotan los rellenos del valle. Estas muestras se agrupan en 6 zonas de acuerdo a su localización, y son; Venustiano Carranza (7 a 11), La Ojuela (13,14,15,25 y 28), Vicente Suárez (16 a 19), Dinamita (22,23 y 24), Bermejillo (26,27 y 29), y Francisco de Horizonte (32,33,39,40 y 41). El resto de las muestras (2,12,20,21,30 y 31), están distribuidas en diferentes partes de la región. Para caracterizar a las corrientes superficiales se obtuvieron 10 muestras a lo largo de los cauces de los ríos Aguanaval (3 a 6) y Nazas (1,34 a 38), que incluye a las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco.

Las muestras obtenidas fueron analizadas tanto química como isotópicamente y sus resultados se muestran en la Tabla 2. Los análisis isotópicos fueron realizados en el Organismo Internacional de Energía Atómica. Los valores de los isótopos estables Deuterio y Oxígeno-18, se han graficado en la Figura 4. Se pueden identificar dos grupos que tienen un contenido isotópico diferente y que a su vez corresponden a dos diferentes localizaciones geográficas. El primero, que se ha denominado "Grupo Nazas" está representado por los círculos y corresponde a muestras localizadas en los alrededores de la Sierra Mapimí y en la direc-

ción noreste, hacia Francisco de Horizonte. Su contenido isotópico es indicativo de que el agua ha estado sujeta a procesos de evaporación parcial, con un exceso de Deuterio que varía desde aproximadamente 10.4, hasta un valor de -2.6 para las muestras más evaporadas. Debido a que en la zona se riega con agua del río Nazas se han incluido en este grupo las muestras de la presa Francisco Zarco.

Considerando las muestras de las zonas de Ojuela, Dinamita, Bermejillo y Francisco de Horizonte, al noreste de Mapimí, se nota que los valores de los isótopos Deuterio y Oxígeno-18 aparecen agrupados a lo largo de la línea número 1 (Figura 4), cuya regresión es:

$$\delta D \text{ ‰} = (5.2 \pm 0.5) \delta^{18} O \text{ ‰} - (17.5 \pm 6.1) \quad (1)$$

$$r = 0.94 \quad Sx y = 1.47$$

Los valores correspondientes a la intersección de esta línea con la meteórica son:

$$\delta D \text{ ‰} = -68.6 \quad \delta^{18} O \text{ ‰} = -9.82 \quad (2)$$

El segundo grupo está representado por los triángulos correspondientes a muestras localizadas al sur de la zona de estudio, en los alrededores de las sierras de Jimulco y La Cadena. Este grupo se ha denominado "Grupo Aguana val", debido a la presencia del río del mismo nombre. En promedio el contenido de Deuterio es menor que el de las muestras del primer grupo, lo mismo ocurre con el rango del exceso de Deuterio, que sólo varía desde 5.1 hasta 2.1. Las muestras obtenidas en la zona de Venustiano Carranza (7 a 11), junto con la muestra de la mina La Velardeña (2), se agrupan a lo largo de la línea 2 (Figura 4), cuya regresión es:

$$\delta D \text{ ‰} = (3.7 \pm 0.9) \delta^{18} O \text{ ‰} - (33.8 \pm 8.4) \quad (3)$$

$$r = 0.89 \quad Sx y = 0.44$$

y que interseca a la línea meteórica en el punto:

$$\delta D \text{ ‰} = -71.5 \quad \delta^{18} O \text{ ‰} = -10.19 \quad (4)$$

La intersección de esta recta difiere de la intersección de la recta anterior en 0.37 % unidades de  $\delta^{18} O$ , lo cual se explicará más adelante.

#### GRUPO NAZAS

En la zona de la Ojuela, la muestra de la mina (28), en las calizas de la Sierra Mapimí, tiene un contenido isotópico similar a los pozos 15, 22 y 23, localizados en la ladera de la Sierra. El valor promedio de estas muestras es de:  $\delta D \text{ ‰} = -65.5 \pm 0.5$  y de:  $\delta^{18} O \text{ ‰} = -9.40 \pm 0.08$  por lo que forman un grupo isotópico bien definido. Como se ilustra en la Figura 4, estos valores son característicos de agua de precipitación pluvial no evaporada, ya que satisfacen la ecuación de la línea meteórica mundial. El contenido de Tritio de la mina (5.6 U.T.) es relativamente alto, e indica que existe una proporción significativa de aguas de recarga reciente. Lo anterior sugiere que las muestras son representativas de la recarga local en la Sierra Mapimí.

También a lo largo de la línea meteórica se encuentran las muestras 18 y 19 que se obtuvieron en el valle de Vicente Suárez. Debido a que su valor de  $\delta^{18} O$  es menor que el valor de la recarga en la Sierra Mapimí, con una diferencia del orden de 0.46%, debe tratarse de agua precipitada en la Sierra del Rosario. El caso contrario sería el del manantial Delicias (muestras 30 y 31), localizado en la lejana sierra del mismo nombre, a unos 100 Km. al noreste de Torreón. Su contenido de  $\delta^{18} O$  es mayor que el de la Sierra Mapimí por lo que se trata de agua de precipitación que se recarga a menor altura, del orden de una centena de metros. Su bajo contenido de Tritio (0.4 U.T) indica que

el agua se infiltró hace más de 40 años.

En el conjunto de muestras de la Figura 4, no existe evidencia de una contribución significativa a la recarga proveniente de la precipitación en las planicies, ya que la diferencia de alturas entre las serranías y las planicies es al menos de 800 metros, lo que debería producir valores más positivos de  $\delta^{18}O$ , a lo largo de la línea meteórica.

La línea 1 (Figura 4), caracterizada por la ecuación (1) podría explicarse de diferentes maneras, las cuales se discuten a continuación.

1.- La línea refleja un proceso actual de evaporación, ya sea directamente del subsuelo o debido a recirculación de agua de riego.

La profundidad del nivel estático en la zona donde se localizan estas muestras es mayor de 50 m., por lo que es muy poco probable que exista evaporación directa del subsuelo o una contribución significativa de excedentes de riego infiltrados.

2.- La distribución lineal se debe a una mezcla del agua representada por las muestras 15,22,23,28 y 32 y las aguas de riego de la presa Francisco Zarco.

Esta explicación parece apoyarse en el hecho de que las muestras tomadas de los embalses (1,34,38) y de pozos a lo largo del cauce del río Nazas (34,35,36), se distribuyen también a lo largo de la línea (Figura 4). Sin embargo, de ser cierta esta explicación, los pozos 26,27 y 29 captarían alrededor de un 50% de excedentes de agua de riego, lo cual parece poco probable en vista de la profundidad de los niveles estáticos. Además, una proporción tan alta de infiltración de aguas superficiales de riego implicaría la presencia de Tritio en dichos pozos, contrariamente a los resultados.

3.- La línea representa una mezcla entre las aguas precipitadas en la Sierra Mapimí (15,22,23,28) y las aguas características de los depósitos aluviales (12,26,27,29,39).

Estas últimas aguas presentan efecto de evaporación debido a que el mecanismo de recarga a los depósitos aluviales debió haber sido la infiltración en las lagunas formadas por el río Nazas, antes de que fuese totalmente controlado. El bajo contenido de Tritio de las muestras 12, (0.3 U.T.), 27 (0.3 U.T.), y 29 (0.4 U.T.), indica que las aguas fueron infiltradas hace más de 40 años, esto es, antes de la construcción de los embalses reguladores. El hecho de que los pozos en rellenos aluviales y el agua de la presa Francisco Zarco presenten efectos de evaporación parcial semejantes, refleja el origen común de ambos, el río Nazas, y condiciones similares de evaporación.

Las Figuras 5,6 y 7 proporcionan argumentos adicionales en favor de esta explicación. En la Figura 5 se ha graficado el total de sólidos disueltos contra el exceso de Deuterio, definido como  $d = \delta D - 8 \delta^{18}O$ . Como puede apreciarse, los pozos situados en las zonas de contacto entre calizas y rellenos, muestran una tendencia a aumentar el contenido en sólidos disueltos y disminuir el valor del exceso de Deuterio. Esta tendencia apunta hacia el grupo de muestras A, las cuales se consideran representativas del acuífero en rellenos. La gráfica de cloruro contra Oxígeno-18 (Figura 6) muestra una tendencia similar. Los pozos en calizas (15,22,28) presentan un contenido bajo en cloruro y Oxígeno-18, mientras que los pozos en rellenos presentan un incremento en cloruro

y Oxígeno-18 en dirección a los pozos característicos de rellenos (26,27,29). La gráfica de sulfato contra Oxígeno-18 es una evidencia más de esta tendencia.

Concluyendo, los resultados isotópicos apoyan la existencia de un flujo de calizas a los rellenos en la zona de las sierras de Mapimí y Bermejillo.

Las muestras obtenidas en el valle de Suárez (16,17,18 y 19) se distribuyen también a lo largo de la línea 1, (Figura 4).

Esta zona no se riega con agua del río Nazas, por lo que se descarta esta fuente como causa del enriquecimiento en isótopos pesados. Probablemente el enriquecimiento se deba a procesos de evaporación parcial, aunque no se tiene información para discernir de que tipo de procesos se trata.

#### GRUPO AGUANAVAL

Como se mencionó anteriormente el contenido isotópico de las muestras localizadas en la zona de contacto entre calizas y rellenos en las sierras de Jimulco y La Cadena, se distribuye a lo largo de la línea 2 (Figura 4), debido al reducido número de muestras, la interpretación de esta distribución lineal es difícil. Podría pensarse, a semejanza de la zona de Mapimí, que la distribución lineal se debe a una mezcla entre el agua precipitada en la sierra de Jimulco e infiltrada a las calizas y el agua subterránea de los rellenos. El hecho de que la línea 2 interseque a la línea meteórica en un punto más negativo que la línea 1, reflejaría la altura mayor de la sierra de Jimulco respecto a la de Mapimí.

El contenido isotópico de los pozos localizados a lo largo del cauce del río Aguanaval, muestra una distribución semejante a la de la línea 2. Las muestras 20 y 21, localizadas en la desembocadura del río, muestran efecto de evaporación parcial.

El contenido de Tritio de la muestra 20 (29.1 U.T.), indica que en dicha zona ha ocurrido recarga reciente, lo cual sugiere que la fuente de recarga a los rellenos han sido las inundaciones provocadas por los ríos, como se mencionó anteriormente.

#### CONCLUSIONES

En base a la interpretación del contenido de isótopos ambientales del agua de 41 aprovechamientos en la región de La Laguna, se obtuvieron las conclusiones siguientes:

1.- Se distinguen claramente dos grupos de aguas. Un primer grupo, que pertenece a la cuenca del río Nazas, y un segundo grupo, que corresponde a la cuenca del río Aguanaval.

2.- Las muestras localizadas en la ladera este de la sierra de Mapimí, corresponden a agua de lluvia de recarga reciente, no evaporada y con bajo contenido salino, las cuales identifican al acuífero calizo.

3.- Las muestras ubicadas en la planicie, corresponden a agua infiltrada hace más de 40 años, parcialmente evaporada y con un alto contenido de sales disueltas, las cuales representan al acuífero de rellenos. Se sugiere que las inundaciones periódicas debidas a los escurrimientos superficiales han sido la fuente principal de recarga del agua subterránea en rellenos.

4.- Existe un cambio gradual en las características químicas e isotópicas del agua del acuífero calizo hacia el agua de los rellenos, de donde se concluye que se trata de una mezcla de los dos cuerpos de agua, ratificando la conexión entre los dos acuíferos.

5.- En el grupo Nazas, las muestras recargadas a mayor altitud, corresponden a las del valle de Vicente Suárez, las cuales deben haberse infiltrado en la sierra de El Rosario, a una altura ligeramente mayor, del orden de un par de centenas de metros, que las de las zonas de la Ojuela, Dinamita y Bermejillo. Por otra parte, las muestras recargadas a menor altura, también del orden de unas pocas centenas de metros, corresponden al agua de los manantiales Las Delicias, localizados a 100 Km. al NE. de Torreón.

6.- El agua muestreada en la desembocadura del río Aguanaval, es de reciente infiltración, y proviene de los escurrimientos de dicho río.

7.- Las muestras de la zona de Viesca, se recargan en la sierra de Jimulco, a una altura unos pocos de cientos de metros mayor que el agua de la zona de Mapimí.

#### BIBLIOGRAFIA

1.- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (1977), Estudio sobre Servicios de Prospección y Levantamientos Geológicos y Geofísicos en la Región Lagunera de Coahuila - Durango, elaborado por Técnicas Modernas de Ingeniería, S.A., para la Subdirección de Geohidrología y de Zonas Áridas.

2.- Secretaría de Recursos Hidráulicos (1976), Atlas del Agua de la República Mexicana.

3.- Secretaría de Recursos Hidráulicos (1972). Isoyetas medias anuales de la República Mexicana.

4.- Bradley, E. et. al. Nuclear Techniques in Groundwater Hydrology, Chapter 10 of Groundwater Studies-An International Guide for Research and Practice, UNESCO (1972).

5.- Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical Reports-Series No.91. International Atomic Energy Agency, Viena 1968.

6.- Payne B.R. and Yurtsever Y., Environmental Isotopes as a Hydrological Tool in Nicaragua, Isotope Techniques in Groundwater Hydrology (1974), Vol.1 pp 193.

7.- Payne B.R., Water Balance of Lake Chala and its Relation to Groundwater from Tritium and Stable Isotope Data, Journal of Hydrology, 11 (1970), pp 47.

CARACTERISTICAS DE LOS POZOS MUESTREADOS EN LA REGION LAGUNERA DE DURANGO, COAH.

TABLA 1

Muestra No.	Acuífero	Tipo de aprov.	Prof. al N.E. m	Elevación del N.E. m.s.n.m. * aprox.	Q l.p.s.
L-1		Presa			
L-2	Caliza	Mina			
L-3	Relleno	Pozo	67.29	1116*	
L-4	Relleno	Pozo			60
L-5	Relleno	Pozo	13.17	1256*	
L-6	Relleno	Pozo			45
L-7	Relleno	Pozo	42.24	1055.58	40
L-8	Caliza	Pozo	35.88	1066.33	
L-9	Caliza	Pozo	34.50	1075.54	
L-10	Caliza	Pozo	32.32	1075.63	
L-11	Relleno	Pozo			10
L-12	Relleno	Noria	3.52	1094*	
L-13	Relleno	Pozo	42.35	1128.57	10
L-14	Relleno	Pozo	64.80	1112.12	6
L-15	Caliza	Pozo	55.41	1178.36	10
L-16	Relleno	Pozo	35.25	1289.73	
L-17	Caliza	Pozo	76.59	1141.49	21
L-18	Relleno	Pozo	50.41	1292.38	40
L-19	Relleno	Pozo	54.73	1283.41	46
L-20	Relleno	Pozo	46.55	1062*	40
L-21	Relleno	Pozo			35
L-22	Caliza	Pozo	33.41	1150.84	24
L-23	Relleno	Pozo	75.40	1063.39	12
L-24	Relleno	Noria	52.50	1083.42	3
L-25	Relleno	Noria	57.73	1136.40	
L-26	Relleno	Pozo	85.55	1025.69	35
L-27	Relleno	Pozo	85.00	1023.15	14
L-28	Caliza	Mina			
L-29	Caliza	Pozo	38.00	1075.94	
L-30	Caliza	Manantial			
L-31	Caliza	Manantial			
L-32	Relleno	Pozo			12
L-33	Relleno	Pozo			18
L-34		Presa			
L-35	Cauce río	Pozo	60.00 ±		60
L-36	Cauce río	Pozo	60.00 ±		0.5
L-37	Cauce río	Pozo	80.00 ±		70
L-38		Presa			
L-39	Relleno	Pozo	80.00 ±		40
L-40	Relleno	Pozo	80.00 ±		35
L-41	Relleno	Pozo	80.00 ±		50

RESULTADOS ISOTOPICOS Y QUIMICOS. LA LAGUNA, COAH.

TABLA 2

CLAVE	$^{18}O$ ‰	D ‰	TRITIO (U. T.)	ST D ppm	Ca <sup>2+</sup> ppm	Mg <sup>2+</sup> ppm	Na <sup>+</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm
L-1	-5.69	-48.1		274	35.4	3.4	22.4	3.9	35.5	145
L-2	-8.65	-65.1	2.3 ± 0.3	1603	180	64.6	214	138	880	74.7
L-3	-9.11	-68.7		1405	159	50.6	172	103	528	275
L-4	-9.31	-69.9		1051	81.4	49.5	173	85.1	517	105
L-5	-8.37	-66.8		1162	74.4	26.4	224	67	477	253
L-6	-8.37	-66.2		2967	136	75.3	714	234	1630	129
L-7	-8.28	-64.3	0.5 ± 0.2	1043	60.8	36.4	226	154	464	102
L-8	-8.70	-66.6	0.4 ± 0.2	1955	187	65.6	356	450	788	67.3
L-9	-8.99	-67.0		618	65.2	25.1	69.1	26	164	236
L-10	-8.93	-66.3		572	61.4	23.5	61.5	26	125	223
L-11	-8.60	-65.1		695	76.6	28.8	76.9	33	207	224
L-12	-6.29	-52.7	0.3 ± 0.2	1064	103	19.0	193	42.6	543	91.7
L-13	-8.21	-61.4		1296	175	49.1	103	96	463	159
L-14	-8.99	-64.3		834	64.3	27.5	132	20	274	249
L-15	-9.35	-66.3		607	56.1	15.2	80.8	20	101	212
L-16	-7.87	-57.9		592	50.8	37.1	43.8	23	74	94.2
L-17	-8.84	-62.7		1066	147	23.8	105	65	259	160
L-18	-9.87	-67.5		176	26.4	8.8	4.7	3.4	21.4	91.7
L-19	-9.85	-67.8		352	57.0	13.4	16.1	18	60.9	163
L-20	-8.48	-69.9	29.1 ± 0.8	3147	560	79	310	532	1300	366
L-21	-8.92	-69.6		643	40.9	4.6	131	26	200	195
L-22	-9.51	-65.6		290	29.7	18.7	20.6	9.2	73.2	112
L-23	-9.43	-65.3		1402	191	45.0	158	146	565	162
L-24	-8.36	-59.8		1943	291	60.2	200	55	1130	93.0
L-25	-8.37	-59.4		835	95.3	36.6	80.0	41	262	204
L-26	-7.36	-54.0		3060	466	135	249	100	1910	157
L-27	-7.42	-54.8	0.3 ± 0.2	3152	489	151	244	110	2040	74.7
L-28	-9.30	-64.9	5.6 ± 0.3	330	49.8	11.9	20.0	9.9	107	106
L-29	-7.15	-56.3	0.4 ± 0.2	3753	568	162	344	142	2430	70.2
L-30	-9.18	-60.0	0.4 ± 0.2	573	100	37.8	7.9	8.5	327	76.2
L-31	-9.16	-63.2		620	108	38.3	7.4	9.0	334	108
L-32	-9.18	-67.8	0.3 ± 0.3	618	30.0	1.2	151	17.7	241	127
L-33	-8.57	-64.4		1573	92.7	4.5	183	73	428	124
L-34	-7.83	-56.9								
L-35	-8.93	-64.5		640	100	35	33	74	120	267
L-36	-6.87	-54.7		1170	80	103	107	42	500	338
L-37				1001	36	1	258	71	125	501
L-38	-5.13	-43.4		433	112	34	0	23	1	263
L-39	-7.78	-58.7		604	124	13	38	88	195	146
L-40				414	46	2	70	32	67	197
L-41	-9.14	-65.8		1142	90	13	245	96	475	223

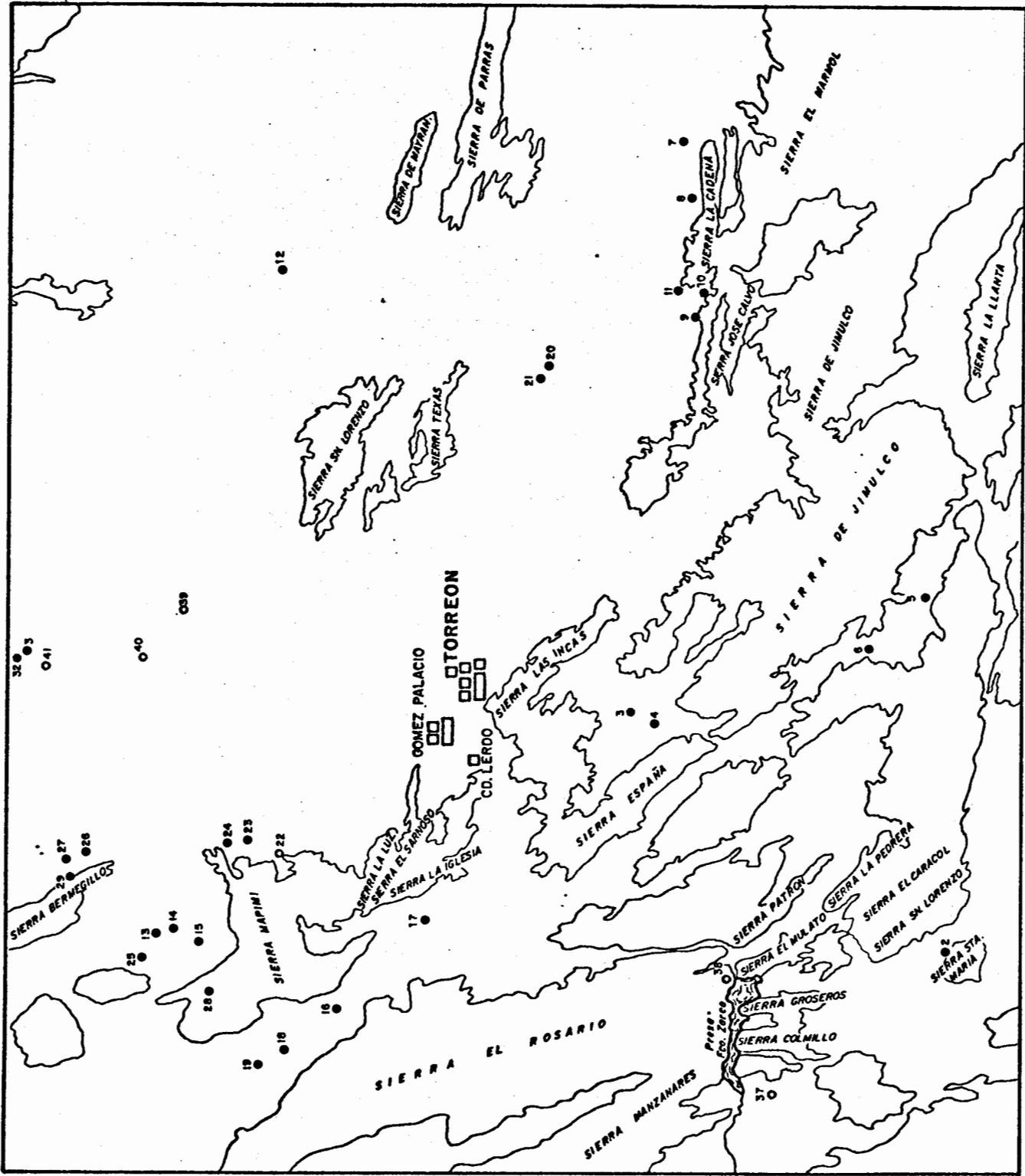


FIGURA No.3

LOCALIZACION DE APROVECHAMIENTOS MUESTREADOS



**PRESAS**

- 1- PRESA LAZARO CARDENAS
- 2- PRESA FRANCISCO ZARCO
- 3- PRESA EL CAZADERO
- 4- PRESA TRUJILLO
- 5- PRESA SANTA ROSA

NOTA : SON VALORES MEDIOS ANUALES

T : TEMPERATURA  
 P : PRECIPITACION  
 E : EVAPORACION

FIGURAS 1 y 2

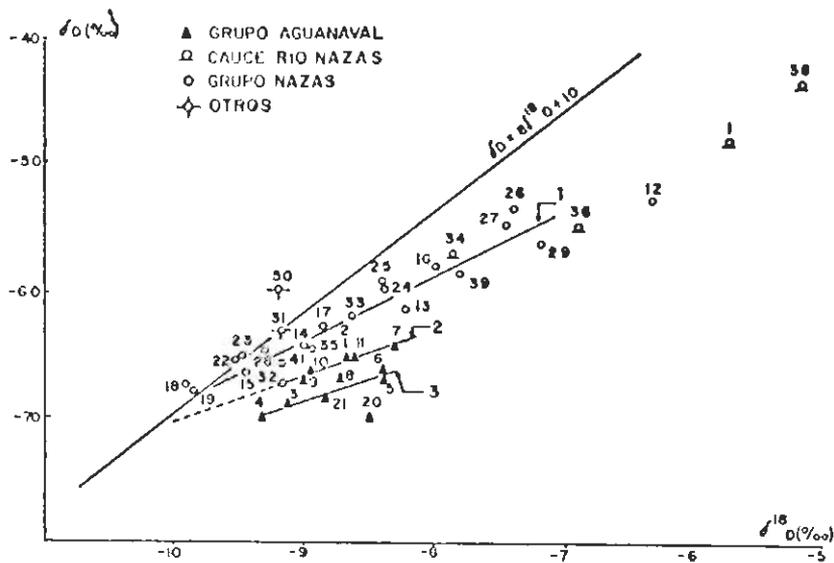


FIG. 4 ISOTOPOS ESTATALES, REGION LAGUNERA

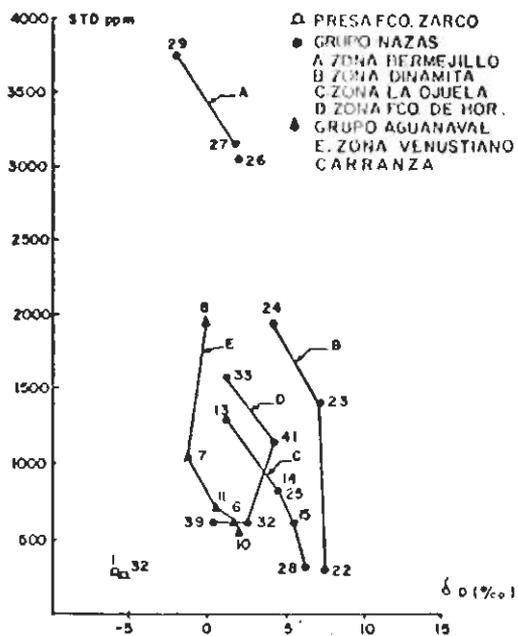


FIG. 5 TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS VS EXCESO DE DEUTERIO, REGION LAGUNERA

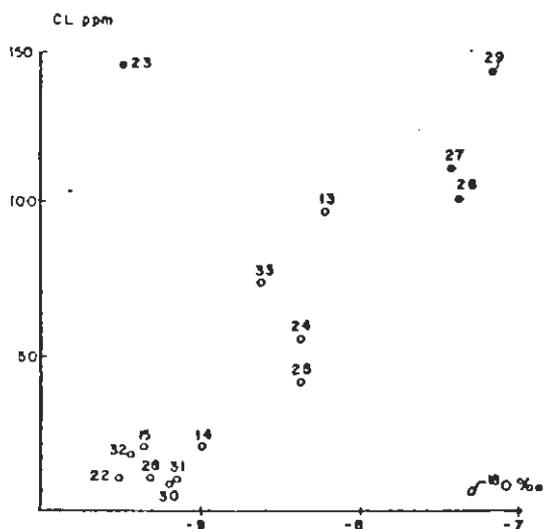


FIG. 6 CLORURO VS  $\delta^{18}O$ , REGION LAGUNERA

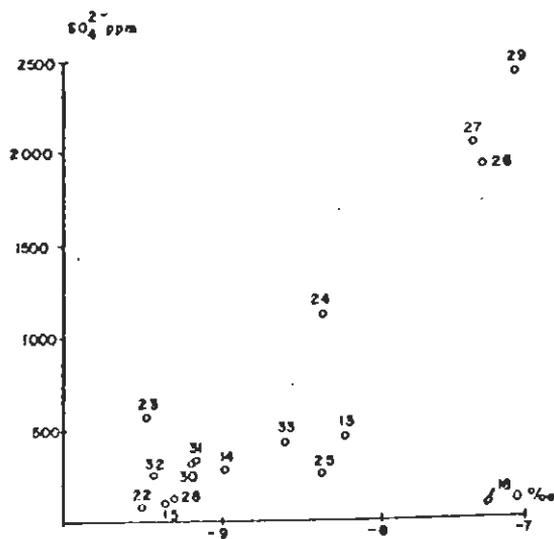


FIG. 7 SULFATO VS  $\delta^{18}O$ , REGION LAGUNERA