

## SINOPSIS DEL ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO EN LOS VALLES DEL HUNDIDO, CUATROCIÉNEGAS Y OCAMPO, COAH.

Este documento corresponde a una sinopsis del estudio. Para mayor detalle se sugiere consultar el informe principal.

### GENERALIDADES

Los agricultores de la Región Lagunera y zonas aledañas, han encontrado en el Valle del Hundido una zona con grandes perspectivas de desarrollo agrícola, por lo que en los últimos años se ha implementado un ambicioso programa de perforación de pozos para abrir nuevas tierras al cultivo. Esta situación ha provocado que los grupos ecologistas del Estado y del País, soliciten al Gobierno Estatal de Coahuila y a la Comisión Nacional del Agua, evaluar el proyecto de desarrollo agrícola a fin de determinar el posible impacto que puede provocar la extracción de agua subterránea en el Valle del Hundido sobre la zona de manantiales de Cuatrociénegas, Coah.

Para ello, la Comisión Nacional del Agua (CNA) a través de la Gerencia de Aguas Subterráneas, encomendó a la empresa Lesser y Asociados, S. A. de C.V., la realización del "Estudio de evaluación hidrogeológica e isotópica en el Valle del Hundido, Estado de Coahuila". El presente documento es una sinopsis del mencionado trabajo.

### LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en la porción noroccidental del Estado de Coahuila. Incluyó al Valle del Hundido con una superficie de 900 km<sup>2</sup> ubicado entre los paralelos 26°20' y 26°45' de latitud norte y los meridianos 102°05' y 102°40' de longitud oeste; al Valle de Cuatrociénegas con una superficie de 1,200 km<sup>2</sup> entre las coordenadas 26°37' y 27°00' de latitud norte y 101°45' y 102°22' de longitud oeste. Finalmente, el Valle de Ocampo, con 800 km<sup>2</sup> entre los paralelos 27°01' y 27°20' de latitud norte y 102°03' y 102°28' de longitud oeste (figura 1).

## DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

A continuación se presenta la descripción general del área de estudio, la cual se copio del Artículo "Cuatrociénegas" lagunas en el desierto, de la Revista Clío. En esta descripción se narra de manera sencilla el panorama que se presenta en la zona de trabajo.

.... En lo más profundo del desierto de Coahuila, casi en límite de la gran alta planicie del norte de México, se encuentra un conjunto de valles desérticos separados por altas serranías. Debido a la aridez, no hay ríos ni arroyos de importancia, solo amplias planicies cóncavas que terminan en taludes pedregosos al pie de las montañas que localmente se les conoce como "bolsones". Es común que en las partes bajas de los bolsones exista una o varias lagunas; secas la mayor parte del año; su aspecto es el de grandes llanos de color blanquecino, debido a las sales que deja la evaporación del agua; la escasa vegetación aumenta la imagen desolada de esta tierra estéril; son las "playas", antiguas orillas polvosas de lo que alguna vez fue un cuerpo de agua.

A lo largo de esta ruta se despliegan amplios panoramas desérticos y el calor acentúa la monotonía de los valles, que reverberan con múltiples espejismos. Aparentemente no hay grandes cambios en el paisaje, sólo rocas desnudas y matorrales espinosos. Las brechas, que se pierden en el horizonte y comunican lejanas rancherías, y las estelas de polvo que indican el paso de algún vehículo de carga figuran entre las pocas señales de actividad humana. Es quizá esta soledad la que de pronto llama la atención, la que la impulsa a apreciar detalles que de otro modo nos parecerían banales; los pliegues de las montañas, los campos de sotoles y lechugillas que cubren los llanos, los roqueríos que esconden pequeñas cuevas, las cárcavas formadas por los secos arroyos, las plantas que se disponen "artísticamente" alrededor de unos peñascos. A lo lejos se pueden apreciar características mayores; las "bajadas", grandes taludes de roca al pie de las cañadas; las "boquillas", pasos que se abren entre las sierras calizas y que comunican unos valles con otros, y las sierras mismas, de variadas siluetas. Algunas son amplias y bajas, cortadas por cientos de barrancos, como la Sierra de Australia; otras son abruptas, con gigantescas paredes de cientos de metros de altura, como las de San Marcos y Pinos, que se inflaman de color con la luz del atardecer. En medio de ellas se extienden los secos bolsones; el Valle del Sobaco, el Valle del Hundido, el valle de Ocampo y el de Cuatro Ciénegas; los dos últimos son los más bajos, áridos y calurosos de toda la región. Al entrar en ellos nos recibe un campo de dunas blancas que es visible hasta el poniente. En la planicie solo crecen unos pocos matorrales bajos sobre una costra grisácea. Lo que menos se esperaría

potrero donde en una forma clara afloran desde la Formación San Marcos del Cretácico Inferior, hasta la Formación Buda del Cretácico Superior.

La sección B-B' tiene una orientación suroeste-noreste. Parte de la Sierra de La Fragua, cruza parte del Valle de Cuatrociénegas y de la Sierra de San Marcos. La posición de esta sección tuvo por objeto el conocer si la estructura podría permitir el flujo de agua subterránea a través principalmente de la Formación Aurora y equivalente Washita, procedente de la Sierra de La Fragua hacia el flanco oriente de la Sierra de San Marcos. La finalidad de obtener una mayor idea del origen del agua subterránea que aflora a través de pozas en el Valle de Cuatrociénegas.

La sección se presenta en la figura No. 3 donde se observa la existencia de una falla inversa cerca de la carretera Cuatrociénegas-Torreón y una falla normal sobre el flanco oeste de la Sierra de San Marcos.

La sección C-C' (figura 4), se trazó desde el Valle del Hundido hasta el extremo sur del Valle de Cuatrociénegas, pasando por el Potrero de San Marcos conocido también como Valle El Jabali. Al igual que para las secciones anteriores, el objeto fue el de conocer la estructura y distribución de las rocas en el subsuelo, que permita apoyar el conocimiento sobre el funcionamiento geohidrológico que sustente la posible conexión de agua subterránea, desde el Valle del Hundido hasta el Valle de Cuatrociénegas, cerca del área donde se encuentran las pozas.

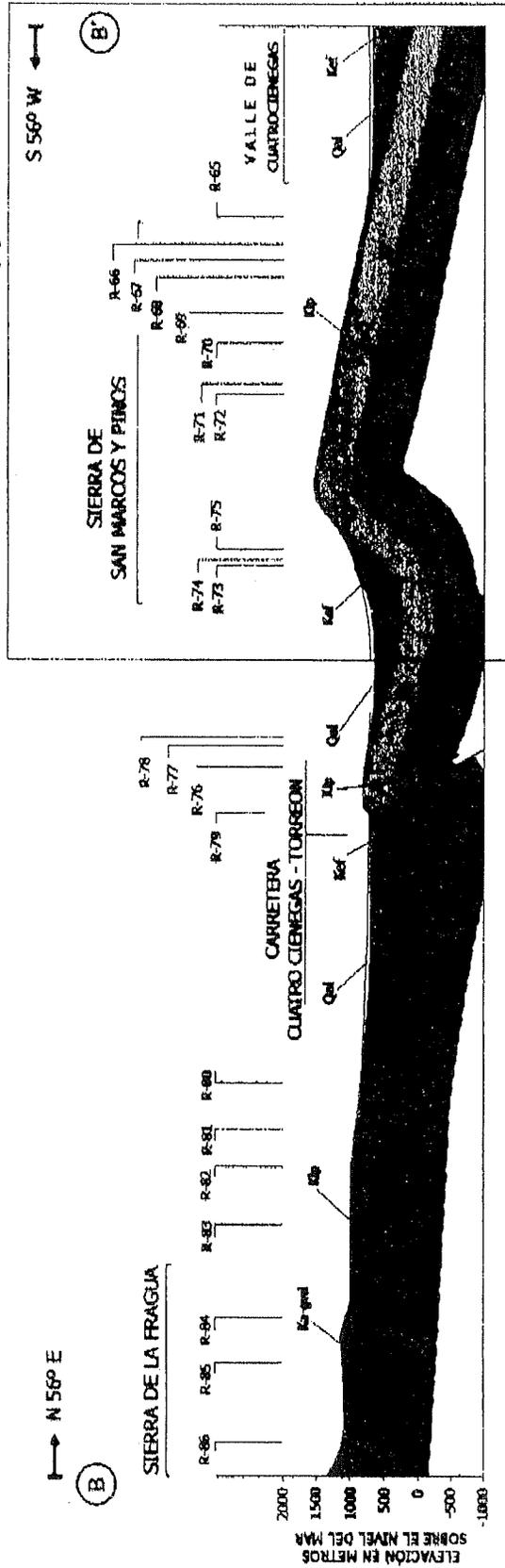
En las Sierras de Alamitos y La Fragua afloran fuertes espesores de las calizas de la Formación Aurora-Washita Indiferenciado, las cuales han sido erosionadas en el Potrero de San Marcos donde aflora el núcleo del anticlinal. En este caso, el núcleo está representado por la Formación San Marcos. Hacia el extremo oriental de la Sierra de San Marcos, vuelven a aparecer las calizas de las Formaciones Cupido, Aurora y Washita. Como se observa no existe continuidad entre la principal formación acuífera Aurora-Washita, del Valle del Hundido al Valle de Cuatrociénegas.

En la figura 5 se muestran fotografías tomadas desde el centro del Potrero de San Marcos en dirección al norte, donde se presenta la columna geológica desde el Grupo Washita Indiferenciado coronando a la sierra, hasta la Formación Cupido y bajo ella la Formación San Marcos. En la figura 6 se muestra una fotografía del flanco poniente de la Sierra de San



# SECCIÓN GEOLÓGICA B - B'

## DETALLE (I)



### LEYENDA GEOLÓGICA

- EXPLICACIÓN**
- R-77 SITIO DE VERIFICACIÓN
- LEYENDA GEOLÓGICA**
- Qal (ALUNTÓN)
  - Kef (EAGLE FORD)
  - Kgw (GPO. WASHITA INDIFFERENCIADO)
  - Ka-gw (FM. ACETITA Y GPO. WASHITA INDIFFERENCIADO)
  - Ka (FM. AURORA)
  - Kp (FM. LA PEÑA)
  - Kc (FM. CLUPIDO)
  - Ksm (FM. SAN MARCOS)

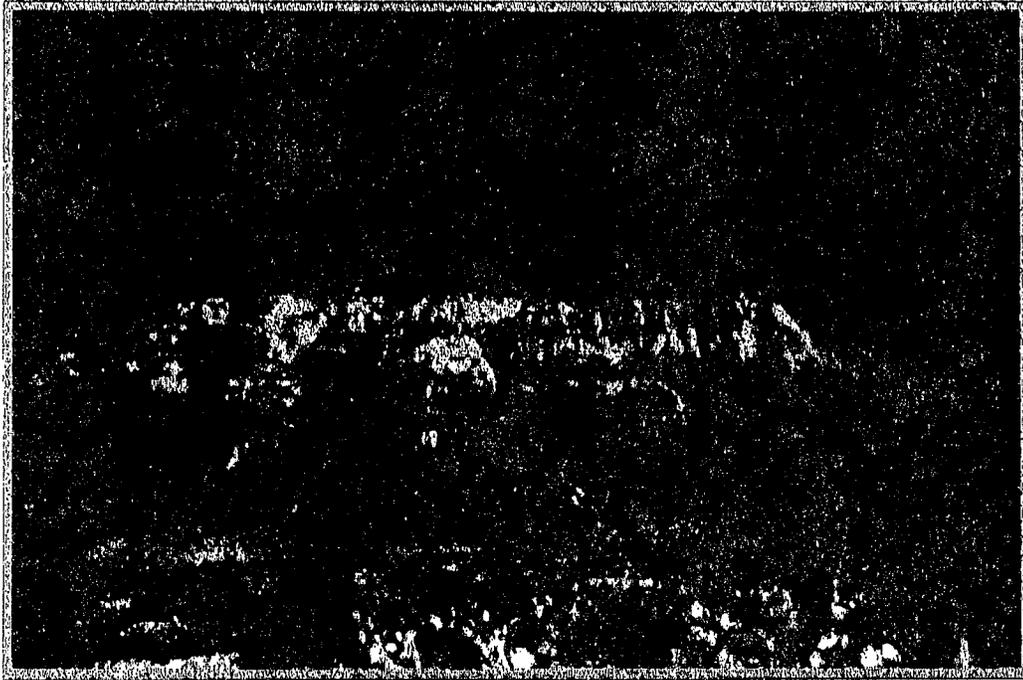


Figura 3

**Núcleo del Anicéltal San Marcos**

Cuatro Cenegas, Coahuila.

**NUCLEO SIERRA DE SAN MARCOS**



**NUCLEO SIERRA DE SAN MARCOS**



Figura 5

Marcos donde se observa la flexión de los hechados los cuales presentan alrededor de  $10^\circ$  en la parte superior de la sierra y  $80^\circ$  en las estribaciones de la misma.

En la figura 7 se incluyen fotografías y croquis ilustrativo del columpio topográfico que forma la unidad geológica del río debido a que presenta rocas de menor competencia que las calizas de las Formaciones Georgetown y Buda que la encajonan. Este sitio se ubica a 2 kilómetros del este del poblado de Cuatrociénegas.

### CENSO DE APROVECHAMIENTOS

En el Valle del Hundido se censaron 81 aprovechamientos de agua subterránea de los cuales 28 se encuentran activos. En su mayoría corresponden a pozos destinados a la agricultura. El nivel estático se midió a entre 10 y 120 metros de profundidad. Los caudales de extracción medidos a los pozos fluctúan entre 0.5 y 100 lps. La extracción de agua alcanza 21.877 millones de  $m^3$  anuales.

En el Valle de Cuatrociénegas se censaron 71 aprovechamientos de los cuales 44 se encuentran activos y destinados en su mayoría para uso agrícola. El nivel estático medido varía entre 5 y 40 metros de profundidad; los caudales de extracción fluctúan entre 0.5 y 64 lps por pozo. Además de los pozos, existen un gran número de cuerpos de agua conocidos como "pozas", las cuales están ubicadas sobre una franja de 3 kilómetros de ancho al pie del flanco oriental de la Sierra de San Marcos, sobre una superficie de 70 kilómetros cuadrados. Entre las "pozas" destacan 8 de ellas por su tamaño, caudal y belleza (figura 9).

La SEMANART tiene actualmente censadas y controladas alrededor de 300 pozas sin embargo, se habla de la existencia de más de mil pozas de menor tamaño.

En el Valle de Ocampo se censaron 192 aprovechamientos de agua subterránea de los cuales 101 se encuentran activos y en su gran mayoría corresponden a pozos destinados a la agricultura. El nivel estático medido varía entre 10 y 40 metros de profundidad, el caudal de extracción fluctúa entre 1 y 118 lps por pozo. El volumen de extracción asciende en este Valle a  $35.40 Mm^3/año$ .

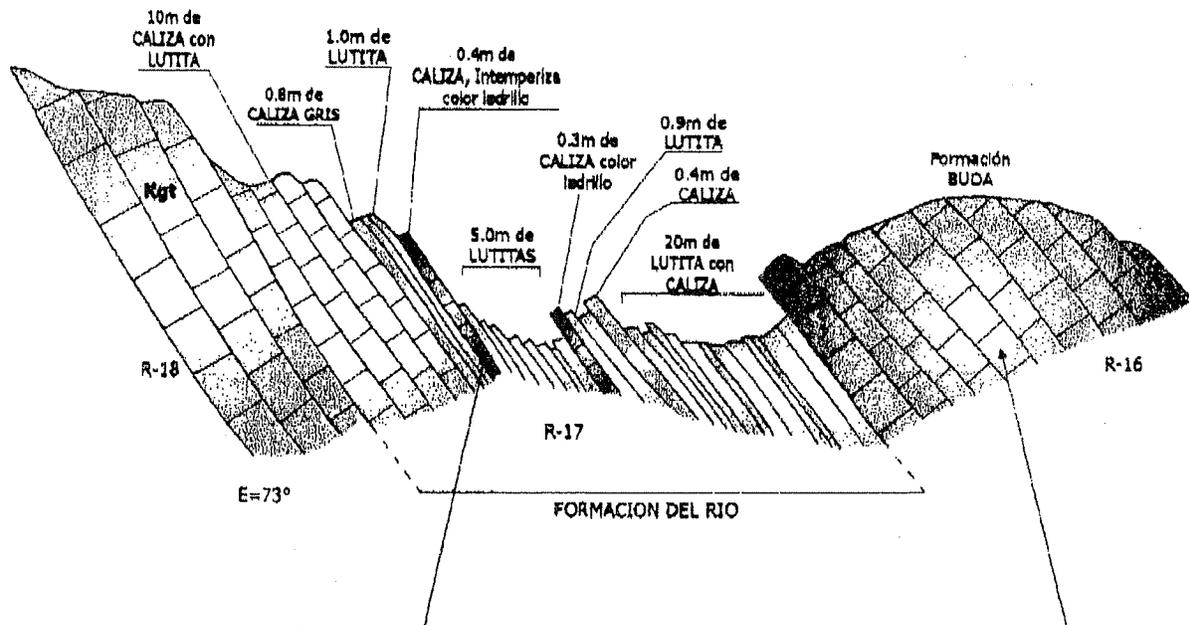


Figura 7

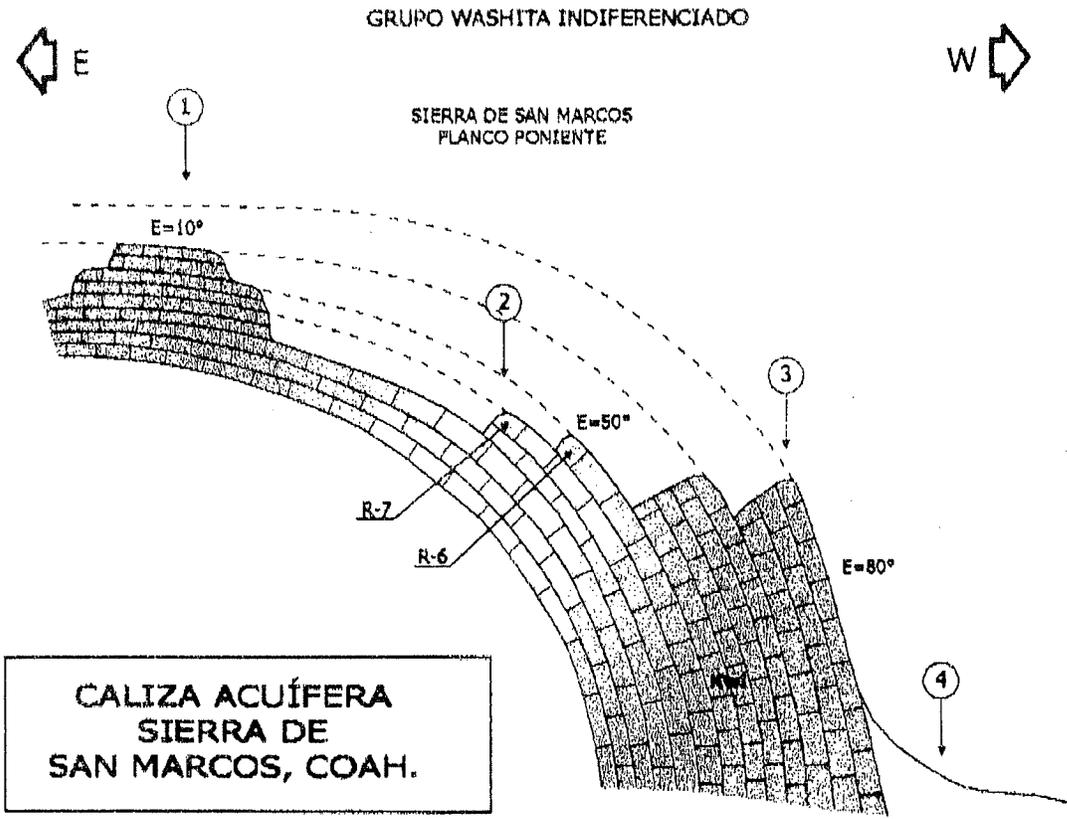
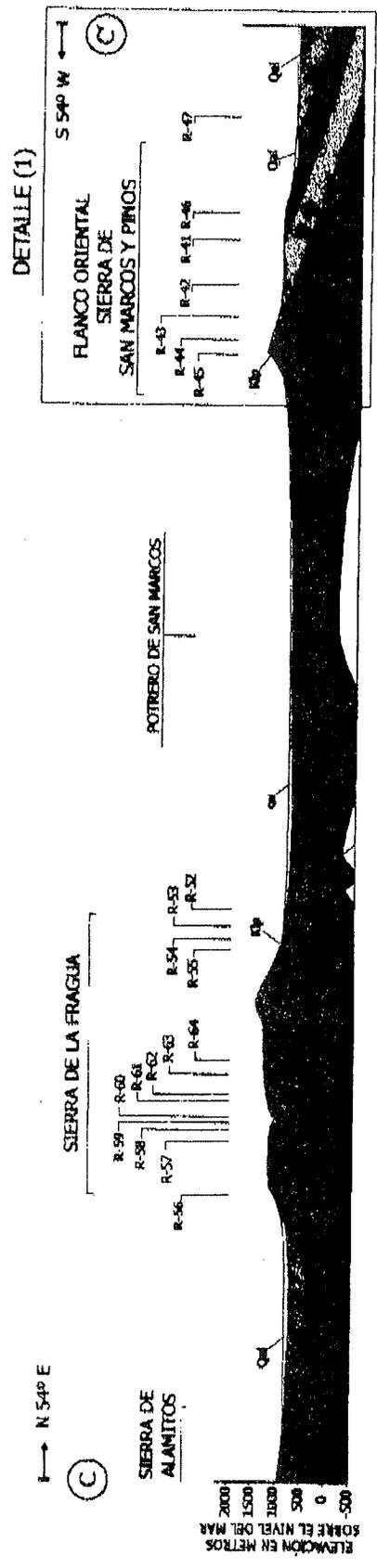


Figura 6

# SECCIÓN GEOLÓGICA-GEOHIDROLÓGICA C-C'



## LEYENDA GEOLÓGICA

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| Qel (ALUVIÓN)                                      | Kip (FM. LA PEÑA)     |
| Kau (FM. AUSTIN)                                   | Kc (FM. CUPIDO)       |
| Kef (EAGLE FORD)                                   | Kama (FM. SAN MARCOS) |
| Kgmi (GPO. WASHITA INDIFERENCIADO)                 | Kjc (GRUPO LA CASITA) |
| Ka-gwi (FM. ACATITA Y GPO. WASHITA INDIFERENCIADO) | Kz (GPO. ZULOAGA)     |
| Ka (FM. AURORA)                                    |                       |

- EXPLICACIÓN**
- R-70 SITIO DE VERIFICACIÓN
  - ➔ DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO

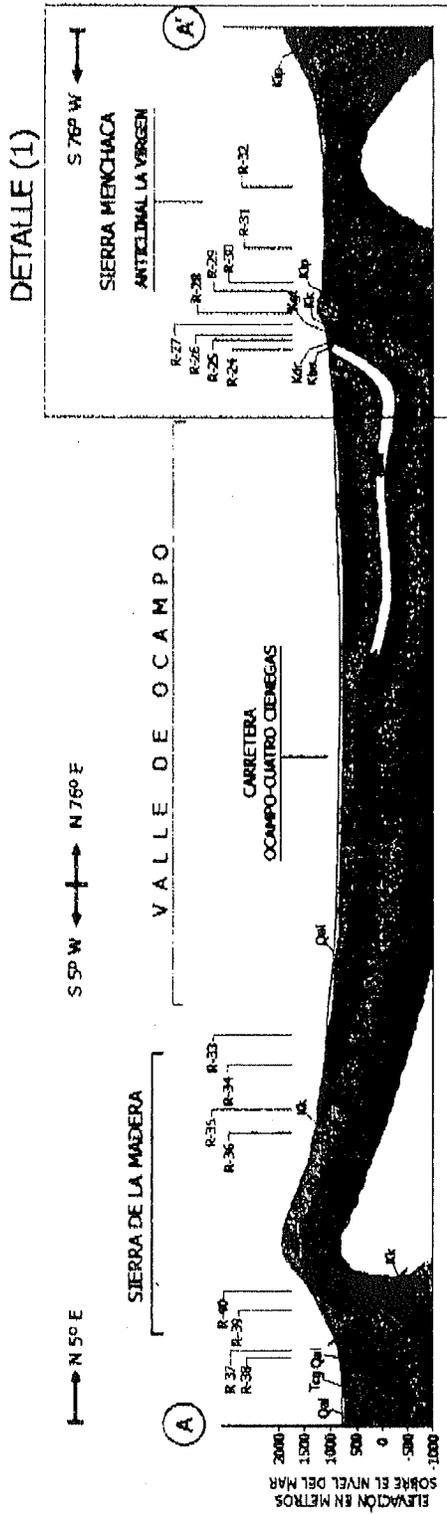


Figura 4





# SECCIÓN GEOLÓGICA A - A'



## LEYENDA GEOLÓGICA

- |                                   |  |                             |
|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| <b>EXPLICACIÓN</b>                | <b>Qm (ALUMIÓN)</b>                      | <b>Kk (FM. KUAMICHIO)</b>   |
| <b>R-33 SITIO DE VERIFICACIÓN</b> | <b>Kau (FM. AUSTIN)</b>                  | <b>Ko (FM. ALORRA)</b>      |
|                                   | <b>KG (GRUPO DIRLIKTA)</b>               | <b>Kp (FM. LA PEÑA)</b>     |
|                                   | <b>Kau (FM. AUSTIN)</b>                  | <b>Kc (FM. CLUPIDO)</b>     |
|                                   | <b>NO AFLORA</b>                         | <b>Kv (FM. LA VERGEN)</b>   |
|                                   | <b>Kef (EAGLE FORD)</b>                  | <b>Ksm (FM. SAN MARCOS)</b> |
|                                   | <b>Kbu (FM. BLUDA)</b>                   | <b>Kmch (FM. MENCHACA)</b>  |
|                                   | <b>Kdt (FM. DEL RÍO)</b>                 | <b>NO AFLORA</b>            |
|                                   | <b>Kgt (FM. GEORGETOWN)</b>              | <b>Jc (GPO. LA CASITA)</b>  |
|                                   | <b>Kgm (GPO. WASHITA INDIFERENCIADO)</b> | <b>NO AFLORA</b>            |



ESCALA GRÁFICA

Figura 2

*es que en esta aridez extrema hubiera animales acuáticos, más la sorpresa es que no sólo los hay en abundancia, sino que se han desarrollado en la zona durante miles de años; ocho especies de peces, nueve de caracoles y tres tipos de tortugas existen únicamente aquí; además de camarones, copépodos y estromatolitos, seres que comúnmente viven en las aguas menos hondas de los océanos -las aguas someras- y no en medio de un desierto continental, a cientos de kilómetros de mar...*

## GEOLOGÍA

La zona estudiada se ubica en la porción central del Estado de Coahuila. Corresponde a sierras alargadas con una orientación general noroeste-sureste las cuales se encuentran separadas por extensos bolsones. En toda la zona impera el clima árido. En general, la mitad noreste del área en estudio corresponde a sedimentos calcáreos depositados en el Golfo de Sabinas y los plegamientos dan lugar a sierras de tipo alargado, mientras que la mitad suroeste corresponde a sedimentos depositados sobre la Península de Coahuila, donde los plegamientos dan lugar a sierras de forma dómica.

Las rocas más antiguas que afloran corresponden a las areniscas de la Formación San Marcos sobre las que descansan rocas calcáreas de las Formaciones La Virgen, Cupido, La Peña, Aurora, Acatita, Kiamichi, Grupo Washita indiferenciado, Georgetown, Del Río, Buda e Eagle Ford.

Para mostrar las estructuras predominantes en la región, se trazaron secciones geológicas de las cuales tres se presentan en las figuras 2, 3 y 4. Su localización y detalle se puede consultar en el informe principal. El criterio para el trazo de las líneas de sección, fue el de conocer la relación geológica-geohidrológica entre los Valles del Hundido, Cuatrociénegas y Ocampo, tendientes a determinar la factibilidad, desde el punto de vista geológico, de que pudiera existir comunicación geohidrológica entre los valles.

La sección A-A' (figura 2), parte del Valle de Cuatrociénegas y cruza en forma perpendicular el anticlinal de la Sierra de La Madera, para posteriormente atravesar parte del Valle de Ocampo y cruzar el anticlinal de La Virgen, donde se expone prácticamente toda la columna estratigráfica. En el flanco sur de la Sierra de La Madera, se presenta un falla inversa que pone en contacto a las calizas de la Formación Aurora con las rocas calcáreas del Cretácico Superior. Por lo que respecta al anticlinal de La Virgen, este tiene una forma simétrica y la erosión a que ha estado sujeta a permitido la formación de un

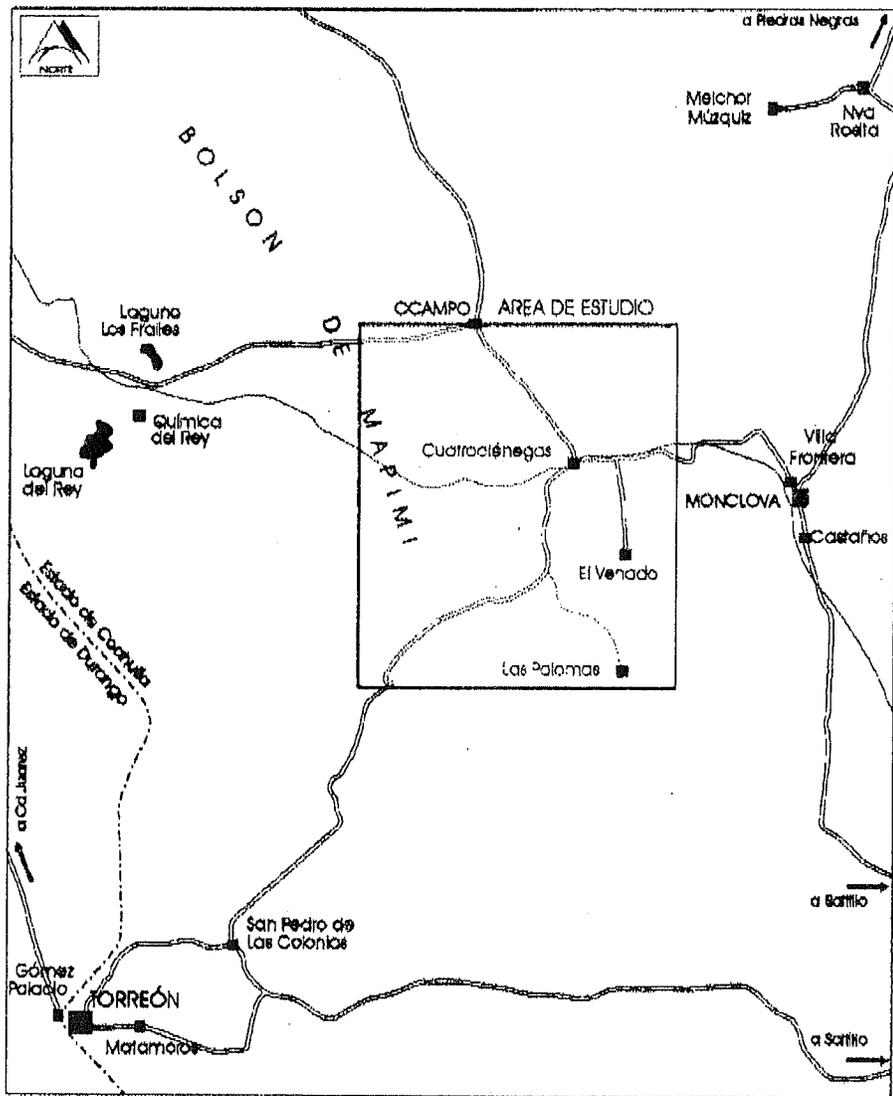
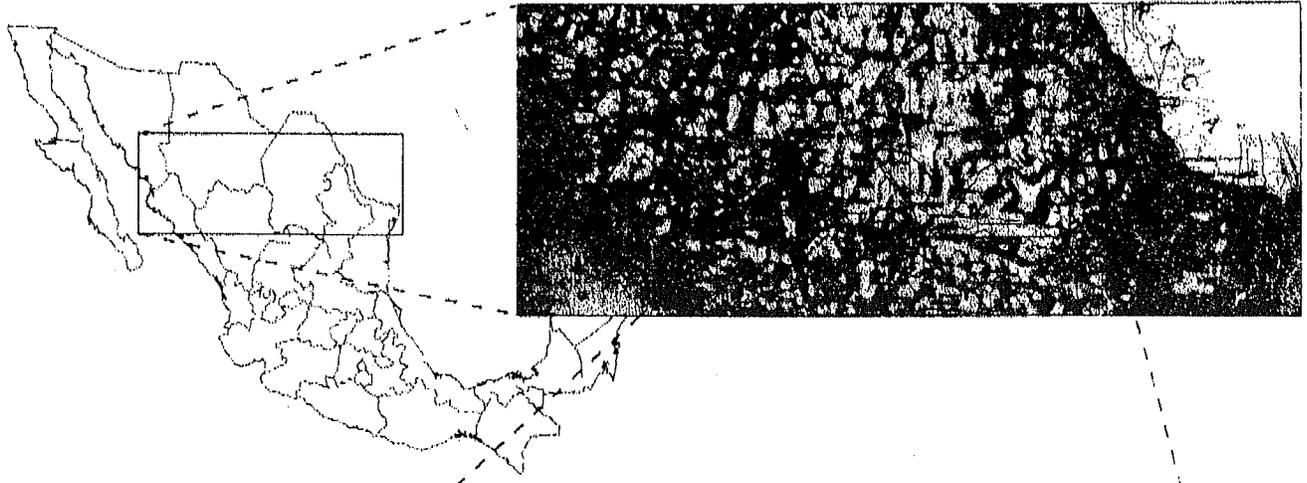


FIGURA 1.1.-PLANO DE LOCALIZACION

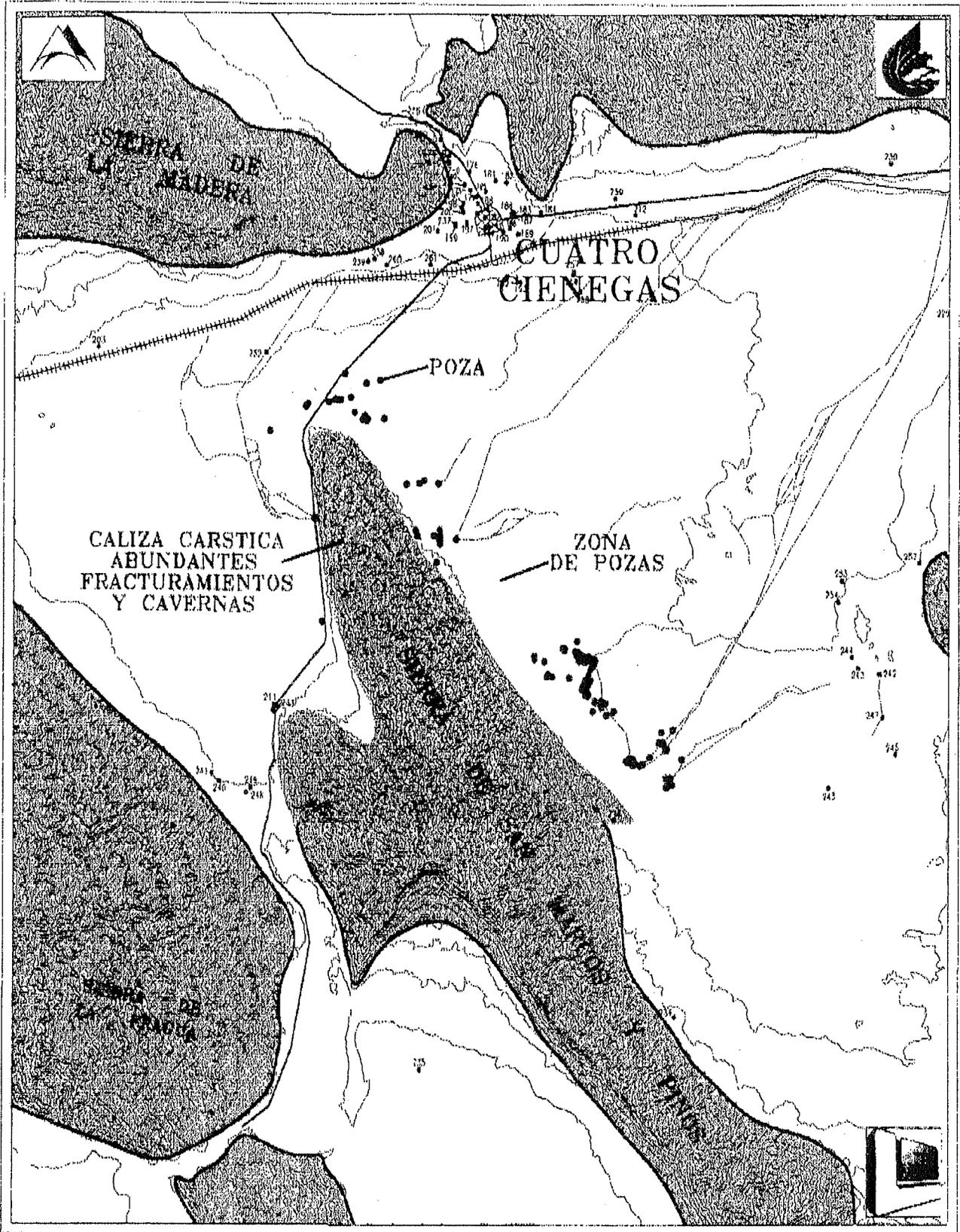


FIGURA 8.- PLANO CON ZONA DE POZAS.

## SALINIDAD DEL AGUA

Se obtuvo la salinidad del agua subterránea de la mayor parte de los aprovechamientos censados a través de la medición de la conductividad eléctrica. Los valores obtenidos se vaciaron sobre planos en los cuales se trazaron curvas de igual conductividad eléctrica del agua subterránea. Se clasificó al agua de acuerdo a su salinidad, expresada en micromhos/cm, en agua de buena, mediana y mala calidad. Se consideró como agua de buena calidad a la que presenta conductividades menores de 1,500 micromhos por centímetro. Agua de mediana calidad a la que incluye entre 1,500 y 2,500 micromhos por centímetro y agua de mala calidad a la que tiene conductividades mayores de 2,500 micromhos por centímetro. En las figuras 10 a 12 se marca el agua de acuerdo a la clasificación mencionada, observándose que en el Valle de Ocampo prácticamente toda el agua se clasifica como de buena calidad, por tener un bajo contenido salino; en Cuatrociénegas el agua es en su mayor parte de mediana calidad con algunas zonas pegadas a las serranías donde el agua es de buena calidad. En contraste, en el Valle del Hundido prácticamente toda el agua subterránea es de mala calidad, debido a su alto contenido salino, el cual alcanza en algunos sitios más de 10,000 micromhos por centímetro.

## CLASIFICACIÓN DEL AGUA PARA RIEGO

Tomando como base los resultados de los análisis químicos se clasificó el agua desde el punto de vista agrícola para lo cual se utilizó la clasificación de Wilcox.

Para el Valle de Ocampo predomina el agua  $C_2 S_1$  y  $C_3 S_1$  correspondiente a agua con bajo contenido de sodio ( $S_1$ ) y medio y alto contenido de sales ( $C_2$  y  $C_3$ ). Esta agua puede utilizarse para riego preferentemente en suelos arenosos.

El agua de Cuatrociénegas en su mayor parte se clasifica como  $C_3 S_1$ ,  $C_4 S_1$  y  $C_4 S_2$ , que corresponde a agua con bajo y medio contenido de sodio intercambiable ( $S_1$  y  $S_2$ ) y, alto y muy alto contenido salino ( $C_3$  y  $C_4$ ). El agua con alto contenido salino puede llegar a utilizarse en riego en terrenos arenosos y llevando a cabo un manejo cuidadoso, a fin de evitar la salinización de los suelos. El agua con muy alto contenido salino no es recomendable para riego.

Por lo que corresponde al agua del Valle del Hundido, esta se clasifica como  $C_4 - S_1$  que corresponde a agua con muy alta cantidad de sales ( $C_4$ ) y bajo contenido de sodio

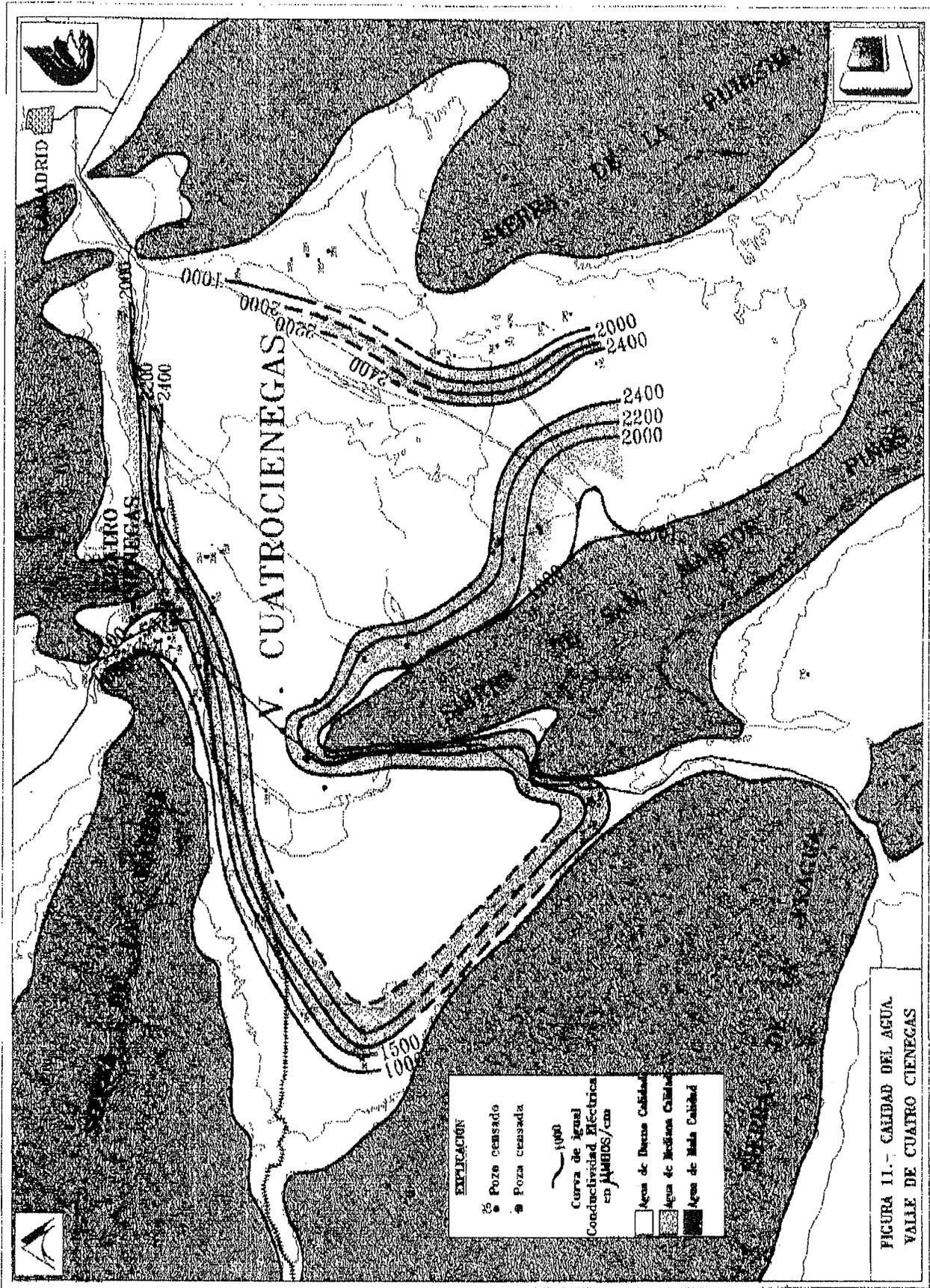


FIGURA 11.- CALIDAD DEL AGUA VALLE DE CUATRO CIENEGAS

intercambiable (S1). En general, este tipo de agua no es recomendable para riego. Puede utilizarse con muchas restricciones en suelos arenosos utilizando agua en exceso para provocar el lavado de suelos y en cultivos resistentes o tolerantes a las sales. Sin embargo, el uso de este tipo de agua en riego, tiende a ir ensalitrando el terreno, provocando una disminución en el rendimiento de los cultivos lo cual se agudiza conforme pasa el tiempo.

### **CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO**

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana 127, el agua para consumo humano debe contener baja cantidad de sales. Entre los límites máximos establecidos, el de los sólidos totales disueltos es de 1,000 mg/l y 400 mg/l para los sulfatos. La mayor parte del agua de los Valles del Hundido y Cuatrociénegas, no cumplen con los requerimientos para ser utilizada como agua potable. En el Valle de Ocampo la mayor parte de ésta, si cumple con los requisitos establecidos para agua de consumo humano.

### **FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUÍFEROS**

#### **VALLE DEL HUNDIDO.-**

En el Valle del Hundido se encuentran dos materiales permeables, aluviones y calizas, a través de los cuales se infiltra, circula y almacena agua en el subsuelo, dando origen a zonas acuíferas. Los aluviones se presentan en una capa que cubre la planicie con un espesor de entre 100 y 150 m. Las calizas corresponden a la Formación Aurora y al Grupo Washita Indiferenciado.

En la figura 13 1a se muestra el funcionamiento de los acuíferos en el Valle del Hundido. Se marca la distribución de los materiales existentes en el subsuelo. Destacan por una parte, los materiales granulares que rellenan el valle, los cuales se encuentran saturados a partir de los aproximadamente 10 - 20 metros de profundidad. Por otra parte, el horizonte acuífero calizo el cual presenta permeabilidad a través de fracturas y conductos de disolución, permite la infiltración y circulación de agua en el subsuelo.

Entre los dos cuerpos o unidades mencionadas, (aluviones y calizas Aurora y Washita), se encuentra la Formación Eagle Ford, la cual por su litología se considera que funciona como impermeable. Sin embargo, es probable que exista comunicación o paso de agua subterránea de la Formación Aurora y equivalentes hacia los materiales granulares, a través

de fracturas o fallas. Esta recarga es más factible hacia los bordes del valle, donde la Formación Eagle Ford tiene menor espesor por erosión.

La recarga se lleva a cabo principalmente sobre los flancos de las sierras, en donde parte del agua de lluvia se infiltra y circula por el subsuelo.

La salida de agua subterránea se lleva a cabo a través de los pozos existentes.

La precipitación pluvial en general es escasa en esta zona árida del país y por lo mismo la recarga al acuífero es reducida. En años anteriores, antes de que existiera explotación de agua subterránea, el nivel estático llegaba a aflorar en las zonas topográficamente bajas, dando lugar a lagunas en donde el agua se perdía por evaporación.

El acuífero en explotación del Valle del Hundido, se encuentra principalmente sobre materiales granulares, los cuales reciben un aporte reducido de agua procedente de las calizas. En el área de Santa Sofía, los pozos se encuentran explotando agua de las calizas, cuyo nivel piezométrico es igual que el de los rellenos, de donde se deduce que existe comunicación entre ambos.

#### **VALLE DE CUATROCIÉNEGAS.-**

En la porción central del Valle de Cuatrociénegas, se encuentra la Sierra de San Marcos la cual prácticamente divide al valle en dos partes, una al oriente y otra al poniente. Las dos porciones de valle se encuentran comunicadas entre el poblado de Cuatrociénegas y el buzamiento de la Sierra de San Marcos.

En la figura 14 se ilustra la distribución de rocas en el subsuelo, así como el funcionamiento de los acuíferos.

Cubriendo la mayor parte del valle se encuentran materiales granulares del Cuaternario constituidos por arenas, limos y gravas, los cuales dan origen a un acuífero explotado por algunas norias.

Bajo los aluviones, se encuentran rocas calizas principalmente del Grupo Washita, las cuales afloran hacia los extremos del valle en las sierras circundantes. Las rocas calizas del Grupo Washita junto con las pertenecientes a la Formación Aurora, presentan

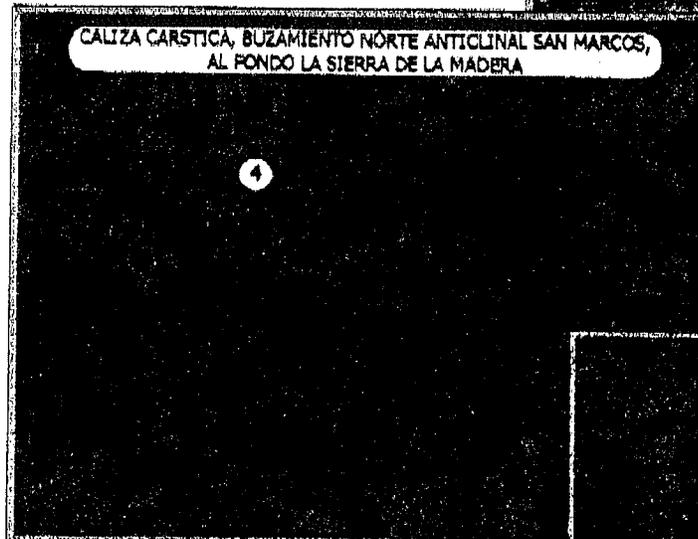
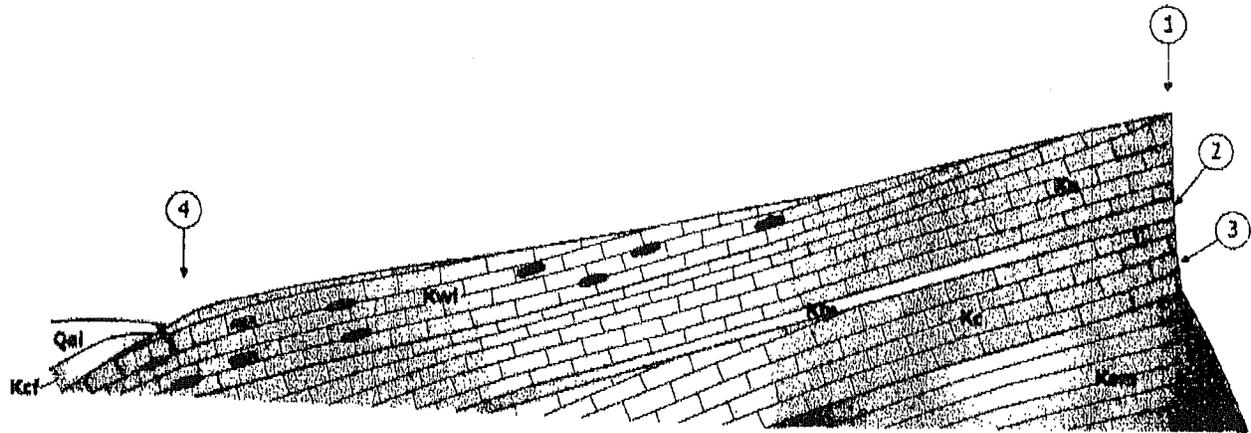
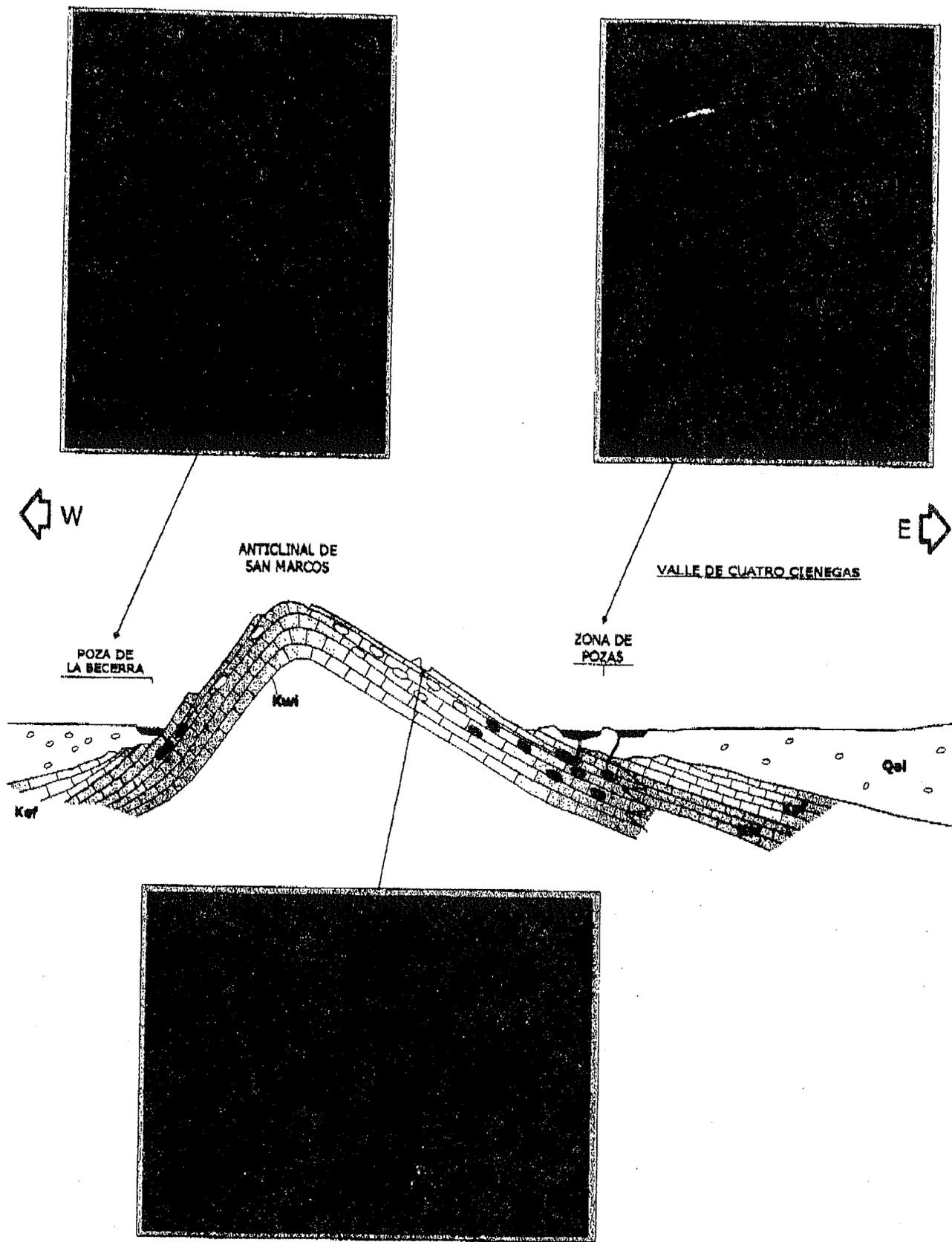


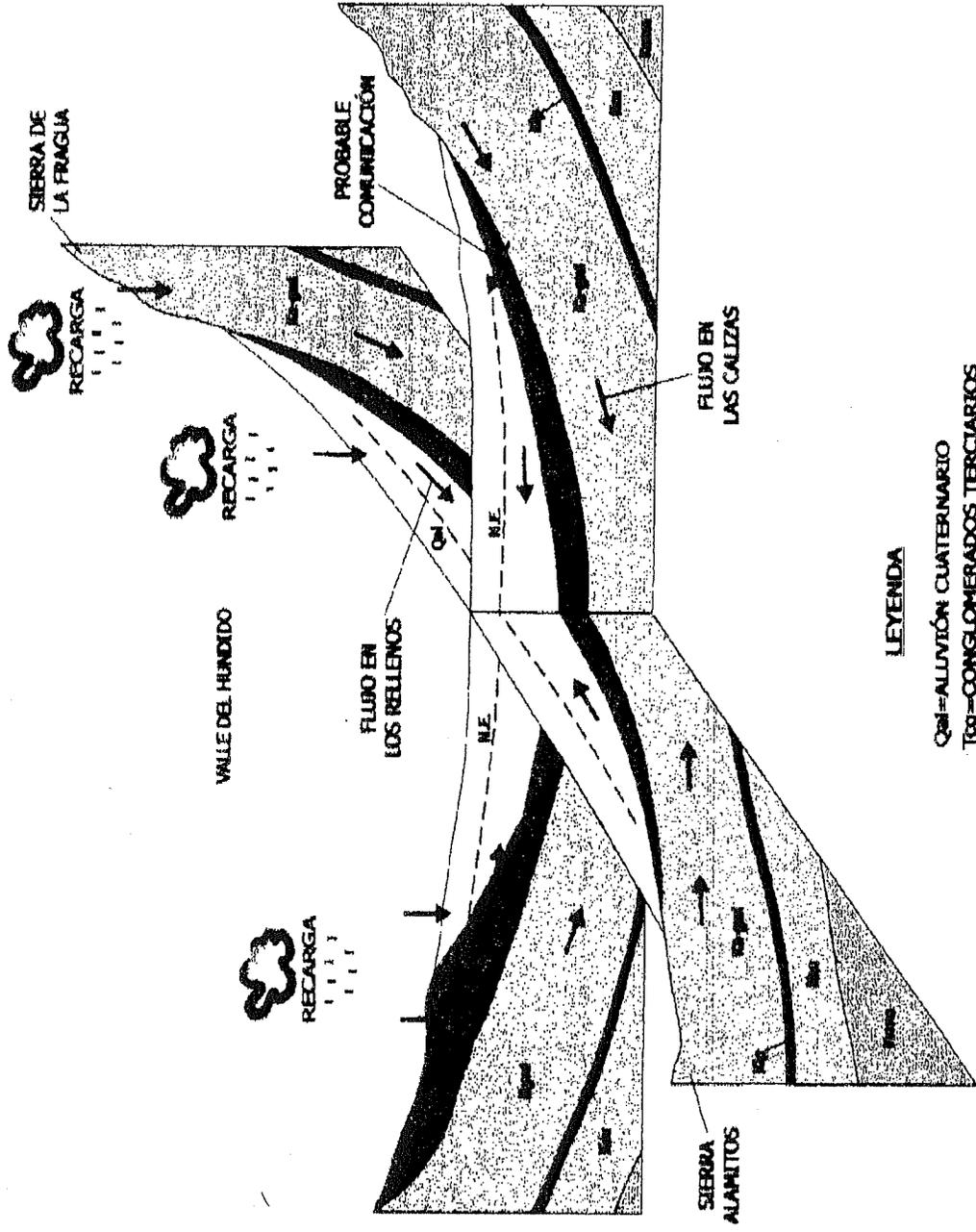
Figura 15



HIPOTESIS DE LA RECARGA DE AGUA A LAS POZAS.  
 SECCION W-E DE LA SIERRA DE SAN MARCOS A LA ALTURA DE LA POZA DE LA BECERRA

Figura 16





CROQUIS SIN ESCALA

**FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO  
VALLE DEL HUIDO**

**LEYENDA**

- Qal==ALLUVIÓN CUATERNARIO
- Tcg==CONGLOMERADOS TERCIARIOS
- Kaf==FORMACIÓN EAGLE FORD
- Ka==FORMACIÓN AURORA
- Kgw==GRUPO WASHITA INDIFFERENCIADO
- Kov==FORMACIÓN CUPIDO
- Ksma==FORMACIÓN SAN MARCOS
- Kip==FORMACIÓN LA PEÑA

Figura 13



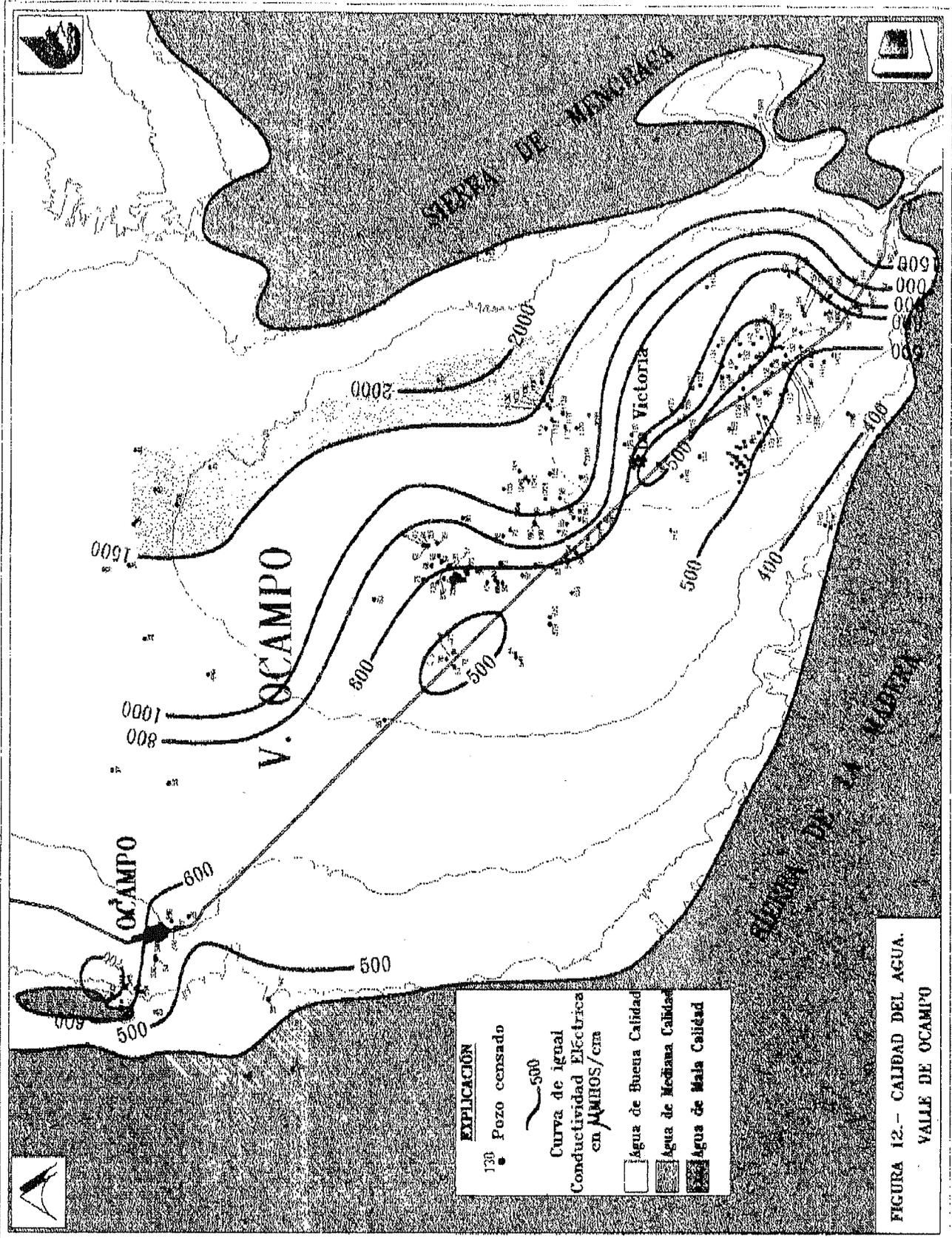


FIGURA 12.- CALIDAD DEL AGUA. VALLE DE OCAPILOCO

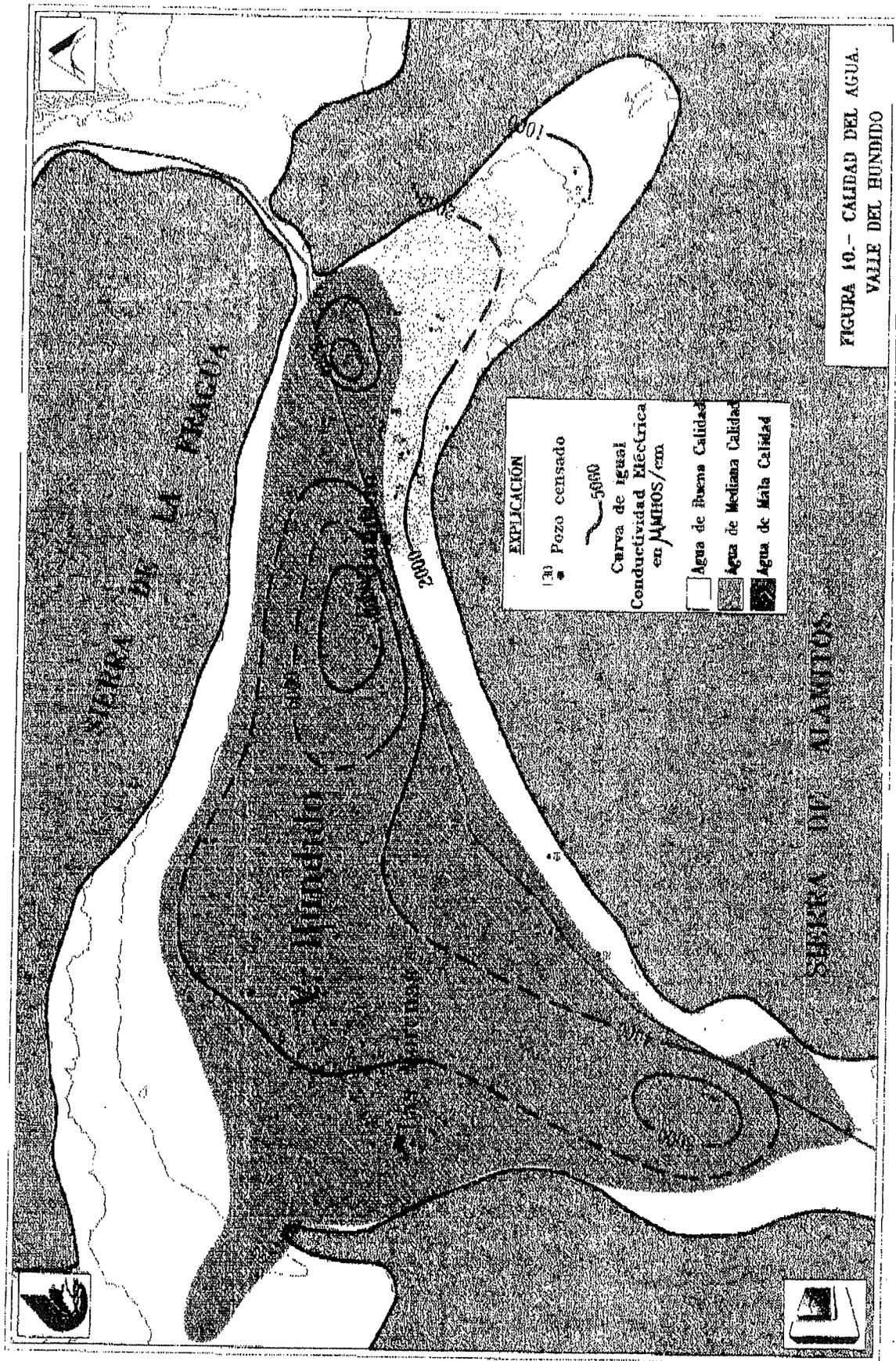


FIGURA 10.- CALIDAD DEL AGUA.  
VALLE DEL HUNDIDO



permeabilidad, siendo esta mayor en la porción superficial de la Formación Aurora y en el Grupo Washita. La gran permeabilidad de estas rocas, permite la formación de un acuífero.

Las calizas de la Sierra de San Marcos, fueron depositadas en un ambiente arrecifal, sobre la margen interna del paleogolfo de Sabinas. Estas calizas presentan características litológicas diferentes a sus equivalentes laterales en las sierras circunvecinas. Las calizas presentan características peculiares, en especial un denso fracturamiento (figura 15) que ha permitido la infiltración y circulación de agua subterránea, lo cual a su vez ha incrementado la permeabilidad de las rocas al disolverlas y formar cavernas y conductos de disolución.

La recarga se lleva a cabo por infiltración de lluvia sobre las sierras.

La alta permeabilidad de las calizas en la sierra de la Sierra San Marcos, ha provocado la formación de una zona cárstica (figura 16) con cientos de dolinas o sumideros, los cuales se ubican sobre una franja de aproximadamente 3 kilómetros de ancho ubicada sobre el flanco oriental de la sierra (figura 8). En esta zona, la Formación Eagle Ford prácticamente no existen o bien se encuentran en espesores muy reducidos. Ello, facilita el movimiento y salida del agua subterránea a la superficie a través de las denominadas "pozas" de "Cuatrociénegas".

La profundidad al nivel estático en el valle es menor de 5 metros, tanto en las pozas como en las norias, lo que permite deducir que el nivel del agua subterránea en los materiales granulares del valle, esta en conexión o corresponde a un mismo sistema que el agua que aflora en las pozas a través del sistema cárstico.

Hacia el flanco poniente de la Sierra de San Marcos, se presenta una falla geológica que funciona como barrera impermeable al flujo de agua subterránea, impidiendo el afloramiento de agua sobre la porción occidental de la sierra. Una excepción es el manantial y poza La Becerra, sitio donde existe fracturamiento a través de la zona impermeable de la falla. Ello, permite la salida de agua de las calizas altamente permeables de la Sierra de San Marcos, a través de un estrecho paso, dando origen a la poza de La Becerra, donde el acuífero calizo vierte sus excedentes.

## VALLE DE OCAMPO.-

Por lo que respecta al Valle de Ocampo este se encuentra constituido por materiales granulares en la superficie, con espesor de 80 a 100 metros, en donde se aloja un acuífero.

Bajo estos materiales se presentan rocas calcáreas las cuales tienen permeabilidad que es manifestada a través de manantiales ubicados en el Cañón al norte de Cuatrociénegas, así como en los afloramientos calizos al oeste del poblado de Ocampo y en algunos pozos perforados directamente sobre la roca caliza en los alrededores del poblado de Ocampo.

En la figura 17 se ilustra el funcionamiento geohidrológico de este valle. La recarga se produce por infiltración de agua de lluvia en toda la zona pero principalmente en los flancos de las sierras. El agua subterránea circula tanto por los aluviones como por las calizas. En ciertas zonas, el agua de las calizas puede estar alimentando con un flujo ascendente a los aluviones.

En la parte central del valle, se encuentra una zona con agua de buen calidad, asociada a fracturas que dieron lugar al emplazamiento de basaltos. Estos, pueden constituir zonas que faciliten el paso de agua de las calizas hacia los aluviones.

Las rocas de la Formación Aurora y equivalentes presentan permeabilidad, sin embargo, la experiencia geohidrológica en la región ha mostrado que la permeabilidad de estas calizas no es homogénea y esta controlada por la porosidad primaria y el fracturamiento. La porosidad primaria la ocasiona el medio ambiente de depósito como en el caso de las calizas de zonas arrecifales. Otro factor que influye es el grado de solubilidad de las calizas. Finalmente, la permeabilidad está influenciada por el fracturamiento secundario debido, entre otras cosas, a los plegamientos. Hacia los buzamientos de los anticlinales se presenta una mayor densidad de fracturamiento provocada por el esfuerzo del pliegue. Sumados los factores mencionados; facies arrecifal de las calizas con porosidad primaria, calizas con mayor grado de disolución y fracturamiento en zonas de esfuerzo de los pliegues, provoca una permeabilidad que posteriormente es incrementada por el paso del agua.

Lo anterior, ocasiona que las rocas calizas de la Formación Aurora y equivalentes lleguen a presentar zonas de alta permeabilidad en algunas porciones, mientras que en otras se pueden presentar pozos de baja productividad o incluso secos.

En este Valle la productividad de las rocas calizas no se manifiesta o no ha sido comprobada de manera clara.

### **ELEVACIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO Y DIRECCIÓN DEL FLUJO SUBTERRÁNEO**

Se trazó una configuración de la planicie del nivel estático respecto al nivel del mar para cada uno de los tres valles estudiados. En la figura 18 se presenta la configuración correspondiente al Valle del Hundido, observándose cotas que van de 800 a 780 msnm. Su distribución es concéntrica con los valores más altos sobre las estribaciones de las sierras y los valores más bajos hacia el centro del valle, de donde se deduce un flujo de agua subterránea que va de las Sierras de Alamitos, La Fragua y el oeste de Las Morenas, hacia el centro del valle.

En la figura 19 se incluye la configuración de la elevación del nivel estático para el Valle de Cuatrociénegas. En dicho plano se marcan los pozos tomados en cuenta para el trazo de la configuración. Las curvas trazadas van de la 780 msnm en la porción oeste del valle, hasta la curva 700 en la porción oriental del mismo. La Sierra de San Marcos prácticamente divide al Valle de Cuatrociénegas en dos partes y funciona como un parteaguas subterráneo, a partir de donde se establece un flujo hacia el poniente y otro hacia el oriente. Ambos flujos continúan posteriormente en dirección al norte y noreste. Se marcó la dirección del flujo subterráneo el cual se establece de la Sierra de la Madera y la Sierra de la Fragua, hacia el centro del valle occidental, para posteriormente continuar su flujo en dirección al este hasta su salida de la cuenca rumbo a Lamadrid.

Por lo que respecta al Valle de Ocampo, la configuración de la elevación del nivel estático se presenta en la figura 20, observándose curvas que van de 1180 msnm al oeste de Ocampo hasta la 700 msnm en el extremo sur del valle. El esquema de flujo presenta curvas con un gradiente relativamente uniforme y de forma concéntrica. La dirección del flujo subterráneo se establece, de las elevaciones topográficas, hacia el centro del valle y posteriormente hacia el sur, donde presenta comunicación, a través de un estrecho cañón, hacia el Valle de Cuatrociénegas.

## **EVOLUCIÓN DEL NIVEL ESTÁTICO**

Se calculó la evolución sufrida por el acuífero. Para el Valle del Hundido la evolución calculada fue de 1998 al 2000; para los Valles de Cuatrociénegas y Ocampo el período trabajado fue 1998-2000

En el Valle del Hundido la evolución media anual varía entre 20 y 40 centímetros en las dos zonas de explotación de agua subterránea que se ubican en Las Morenas y Santa Teresa de Sofía. En el Valle de Cuatrociénegas la evolución media anual varía entre 30 y 60 centímetro en el poblado de Cuatrociénegas y en una zona de pozos localizada en el extremo nororiental. En el resto del área prácticamente no existió evolución. En contraste, el área de Ocampo es la que presentan mayor explotación, lo cual se refleja en la evolución negativa o abatimiento del nivel estático, el cual presenta de 20 centímetro a 3.0 metros en la porción central del mismo.

## **PRUEBAS DE BOMBEO**

Los resultados de pruebas de bombeo tanto realizadas como recopiladas y reinterpretadas, indican que se trata de un acuífero semiconfinado en 8 pozos y confinado en 5 pozos. Solamente la prueba de un pozo corresponde a acuífero libre.

Para el acuífero semiconfinado la transmisibilidad obtenida varía de 0.00021 y .0033  $m^2/sec$ , mientras que para el acuífero confinado, la transmisibilidad calculada varió de 0.00023 a 0.0079.

En tres pozos fue posible calcular el coeficiente de almacenamiento el cual resultó de 0.022 para el acuífero libre y, 0.00026 y 0.0003 para el acuífero confinado

## **CORRIENTES SUPERFICIALES**

Las pozas de Cuatrociénegas son salidas de agua subterránea a través de zonas cársticas ubicadas al pie de la Sierra de San Marcos. Hasta el siglo XIX, el agua que salía de las pozas en forma de manantiales daba origen a lagunas en la parte central del valle, donde se perdía por evaporación. Excedentes extraordinarios llegaban a salir en forma superficial hacia la zona de Lamadrid. En los años de 1950-1960 y con el objeto de aprovechar el agua

de los manantiales de Cuatrociénegas, se construyeron canales para conducir el agua hacia el Valle de Lamadrid.

En la figura 21 se muestran los principales canales y pozas del área de Cuatrociénegas y en la tabla 1 los datos de aforo.

En la porción occidental de la Sierra de San Marcos, a partir del manantial conocido como Poza de la Becerra, parte un canal principal denominado La Becerra y varios canales secundarios. Estos, por una parte se utilizan para riego, sin embargo, la mayor parte del agua, continúa por el canal en dirección al oriente. En este trayecto, parte del agua es utilizada por ejidatarios. Antes de la utilización del agua del canal en riego, se le aforó un caudal de 600 lps en el mes de noviembre del 2001. Este dato coincide con los aforos reportados en diferentes estudios.

Al norte de la Sierra de San Marcos nace el Río Mezquites, el cual es alimentado por una serie de manantiales que afloran sobre el buzamiento norte de la sierra. En su trayectoria hacia el oriente, se divide en dos canales, uno ubicado en la parte norte denominado Canal de Julio en donde se aforaron 250 lps y un segundo ramal que desemboca hacia el Canal de Saca Salada con 1,736 lps.

Otro grupo de manantiales que afloran en varias pozas al noreste de la Sierra de San Marcos, son canalizados tanto a través del arroyo La Zumbadora al cual se le aforó un caudal de 100 lps, como de otro canal que confluye con el de Saca Salada, donde como se mencionó en el párrafo anterior se aforaron 1,736 lps.

En la zona oriental de la Sierra de San Marcos existen varias pozas más, entre las que se encuentran las denominadas Pozas Azules. Estas, están conectadas y los excedentes del agua salen a través de canales para ser utilizados por campesinos de Antiguos Mineros. En el canal Pozas Azules se aforó un gasto de 80 lps. Sobre el Canal Principal Santa Tecla que sale de las Pozas Teclitas rumbo al noreste, se aforaron 250 lps. Sin embargo, adelante de este sitio de aforo existen un gran número de canales a través de los cuales se incrementa el volumen de agua hacia la salida del valle. En el Canal Principal Santa Tecla, se aforaron 328 lps.

TABLA 1.- CAUDALES DE AGUA EN LITROS POR SEGUNDO  
VALLE DE CUATROCIÉNEGAS, COAH.

Canal	Aforo LEASA Nov-01	SEMANART 1991 Pag. 17	SEMANART 1991 Pag. 18	P.F.M. (1) Pag. 18	P.F.M. (2) Pag. 18
	Min - Max	Min - Max	Min - Max		
De La Becerra	600	580 - 645	-	580 - 645	730 - 800
Pozas Azules (Antiguos Mineros)	60	30 - 80	-	17 - 80	30 - 100
Venado	62	66 - 98	-	65 - 100	70 - 120
Julio	250	40 - 60	-	37 - 60	110 - 300
Saca Salada	1736	800 - 1300	-	810 - 1380	1000 - 3000
Santa Tecla	328	220 - 320	-	220 - 320	275 - 430
Suma	3155	1736 - 2503	1730 - 2620	1729 - 2585	2515 - 4750

LEASA = Lesser y Asociados, S.A. de C.V.

PFM = Protección de la Fauna Mexicana, anexo 4, Junio 2000.

- (1) = Caudal de agua a la salida del valle o antes de su distribución  
Anexo 4 (Protección de la Fauna Mexicana, A.C.)  
Falta adicionar pérdidas en canales.
- (2) = Volumen estimado de extracción de agua  
Anexo 4 (P. F. M.)

Al sur de las Pozas Azules se encuentra un canal conocido con el nombre de Canal Principal El Venado, en el cual se aforó un caudal de 61 lps. El agua de este canal es utilizada por campesinos del poblado del mismo nombre.

Como se puede observar, existen canales principales y secundarios, a través de los cuales se utiliza el agua para riego dentro del Valle. Para calcular el caudal total del agua de las pozas que circula hacia el oriente a través de ríos y canales, se realizaron aforos en una sección que va de aproximadamente el poblado de Cuatrociénegas hacia el sur-sureste, atravesando el Canal Principal de la Becerra, el Canal de Julio, el Canal de Saca Salada, el Arroyo Zumbadora y el Canal Principal Santa Tecla. La suma de estos aforos fue de 3,155 lps.

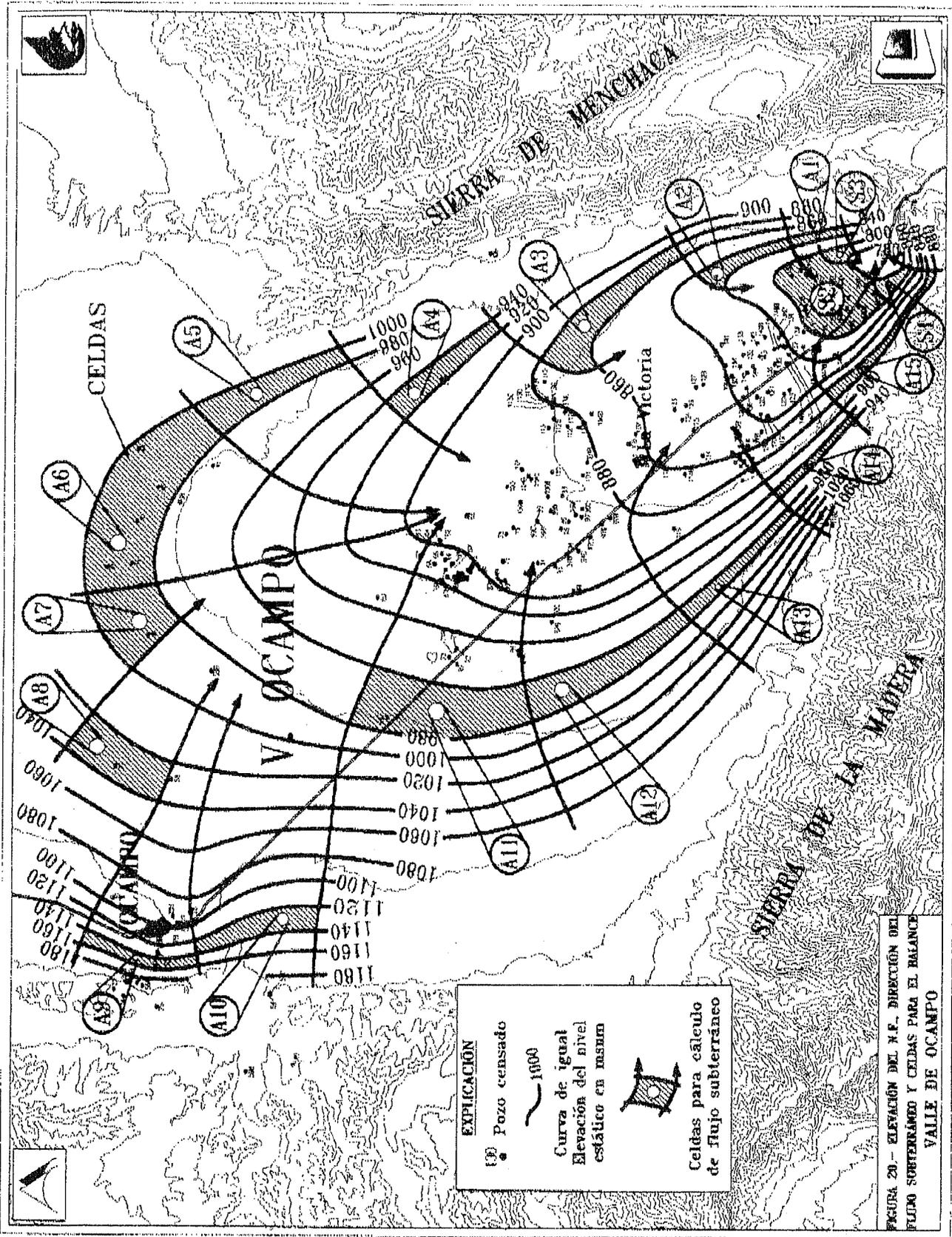
Por lo que se refiere al Valle de Ocampo, existen arroyos de tipo torrencial sobre las márgenes de las sierras, los cuales solamente en épocas de lluvias abundantes presentan cierta escorrentía. El agua superficial tiende a circular hacia el centro del valle y posteriormente hacia el sur del mismo. Una parte se infiltra al subsuelo y otra, principalmente en época de lluvias abundantes, llega a salir a través del cañón que comunica el Valle de Ocampo con el poblado de Cuatrociénegas. Actualmente y debido a la extracción de agua subterránea que se hace en el valle de Ocampo, prácticamente no existe aporte de agua superficial hacia Cuatrociénegas.

Por lo que respecta al Valle del Hundido, éste corresponde a una cuenca endorréica donde los escurrimientos superficiales circulan sobre los flancos de las sierras hacia el valle. En tiempos de lluvias relativamente abundantes para esta región árida, el agua pluvial escurre y llega a acumularse en la parte central del valle, dando lugar a lagunas efímeras, las cuales posteriormente se pierden por evaporación, ocasionando la presencia de sales evaporíticas, principalmente yesos y anhidritas.

## **BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA**

Con el objeto de tener una idea de la cantidad de agua subterránea existente en los tres valles estudiados, se llevó cabo un balance de agua subterránea, el cual tiene una precisión razonable. Para el balance se asumió un solo acuífero y se aplicaron las técnicas para flujo en medios porosos, aún y cuando parte del agua subterránea en la zona se encuentra en un medio cárstico, la mayor parte del acuífero corresponde a un medio granular. Con los datos obtenidos se dedujo que existe continuidad entre el acuífero cárstico y el acuífero granular del valle.





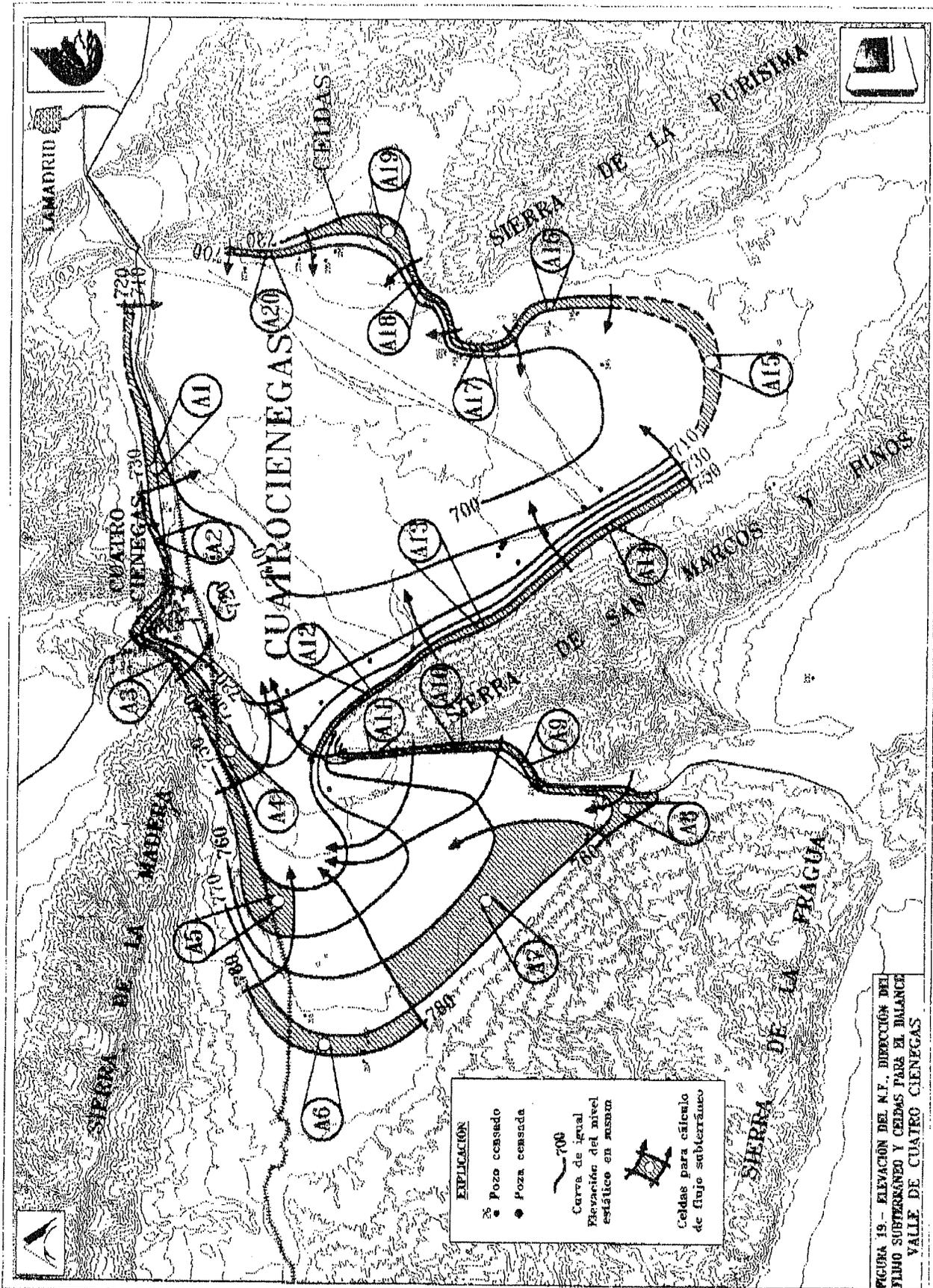


FIGURA 19.- ELEVACION DEL N.F., DIBUJACION DEL FLUJO SUBTERRANEO Y CELDAS PARA EL BALANCE VALLE DE CUATRO CIENEGAS

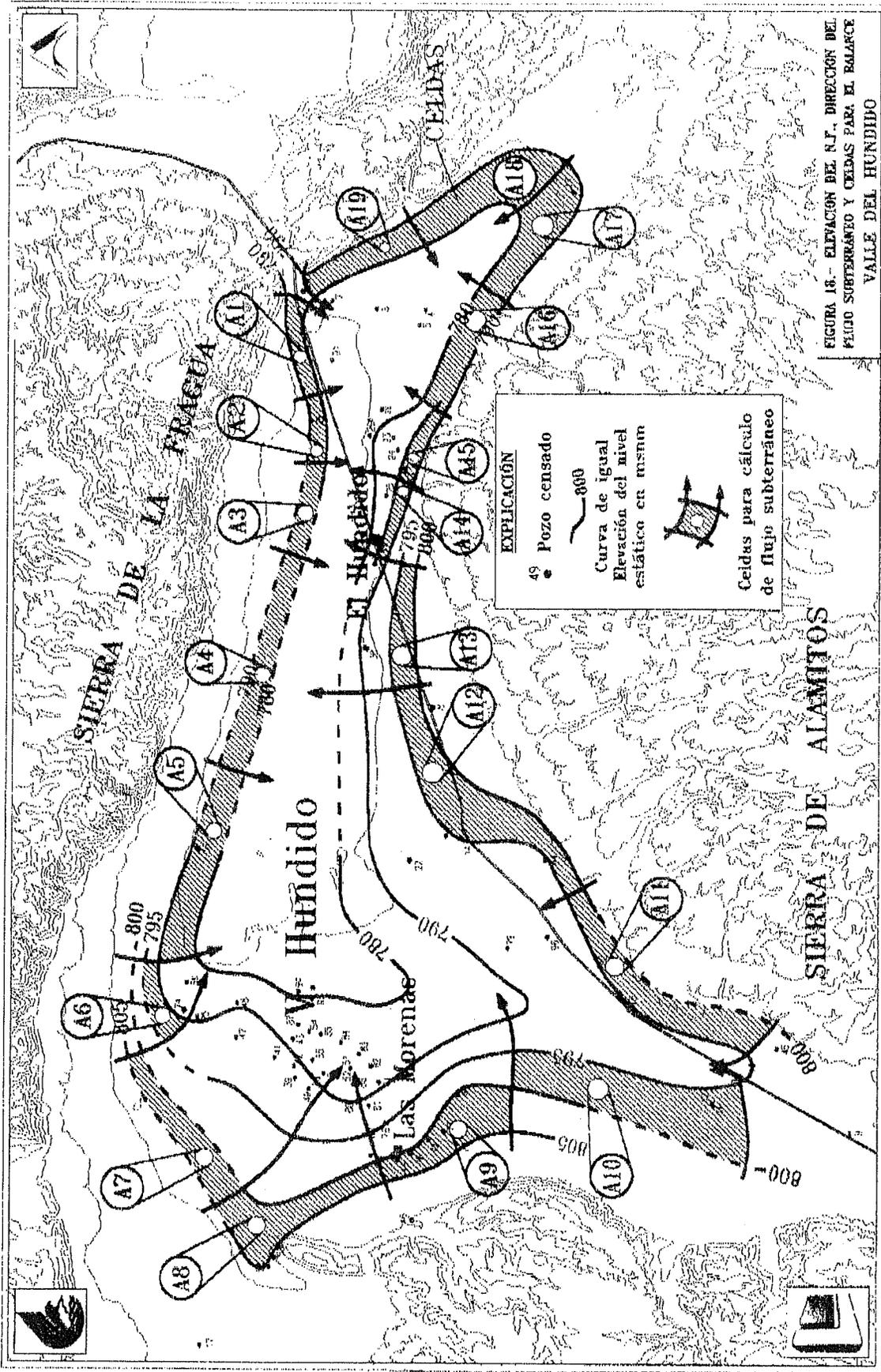
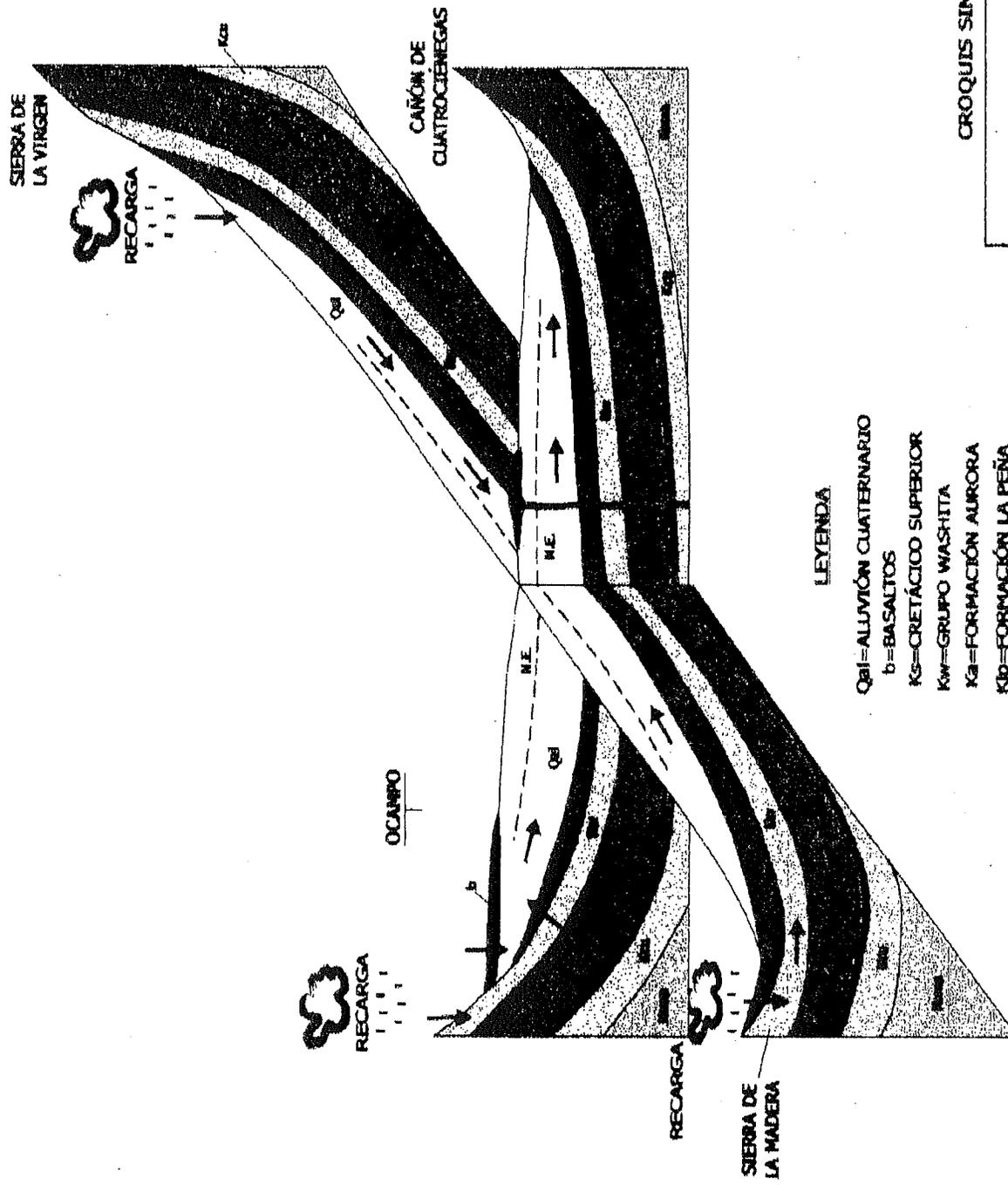


FIGURA 18.- ELEVACION DEL N.I., DIRECCION DEL FLUJO SUBTERRANEO Y CELDAS PARA EL BALANCE VALLE DEL HUNDIDO



LEYENDA

- Kq1=ALUVIÓN CUATERNARIO
- b=BASALTOS
- Ks=CRETÁCICO SUPERIOR
- Kw=GRUPO WASHITA
- Ka=FORMACIÓN AURORA
- Kip=FORMACIÓN LA PEÑA
- Kcv=FORMACIÓN CUPTIDO
- Kstma=FORMACIÓN SAN MARCOS

CROQUIS SIN ESCALA

FUNCIONAMIENTO DEL ACUÍFERO  
VALLE DE OCAIMPO

Figura 17

El trazo de la configuración de la elevación del nivel estático permitió simular la presencia de un solo sistema acuífero por valle, que en su mayoría corresponde al granular con recargas o aportes provenientes de las calizas.

Para la cuantificación de agua subterránea se estableció la ecuación general de balance donde las entradas de agua al sistema son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento.

Entradas = Salidas + Cambio de almacenamiento ..... ecuación (1)

- Las entradas son: - Entrada por flujo subterráneo (Es)  
Infiltración vertical (Inf)
- Las salidas son: - Extracción por bombeo (Ext.)
- Cambio de Almacenamiento: - Es el abatimiento del nivel estático (As)

Por lo tanto la ecuación (1) queda como sigue:

$$Es + Inf = Ext + As$$

**ENTRADAS POR FLUJO SUBTERRÁNEO.-** La entradas de agua al sistema corresponden al aporte por flujo subterráneo o entrada subterránea (Es) proveniente de las infiltraciones que se generan en las estribaciones de las sierras. Hacia la parte plana de los valles existe infiltración vertical de agua de lluvia (Inf). El flujo subterráneo se calculó utilizando la Ley de Darcy, en donde se establece que el caudal "Q" que pasa a través de una sección de terreno es igual a la transmisibilidad "T" del material por la longitud "b" del área considerada, multiplicada a su vez por el gradiente hidráulico "i" ( $Q = Tbi$ ). Al pie de las sierras que limitan a los valles, se trazaron celdas para el cálculo de la entrada de agua subterránea. Cada celda corresponde al área delimitada entre dos curvas equipotenciales y dos líneas de corriente. De esta manera, se marcaron celdas para cada valle. Su localización se muestra en las figuras 18, 19 y 20.

**Transmisibilidad.-** La transmisibilidad "T" es la capacidad de un medio para permitir el flujo de agua bajo un gradiente unitario. Este dato se obtuvo de pruebas de bombeo y se caracteriza por presentar valores del orden de 0.001 a 0.0001 m<sup>2</sup>/seg para el Valle del Hundido; 0.001 a 0.0002 m<sup>2</sup>/seg para el Valle de Cuatrociénegas y 0.003 a 0.0008 m<sup>2</sup>/seg para el Valle de Ocampo, como se observa en las tablas 2, 3 y 4.

**Ancho de las celdas.-** El ancho "b" de cada una de las celdas utilizadas para el cálculo del flujo subterráneo se obtuvo directamente del plano de elevación del nivel estático, donde se delimitan las celdas.

**Gradiente hidráulico.-** El gradiente hidráulico "i" es igual a la diferencia entre las equipotenciales que limitan a cada celda dividida entre la longitud de la misma.

**Caudal de entrada de agua subterránea.-** El cálculo del agua que fluye en una celda se calcula por medio de la Ley de Darcy, que indica que el caudal de agua que pasa a través de ella es igual a la transmisibilidad por el largo de la celda y multiplicado por el gradiente hidráulico. La suma del flujo que pasa a través de las celdas que corresponden a la entrada por flujo subterráneo hacia el Valle del Hundido, asciende a 17.628 Mm<sup>3</sup>/año; para el Valle de Cuatrociénegas el volumen de flujo calculado en las celdas fue de 120.811 Mm<sup>3</sup>/año, mientras que para el Valle de Ocampo fue de 38.811 Mm<sup>3</sup>/año.

**SALIDAS DE AGUA (EXTRACCIÓN POR BOMBEO).-** En el Valle del Hundido la única salida de agua subterránea es por bombeo y asciende a 21.9 Mm<sup>3</sup>/año. En el Valle de Cuatrociénegas, existe bombeo (15.095 Mm<sup>3</sup>/año) y salida de agua subterránea a través de las pozas y canales (3,155 lps). En Ocampo, la principal salida es por bombeo (55.401 Mm<sup>3</sup>/año) y en menor proporción de manera subterránea una reducida salida hacia el Valle de Cuatrociénegas, del orden de 2.538 Mm<sup>3</sup>/año.

**CAMBIO DE ALMACENAMIENTO.-** El diferencial entre la entrada de agua subterránea a los acuíferos (Es) y su salida (Ext), se refleja en el cambio del nivel estático. Se calculó el cambio de almacenamiento ( $\Delta s$ ) de la evolución anual, la cual se obtuvo multiplicando el área entre las curvas del plano de evolución, por el abatimiento registrado. La suma de ellas (áreas multiplicadas por evolución), dio un volumen anual de la variación del nivel estático.

Por otra parte, del volumen obtenido una parte corresponde a los sólidos que constituyen el medio y otra parte al agua que contenían los intersticios. El porcentaje que corresponde a intersticios y que equivale a la cantidad de agua, se denomina coeficiente de almacenamiento, el cual es deducido a partir de pruebas de bombeo, así como de los tipos de rocas y de las condiciones en que se encuentra el acuífero. Los acuíferos confinados debido a que se encuentran sujetos a presión presentan coeficientes de almacenamiento bajos, del orden de 0.003 para Ocampo, mientras que en acuíferos libres el coeficiente de

almacenamiento es del orden de 0.03 como fue el caso de Valle del Hundido; para Cuatrociénegas, no se obtuvieron datos de coeficiente de almacenamiento; por correlación y tipo de materiales, se asignó un valor promedio de 0.07.

La variación de almacenamiento se calculó multiplicando el volumen de la evolución del nivel estático, por el coeficiente de almacenamiento, el cual resultó para el Valle del Hundido  $-1.75 \text{ Mm}^3/\text{año}$ ; para el Valle de Cuatrociénegas el cambio de almacenamiento fue negativo de  $-2.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$  y, para Ocampo fue de  $-0.06 \text{ Mm}^3/\text{año}$ .

**INFILTRACIÓN.** Para calcular la infiltración vertical sobre el valle, se planteo la ecuación de balance.  $Es + Inf = Ext + As$ . Se sustituyeron los valores conocidos y se despejó la infiltración, la cual resultó de  $2.55 \text{ Mm}^3/\text{año}$  en el Hundido;  $22.17 \text{ Mm}^3/\text{año}$  en Cuatrociénegas y  $14.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$  en Ocampo.

## RESUMEN DEL BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA

### VALLE DEL HUNDIDO (FIGURA 22)

Aprovechamientos de agua subterránea = 81 (28 activos; 53 sin uso)

Entradas por flujo subterráneo =  $17.6 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Infiltración en el Valle =  $2.55 \text{ Mm}^3/\text{año}$  (deducida)

Extracción por bombeo =  $21.877 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Salidas subterráneas = 0

Cambio de almacenamiento =  $-1.75 \text{ Mm}^3/\text{año}$

### VALLE DE CUATROCIÉNEGAS (FIGURA 23)

Aprovechamientos de agua subterránea = 71 (44 activos; 27 sin uso)

Cantidad de pozas = Principales; 300 secundarias; más de mil menores.

Entradas por flujo subterráneo =  $120.8 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Infiltración en el valle =  $22.17 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Extracción por bombeo =  $15.0 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Drenado por pozas y manantiales =  $99.5 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Salidas subterráneas y pérdidas por evapotranspiración =  $30.67 \text{ Mm}^3/\text{año}$

Cambio de almacenamiento =  $2.2 \text{ Mm}^3/\text{año}$

## VALLE DE OCAMPO (FIGURA 24)

Aprovechamiento de agua subterránea = 192 ( 101 Activos; 91 sin uso)

Entradas por flujo subterráneo = 38,8 Mm<sup>3</sup>/año

Infiltración en el valle = 19.10 Mm<sup>3</sup>/año

Extracción por bombeo = 55.4 Mm<sup>3</sup>/año

Salidas subterráneas = 2.5 Mm<sup>3</sup>/año

Cambio de almacenamiento = 0.06 Mm<sup>3</sup>/año

## INTERCONEXIÓN ENTRE VALLES

Dos de los objetivos del presente trabajo fueron: Determinar la conexión hidráulica entre los Valles del Hundido, Cuatrociénegas y Ocampo y; definir el origen del agua de las pozas de Cuatrociénegas.

Para ello, se estudió inicialmente por separado y posteriormente en formar conjunta la posible interconexión hidráulica entre valles, desde el punto de vista (1) geológico, (2) piezométrico, (3) calidad del agua y, (4) isótopos ambientales.

Del análisis geológico se observa que los valles corresponden a sinclinales, mientras que las sierras a anticlinales.

La sección geológica de la figura 25, ilustra la distribución de los materiales que constituyen el subsuelo. Los aluviones de cada valle se encuentran aislados; no existe relación geohidrológica entre ellos.

Por lo que respecta al horizonte acuífero en calizas del Grupo Washita y porción superficial de la Aurora, su distribución en cada valle provoca direcciones de flujo hacia el centro de los sinclinales. Por otra parte en las sierras las formaciones del Cretácico Inferior son de menor permeabilidad o incluso impermeables, alcanzan gran altura en el eje de los anticlinales. Ello, provoca que las rocas calizas de las sierras funcionen como parteaguas.

A partir de lo anterior, se deduce que no existe conexión geohidrológica entre los valles.

Por lo que respecta a la piezometría, se trazaron curvas que muestran la dirección de flujo para cada uno de los valles, siendo en todos los casos de tipo radial con dirección de

circulación hacia el centro de los mismos. Una excepción es el Valle de Ocampo, donde se presenta un flujo radial hacia el centro del valle con una componente hacia el sur.

Desde el punto de vista piezométrico, se asume que no existe comunicación entre valles.

La calidad del agua observada presenta diferencias para cada uno de los valles estudiados, siendo de muy alta salinidad en el Valle del Hundido, de salinidad media en Cuatrociénegas y de baja salinidad en Ocampo.

En caso de que el agua del Hundido (caracterizada por presentar alta salinidad), circulará hacia Cuatrociénegas, el agua de este último valle debería de presentar, cuando menos, una salinidad igual a la del Hundido; lo cual no sucede.

Tomando en cuenta la salinidad del agua, se deduce que no existe flujo de agua del Valle del Hundido hacia el de Cuatrociénegas.

Conjuntando los puntos de vista geológico, piezométrico y de calidad del agua, se concluye que no existe relación entre los acuíferos de los Valles del Hundido, Cuatrociénegas y Ocampo. Actualmente estos funcionan de manera independiente por lo que la recarga o extracción que sufra uno de ellos no repercutirá en los restantes.

Por lo que respecta al origen del agua que aflora en las pozas de Cuatrociénegas, ésta corresponde a infiltración de lluvia sobre la Sierra de San Marcos, a partir de donde circula a través de un sistema cárstico para aflorar sobre una franja de 3 kilómetros de ancho ubicada al pie del flanco oriental de la Sierra de San Marcos.

El tipo de rocas que constituye la Sierra de San Marcos, provoca tanto la alta infiltración, como el afloramiento de agua a través del sistema cárstico denominado pozas.

Se cuantificó el agua de lluvia que se puede infiltrar en la Sierra de San Marcos, el cual es del orden de  $3 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Por otro lado, se aforó el agua de las pozas y canales, obteniéndose que, en la parte norte de la Sierra de San Marcos, se vierten a través de las pozas y canales alrededor de  $3 \text{ m}^3/\text{seg}$  de agua, o sea un caudal similar al que se recarga en la sierra.

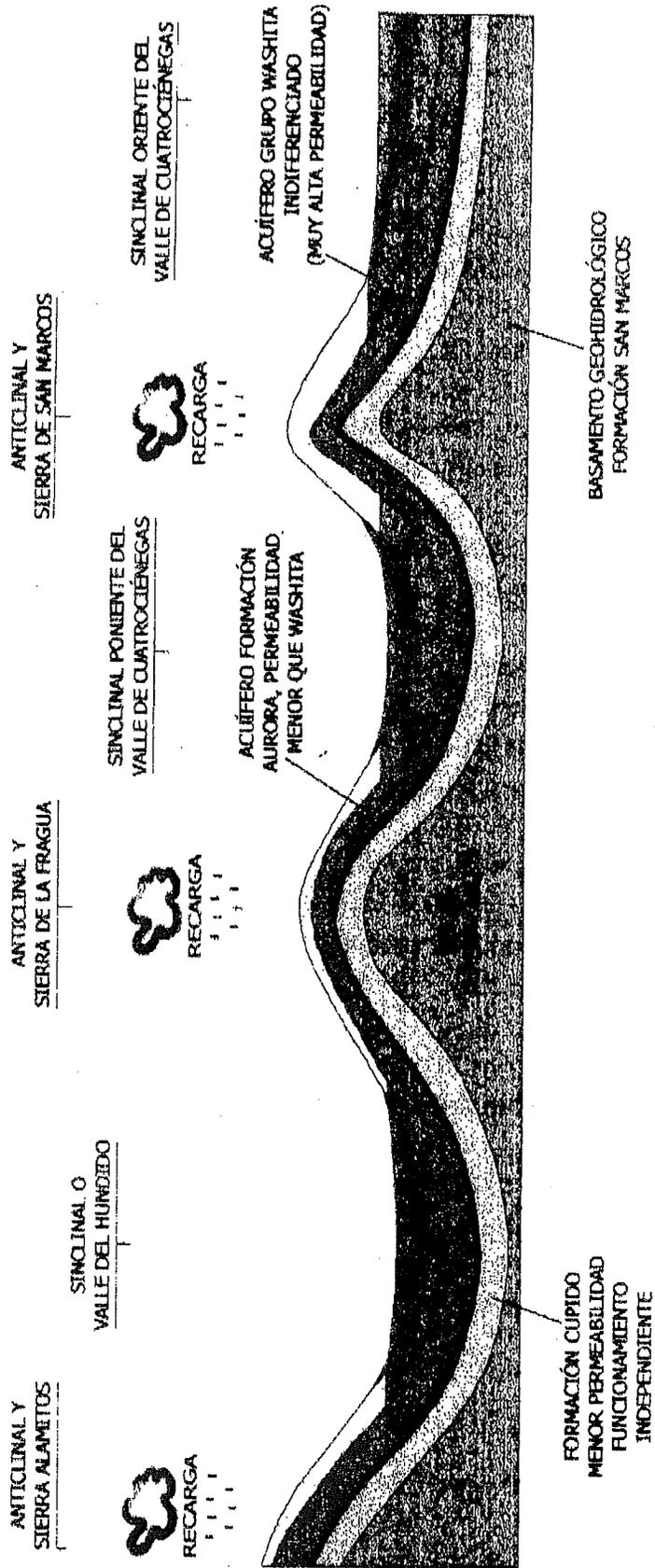
---

Sinopsis del Estudio Hidrogeológico en los Valles del Hundido, Cuatrociénegas y Ocampo, Coah, 2001

---

Se concluye que el agua de las pozas de Cuatrociénegas corresponde a un sistema cárstico local, el cual se restringe a la mitad norte de la Sierra de San Marcos y a una franja de 3 kilómetros de ancho sobre el flanco oriente de la sierra.

Las características geológicas y geohidrológicas del sitio son peculiares y diferentes a las de los alrededores. Estas mismas características distintivas han provocado el desarrollo de un flora y fauna diferente.



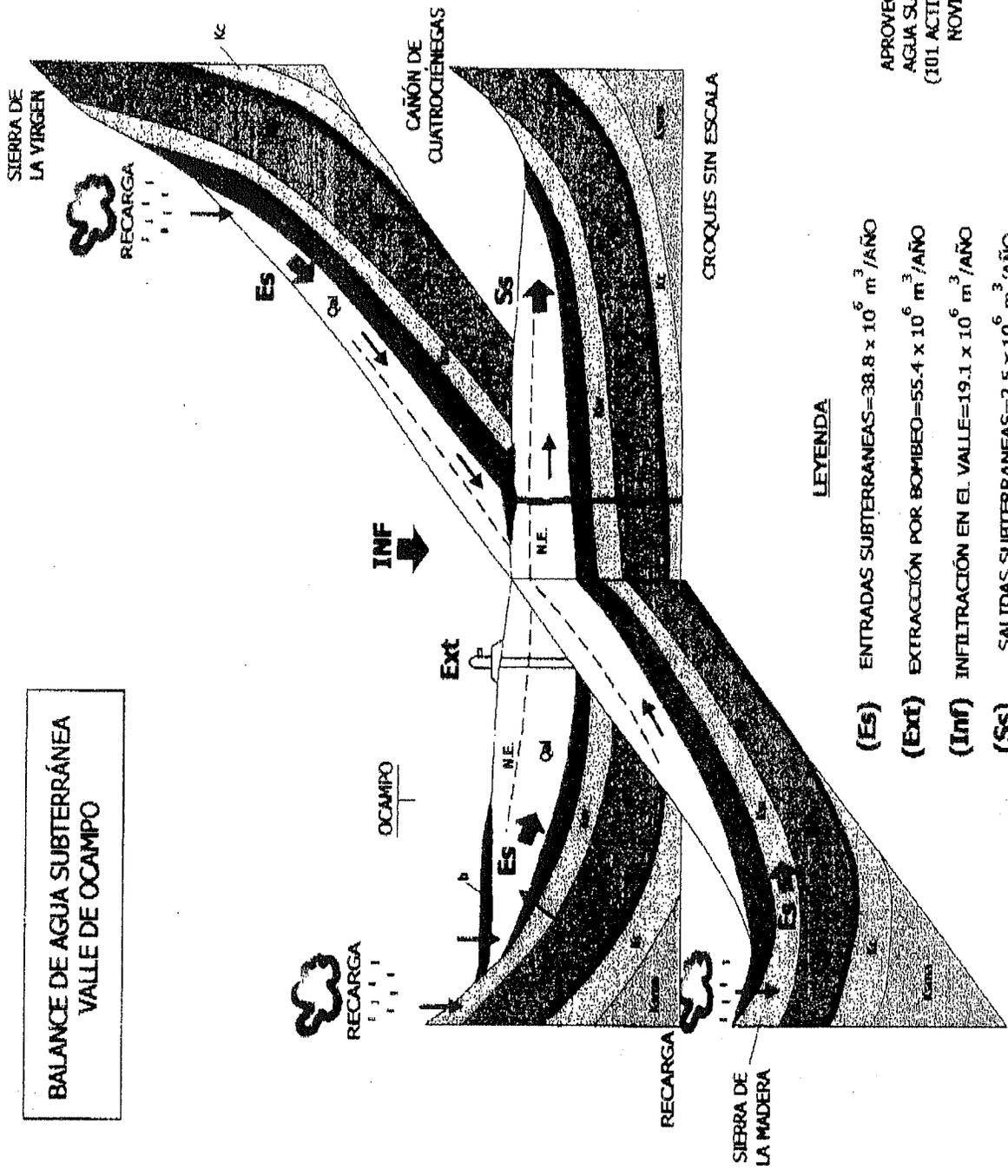
CROQUIS SIN ESCALA

RELACIÓN GEOLÓGICA  
GEOHIDROLÓGICA  
ENTRE VALLES

Figura 25



**BALANCE DE AGUA SUBTERRÁNEA  
VALLE DE OCAMPO**



**LEYENDA**

- (Es)** ENTRADAS SUBTERRANEAS= $38.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
  - (Ext)** EXTRACCIÓN POR BOMBEO= $55.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
  - (Inf)** INFILTRACIÓN EN EL VALLE= $19.1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
  - (Ss)** SALIDAS SUBTERRANEAS= $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
- CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= $-0.06 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$

APROVECHAMIENTOS DE  
AGUA SUBTERRÁNEA 192  
(101 ACTIVOS; 91 SIN USO)  
NOVIEMBRE-2001

Figura 24



**BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA  
VALLE DE CUATROCIENEGAS**

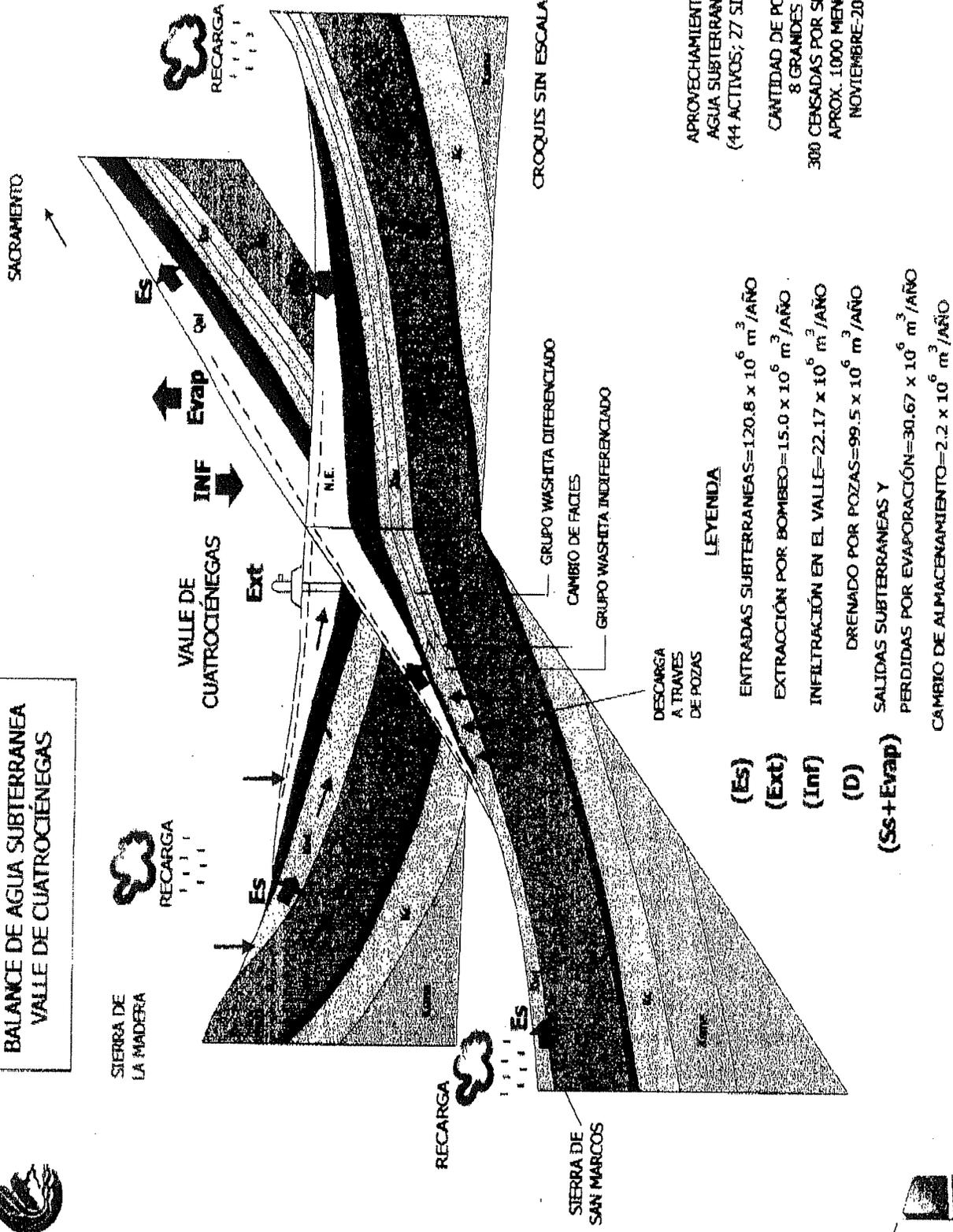
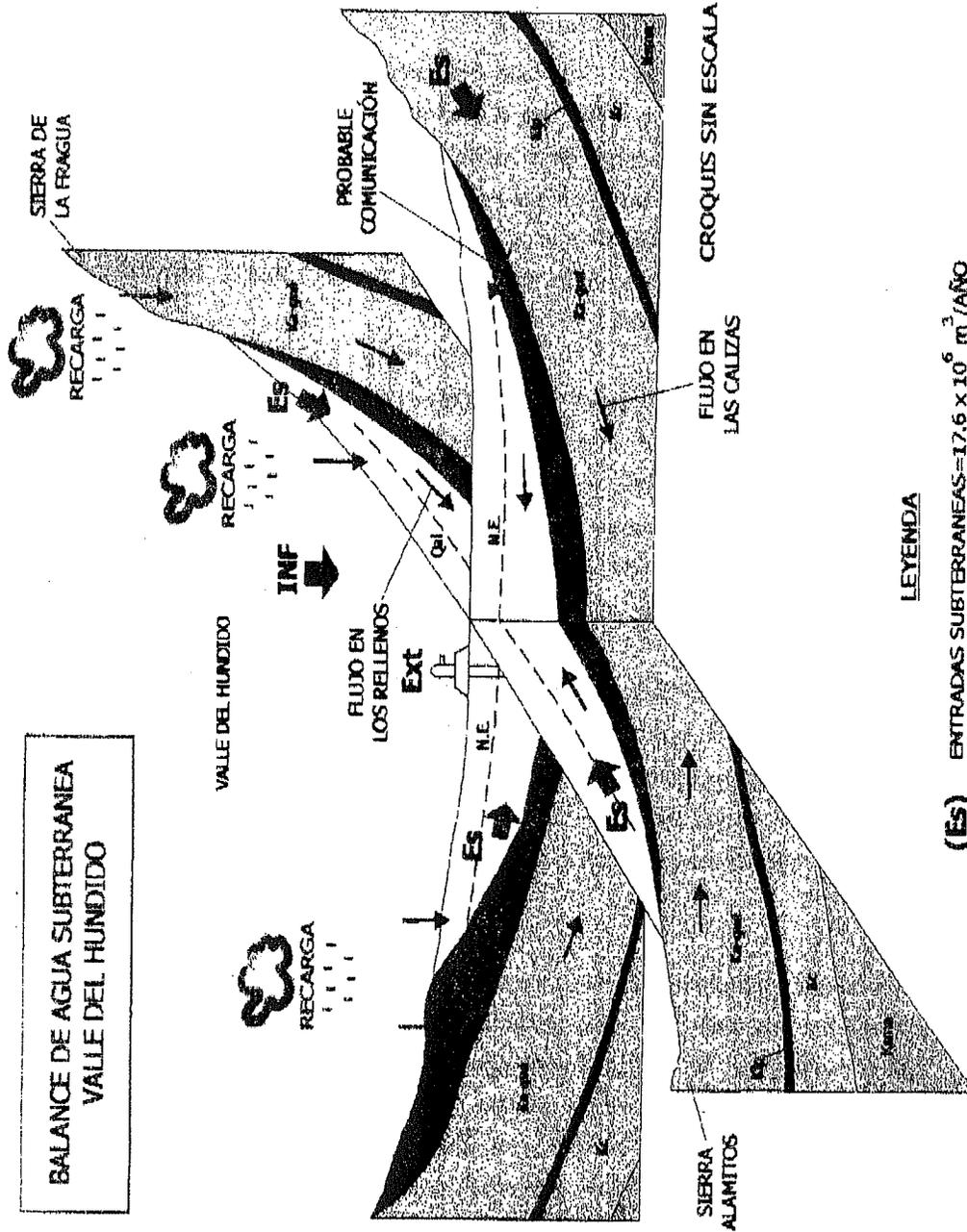


Figura 23



**BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA  
VALLE DEL HUNDIDO**



**LEYENDA**

- (Es)** ENTRADAS SUBTERRANEAS= $17.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
- (Ext)** EXTRACCIÓN POR BOMBEO= $21.88 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
- (Emf)** INFILTRACIÓN EN EL VALLE= $2.55 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$
- (S6)** SALIDAS SUBTERRANEAS=0
- CAMBIO DE ALMACENAMIENTO= $-1.75 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{AÑO}$

APROVECHAMIENTOS DE AGUA  
SUBTERRANEA 81  
(28 ACTIVOS; 53 SIN USO)  
NOVIEMBRE-2001



Figura 22

TABLA 2.- CÁLCULO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO  
VALLE DEL HUNDIDO

CÉLDA	LARGO km (L)	ANCHO km (b)	GRADIENTE HIDRÁULICO (I) X E-03	TRANSMISIBILIDAD M <sup>2</sup> /seg. (T)	CAUDAL M <sup>3</sup> /seg Q = Tbi	VOLUMEN E=04 m <sup>3</sup> /año
A-1	0.800	4.000	18.87	0.0001	0.007	0.210
A-2	0.880	2.800	18.38	0.0001	0.004	0.138
A-3	0.800	3.900	12.30	0.0001	0.006	0.184
A-4	1.000	9.100	10.00	0.0001	0.009	0.287
A-5	1.280	7.800	8.00	0.0001	0.008	0.198
A-6	0.760	3.100	13.33	0.0005	0.027	0.882
A-7	1.100	7.000	9.09	0.001	0.084	2.656
A-8	1.100	9.100	8.00	0.001	0.083	2.608
A-9	1.300	3.800	8.87	0.001	0.036	1.219
A-10	1.800	8.800	3.78	0.0001	0.008	0.186
A-11	1.200	10.400	8.33	0.0001	0.008	0.273
A-12	1.200	11.800	8.33	0.0003	0.028	0.814
A-13	0.300	4.800	11.11	0.0003	0.018	0.516
A-14	0.500	3.300	10.00	0.004	0.132	4.182
A-15	0.800	3.100	8.33	0.004	0.103	3.139
A-16	1.100	2.300	8.08	0.0003	0.014	0.438
A-17	1.300	8.100	7.28	0.0001	0.004	0.124
A-18	1.800	8.400	8.87	0.0001	0.004	0.135
A-19	1.000	3.100	10.00	0.0001	0.005	0.161
SUMA						17.828

TABLA 3.- CÁLCULO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO  
VALLE DE CUATROCIÉNEGAS

CÉLDA	LARGO km (L)	ANCHO km (b)	GRADIENTE HIDRÁULICO (I) X E-03	TRANSMISIBILIDAD M <sup>2</sup> /seg. (T)	CAUDAL M <sup>3</sup> /seg Q = Tbi	VOLUMEN E=04 m <sup>3</sup> /año
A-1	0.800	10.400	18.87	0.0002	0.035	1.083
A-2	0.400	5.800	28.00	0.0003	0.038	1.182
A-3	0.400	8.400	28.00	0.001	0.180	5.628
A-4	1.100	8.700	9.09	0.0005	0.030	0.980
A-5	1.000	8.000	10.00	0.0005	0.040	1.261
A-6	1.000	10.300	10.00	0.0003	0.023	0.724
A-7	2.800	11.800	3.86	0.0008	0.022	0.700
A-8	1.000	2.800	10.00	0.001	0.028	0.825
A-9	0.400	7.600	28.00	0.001	0.180	5.601
A-10	0.300	4.800	33.33	0.001	0.163	4.835
A-11	0.280	4.100	33.71	0.004	0.986	19.488
A-12	0.280	8.800	40.00	0.004	1.378	43.386
A-13	0.380	8.700	28.52	0.002	0.438	14.437
A-14	0.450	8.200	28.00	0.002	0.410	12.627
A-15	1.300	13.600	10.00	0.0008	0.083	2.049
A-16	0.450	8.000	22.22	0.0003	0.027	0.841
A-17	0.280	3.700	40.00	0.0002	0.030	0.933
A-18	0.180	4.300	40.00	0.0002	0.036	1.136
A-19	0.800	8.300	11.11	0.0008	0.038	1.159
A-20	0.380	4.400	28.57	0.0008	0.083	1.982
SUMA						120.611

TABLA 4.- CÁLCULO DEL FLUJO SUBTERRÁNEO  
VALLE DE OCAÑO

CÉLDA	LARGO km (L)	ANCHO km (b)	GRADIENTE HIDRÁULICO (I) X E-03	TRANSMISIBILIDAD M <sup>2</sup> /seg. (T)	CAUDAL M <sup>3</sup> /seg Q = Tbi	VOLUMEN E=04 m <sup>3</sup> /año
A-1	0.400	2.260	85.00	0.0003	0.034	1.084
A-2	0.800	4.000	33.33	0.0003	0.040	1.261
A-3	1.000	7.300	20.00	0.0003	0.044	1.381
A-4	0.800	8.780	21.32	0.0003	0.038	1.209
A-5	1.100	8.800	18.18	0.0003	0.037	1.169
A-6	2.800	8.400	7.14	0.0003	0.018	0.588
A-7	3.000	2.800	6.87	0.0003	0.009	0.184
A-8	1.800	4.300	11.11	0.0003	0.013	0.473
A-9	0.800	5.000	40.00	0.0003	0.100	3.163
A-10	0.800	3.750	22.32	0.0004	0.047	1.471
A-11	2.200	7.200	8.08	0.0008	0.082	2.651
A-12	1.100	7.800	18.18	0.0008	0.111	3.486
A-13	0.880	8.400	36.36	0.0008	0.186	5.870
A-14	0.400	4.800	30.00	0.0008	0.184	5.803
A-15	0.380	7.000	67.14	0.0008	0.320	10.090
SUMA						38.811

BALIDAS SUBTERRÁNEAS

CÉLDA	LARGO km (L)	ANCHO km (b)	GRADIENTE HIDRÁULICO (I) X E-03	TRANSMISIBILIDAD M <sup>2</sup> /seg. (T)	CAUDAL M <sup>3</sup> /seg Q = Tbi	VOLUMEN E=04 m <sup>3</sup> /año
B-1	0.700	1.800	28.87	0.0008	0.041	1.283
B-2	0.600	2.800	6.08	0.0008	0.018	0.470
B-3	0.650	1.000	30.77	0.0008	0.023	0.776
SUMA						2.529