



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**" ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA  
CONSTRUCCION DE LA C.T. PENINSULAR  
EDO. DE YUCATAN "**

**TRABAJO RECEPCIONAL**

*que para obtener el titulo de*

**Ingeniero Geólogo**

*presenta:*

**ALBERTO RAMIREZ MOYA**

**LUIS POTOSI, S.L.P**

**1992**



T

GB1032

Y8

R3

c.1





1080077793



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**" ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA  
CONSTRUCCION DE LA C.T. PENINSULAR  
EDO. DE YUCATAN "**

**TRABAJO RECEPCIONAL**

*que para obtener el titulo de*

**Ingeniero Geólogo**

*presenta:*

**ALBERTO RAMIREZ MOYA**



**SAN LUIS POTOSI, S.L.P**

**1992**

BMU Raúl Rangel Frías  
UANL  
FONDO  
TESIS  
(77793)





UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dr. Manuel Nava No. 8 Zona Universitaria  
Teléfonos: 13-11-86, 13-52-38, 13-63-35 y 13-82-22  
Fax: (48) 13-09-24  
78290, San Luis Potosí, S. L. P., México

SEPTIEMBRE 24, 1992.

Al Pasante Señor Alberto Ramírez Moya  
P r e s e n t e.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el -  
Ing. Ramon Ortiz Aguirre, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará  
Usted, con el objeto de sustentar Examen Profesional en la Licenciatura de  
Ingeniero Geólogo. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Téc-  
nico Consultivo celebrada el día 24 de Septiembre del presente, fué aprobado  
el Temario propuesto:

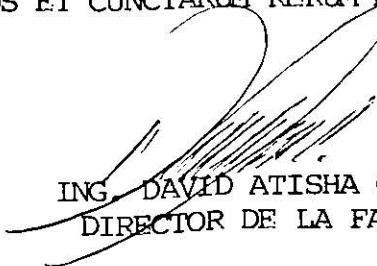
**"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA LA CONSTRUCCION DE LA C.T. PENINSULAR, EDO. DE  
YUCATAN"**

**TEMARIO:**

- I.- INTRODUCCION
- II.- GEOGRAFIA
- III.- GEOLOGIA
- V.- HIDROGEOQUIMICA
- VI.- PERFORACION
- VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado  
por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo  
mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen  
Profesional.

" MODOS ET CUNCTARUM RE'RUM MENSURAS DEBEO "

  
ING. DAVID ATISHA CASTILLO  
DIRECCION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA



\*\*real.

## AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE INGENIERIA

AREA CIENCIA DE LA TIERRA

AL PERSONAL DOCENTE, EN ESPECIAL AL ING.  
RAMON ORTIZ AGUIRRE POR ASESORARME EN  
LA ELABORACION DEL PRESENTE TRABAJO.

## AGRADECIMIENTOS

### A MIS PADRES:

POR HABER HECHO EL SACRIFICIO DE EDUCARME Y LOGRAR QUE OBTUVIERA UNA CARRERA, GRACIAS A SU FE Y AMOR QUE PUSIERON EN MI Y A SU INCANSABLE APOYO DADO, HE ELABORADO ESTA SENCILLA OBRA, EN LA CUAL PUSE EL CORAZON Y ME COMPROMETO POR SEGUIR ADELANTE. GRACIAS POR CREER EN MI.

MARIA DEL REFUGIO MOYA DE RMZ.  
JOSE RAMIREZ ROJO.  
SOFIA AGUILAR.  
ALBERTO RMZ. MOYA.

### A MIS HERMANOS:

ANSELMA, OLGA, JOSE ALBERTO, ALBERTO, GRISELDA, ALMA, ALBA, ELSA, NIDIA, JESUS.

### C.F.E.

GEOHIDROLOGIA ZONA SURESTE POR HABER PERMITIDO LA OBTENCION DE DATOS PARA ESTE TRABAJO. AL CUERPO TECNICO Y DIBUJO POR LA ELABORACION DE PLANOS. EN ESPECIAL AL ING. JOSE LUIS DE LA ROSA CEPEDA POR SU AYUDA DESINTERESADA QUE ME HA BRINDADO; AYER, HOY Y SIEMPRE FIEL AMIGO.



## DEDICATORIA

A MI ESPOSA CAROLINA TELLO DE RMZ., DE  
TODO CORAZON POR HABER COLABORADO  
INCANSABLEMENTE EN EL MECANOGRAFIADO  
DE ESTE TRABAJO Y POR HABER PUESTO  
TODA SU CONFIANZA Y FE EN MI.

A MI HIJA STEPHANY RAMIREZ TELLO, CON  
TODO MI AMOR.

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PARA  
CONSTRUCCION DE LA C.T. PENINSULAR  
EDO. DE YUCATAN**

# INDICE

1.	<b>INTRODUCCION.....</b>	01
1.1.	Objetivo.....	01
1.2.	Generalidades.....	02
1.3.	Antecedentes.....	02
2.	<b>GEOGRAFIA.....</b>	03
2.1.	Localización y Vías de Acceso.....	03
2.2.	Clima.....	03
2.3.	Vegetación.....	04
3.	<b>GEOLOGIA.....</b>	04
3.1.	Geología Historica.....	04
3.2.	Marco Geológico.....	06
3.3.	Fisiografía y Geomorfología.....	07
3.4.	Geología Superficial del Area de Estudio.....	07
3.5.	Geología del Subsuelo.....	08
3.6.	Estratigrafía.....	10
3.6.1.	Terciario Paleoceno - Eoceno.....	10
3.6.2.	Terciario Mioceno - Plioceno.....	11
3.6.3.	Cuaternario.....	12
3.7.	Geología Estructural.....	13
3.8.	Estructuras Cársticas.....	14
4.	<b>HIDROLOGIA.....</b>	14
4.1.	Conceptos Fundamentales.....	15
4.2.	Hidrología Superficial.....	16
4.3.	Tipos de Acuíferos.....	18
4.4.	Hidrología Subterránea.....	18
4.5.	Censo.....	18
4.6.	Piezometría.....	19



4.7.	Dirección del Flujo Subterráneo.....	20
4.8.	Desarrollo.....	21
4.9	Pruebas Hidráulicas.....	21
5.	<b>HIDROGEOQUIMICA.....</b>	<b>29</b>
5.1.	Introducción.....	29
5.2.	Localización de Generalidades del muestreo.....	30
5.3.	Conceptos Teóricos.....	30
5.3.1.	Parámetros Hidrogeoquímicos.....	31
5.3.2.	Concentración de Aniones y Cationes Dominantes.....	32
5.3.3.	Balaceo Iónico.....	33
5.3.4.	Clasificación del Agua Analizada.....	33
5.3.5.	Relación entre Iones Disueltos.....	36
5.4.	Resultados del Análisis Hidrogeoquímico.....	37
5.4.1.	Parámetros Hidrogeoquímicos.....	37
5.4.2.	Concentración de Iones y Cationes Dominantes.....	40
6.	<b>PERFORACION.....</b>	<b>48</b>
6.1.	Barrenos Exploratorios.....	48
6.2.	Pozos de Observación.....	49
7.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
7.1.	Conclusiones.....	51
7.2.	Recomendaciones.....	55

## **BIBLIOGRAFIA**

## **GLOSARIO**

## **FIGURAS**

## **ANEXO**

## 1. INTRODUCCION

La necesidad apremiante cada día de energía eléctrica en los focos de desarrollo de la Península de Yucatán, como son los renglones turísticos, comercial e industrial, motivó la realización del presente estudio Geohidrológico, para seleccionar el lugar de asentamiento de la Central Eléctrica C.T. Peninsular, la cual generará - 168 MW, con dos unidades que solucionarán en parte dicha demanda.

Cabe mencionar, que este trabajo es una nueva alternativa de los estudios realizados anteriormente en el Estado de Quintana Roo, los cuales originalmente se descartaron por presentar algunos inconvenientes, como lo demostraron las alternativas estudiadas en 1986 y 1987 por el Departamento de Geohidrología de la Comisión Federal de Electricidad.

El presente estudio dio principio en el mes de noviembre de 1987, con trabajos de gabinete y campo, los cuales estuvieron dirigidos al aspecto hidrológico, para conocer la distribución y disposición del recurso hídrico en la región.

En este trabajo se describen los alcances y resultados obtenidos en la investigación de San Ignacio alternativa propuesta a estudiar en el proyecto C.T. Peninsular. Para que ésta alternativa fuera atractiva y llevase a un nivel de factibilidad, tendría que cumplir con las especificaciones de los objetivos que se establecen a continuación.

### 1.1. OBJETIVO

Determinar si la alternativa San Ignacio cumple con las características geohidrológicas, que nos permitan extraer agua de buena calidad química en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de la planta en proyecto, el gasto a extraer es de 300 l/s.

## 1.2. GENERALIDADES

Los avances técnicos y científicos se hacen cada vez más patentes en nuestro país, y al mismo tiempo el cúmulo de información aumenta, siendo la geología una de las ciencias que ha experimentado los avances más espectaculares en las últimas décadas. Desde el punto pragmático, los conocimientos geológicos son básicos para decorar a algo tan candente como es la obtención de fuentes de energía.

Los combustibles fósiles se agotan y deberán ser sustituidos por diferentes fuentes alternas de energía.

La Comisión Federal de Electricidad en su afán de satisfacer la demanda nacional de energía eléctrica, ha intensificado sus estudios geológicos en sus diferentes departamentos como son: Geotermia, Geología del Carbón, Geotecnia y - Geohidrología, siendo las últimas dos las de gran importancia para la generación de energía eléctrica en el Sureste del País.

## 1.3. ANTECEDENTES

La Gerencia de Proyectos Termoeléctricos (GPT), solicitó en 1987, a la Unidad de Estudios Geohidrológicos la realización del presente estudio, estableciendo tres alternativas Area Yucalpetén, Area San Ignacio y Area Huhí, siendo San Ignacio de la que se habla en el presente trabajo.

En una revisión posterior en presencia del grupo de selección de sitios se acordó, que el área de San Ignacio requeriría un estudio a nivel evaluación.

Una vez evaluadas en campo las condiciones para la exploración de la alternativa, se propuso un programa de actividades que marcaría los trabajos a efectuar. Este programa se inició a nivel prefactibilidad, con investigaciones bibliográficas exhaustivas, encontrando algunos documentos que sirvieron para incrementar el conocimiento del área.

## 2. GEOGRAFIA

### 2.1. LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION

El área estudiada se localiza en la porción norte de la Península de Yucatán (Fig. 2.1) a 20 km. en línea recta al norte de la ciudad de Mérida, Yuc., con una superficie de 240 km<sup>2</sup>, la cual está delimitada al norte por los terrenos aledaños a la alternativa Yucalpetén, al sur, este y oeste, por terrenos correspondientes a los ejidos Konchem, Mixne Balám y Dzidzilché respectivamente. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 21<sup>o</sup>.05' y 21<sup>o</sup>.12'30" latitud norte y meridiano 89<sup>o</sup>.35' y 89<sup>o</sup>.45' longitud oeste.

Su comunicación es buena, ya que presenta acceso de sur o norte por la vía ancha de ferrocarril Mérida-Progreso y también por la carretera Federal No.-261 Mérida-Progreso a la cual entroncan caminos vecinales que conducen a los poblados de Mixne Balám, San Ignacio, Komchen, Dzidzilché, etc.

### 2.2. CLIMA

En base a las modificaciones hechas por Enriqueta García en 1964 a la clasificación de Köppen y utilizando para esto los valores promedio de temperatura, precipitación y evaporación se establece un clima AW(i')g, y que se describe como

cálido con temperatura media anual de  $26.76^{\circ}$  C, siendo el más seco de los cálidos subhúmedos con lluvias en verano y un cociente entre la precipitación total anual en grados centígrados de 34.24, con poca oscilación térmica y temperatura tipo ganges.

### 2.3. VEGETACION

Las asociaciones vegetales de esta zona estan estrechamente ligadas al suelo, clima y régimen de lluvias dedicando una extensión de su suelo al cultivo del henequén. Tiene además, plantas xerófitas, palmeras (bosques tropicales) y bosques mixtos.

## 3. GEOLOGIA

### 3.1. GEOLOGIA HISTORICA

Estudios contínuos desde 1974 hasta 1983, han permitido obtener información suficiente para desarrollar modelos estructurales profundos y primeras historias geológicas de la Península de Yucatán ( tomado de De La Rosa Zepeda, J.L., - 1989).

Según Sánchez Barreda en 1981 y Shepherd en 1983; basando sus estudios en informaciones paleogeomagnéticas, el desplazamiento del Bloque Maya con respecto al Bloque Oaxaca, para que el primero llegara a la posición que actualmente ocupa, requeriría una rotación de  $40^{\circ}$  en sentido contrario de las manecillas del reloj, desde la parte septentrional del Golfo de México rozando la corteza oceánica y acomodándose a lo ancho del estrecho de la corteza continental entre el Estado norteamericano de Florida y el Estado mexicano de Oaxaca. Se puede inferir que



por lo menos hasta finales del Pérmico, el Bloque Maya ocupaba una gran parte de lo que hoy es el Golfo de México (fig. 3.1).

En el Paleozoico Superior, la Península de Yucatán era de carácter platafórmico, estando emergida hasta el Triásico-Jurásico, tal como lo indica la presencia de capas rojas de la Formación Todos Santos (Triásico) en los pozos Yucatán 1, y 2 perforados por PEMEX en 1972 (fig. 3.2, 3.3).

La posición del Bloque Maya respecto al Bloque Oaxaca, presumiblemente es el resultado de la rotación y migración del primero hacia el Sur, después de la Orogenia Apalachiana durante el Triásico y Jurásico Temprano (fig. 3.4).

En el Cretácico Inferior (Montes de Oca, 1979), se deposita una potente columna evaporítica, formada por una alternancia de dolomías y anhidritas que se extienden en el subsuelo hasta el Estado de Chiapas.

Para el Cretácico Medio, continúa el depósito evaporítico, principalmente al oriente y al noroeste de la Península de Yucatán, así como una secuencia de calizas arrecifales y prearrecifales, muchas veces dolomitizadas en donde se pueden identificar localidades de ambiente de laguna (supramarea e intermarea), en las que se precipitan principalmente carbonatos.

En el Cretácico Superior, continúa la actividad orogénica, que comenzó a principios del Cenomaniano y que persistió hasta el fin del período. Este evento tectónico originó que la paleogeografía muestre una ampliación de mar abierto en algunas zonas del Estado de Chiapas, sin embargo la Península de Yucatán solo se afectó en su parte Norte, evidenciado por un depósito de sedimentos arcillo-calcáreos (margas). El resto de la Península siguió presentando un ambiente de tipo platafórmico (fig. 3.5).

Para el Terciario Medio y Superior (López Ramos, 1979), la Península de Yucatán se muestra como una plataforma sumergida, con oscilaciones a poca profundidad y en la que predominantemente se depositaron calizas neríticas.

El Oligoceno no ha sido reconocido en superficie, pero fue cortado en las perforaciones exploratorias de los pozos Chicxulub No. 1 y Cacapuc No. 1 - (Butterlin y Bonet, 1963). La distribución en superficie de las unidades del Cenozoico muestra claramente una retirada gradual de los mares hacia la línea de costa actual y es sólo en el Eoceno cuando los mares transgreden y cubren casi por completo la península de Yucatán (Butterlin y Bonet op. cit.).

Al final del Plioceno y Cuaternario, la Península de Yucatán adquiere su forma actual, no obstante se siguen desarrollando grandes alineamientos de arrecifes de tipo biostromal, formados esencialmente por material calcáreo, al Norte del Banco de Campeche y en la zona del Caribe.

Otro estudio lo realizó Richard T. Buffler en 1984, bajo los auspicios de la Universidad de Texas, en Austin, Texas; publicó su libro "Seismic Stratigraphy and Geological History of the Deep Gulf of Mexico Basin and Adjacent Margins".

### 3.2. MARCO GEOLOGICO

La plataforma de Yucatán es una región constituida por rocas carbonatadas de origen marino la cual ha estado bajo subsidencia lenta pero continua.

El cuaternario aflora hacia las zonas costeras y corresponde a depósitos calcareos que han sido expuestos después de una ligera emersión de la Península. (Bonet, F., Butterlin 1967).

Las rocas terciarias se encuentran practicamente en posición horizontal o con echados muy suaves, los primeros 120 m corresponden a calizas masivas recristalizadas, cavernosas de buena permeabilidad, las cuales se encuentran cubriendo a margas y calizas practicamente impermeables cuyo espesor alcanza centenares de metros. (Lesser J. 1976).

### 3.3. FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

El área seleccionada, pertenece a la provincia fisiográfica de la Península de Yucatán (Fig. 3.6) y a la subprovincia del Carso Yucateco (I.N.E.G.I.). Esta provincia consiste en general de una llanura de sedimentos carbonatados que sustentan una vegetación tropical, cuyo nivel freático se observa en depresiones de variadas dimensiones conocidas como "cenotes", deformación en lengua española de la palabra maya "TS'ONOT" que significa caverna con agua depositada.

Es común en el área encontrar un relieve casi plano, con desnivel de no más de 1.0 m, lo que permite la formación de los esteros cercanos a la costa, caracterizados por ser terrenos sujetos a inundación de poca profundidad e influenciados por las mareas.

### 3.4. GEOLOGIA SUPERFICIAL DEL AREA DE ESTUDIO TERCIARIO

Formación Carrillo-Puerto (Tmp-cp).

En los recorridos del campo se observaron tres unidades litológicas permeables, cuya inclinación varía de 2° a 6° con rumbo preferencial al NE-SW. La primera unidad (MPI) corresponde a una caliza biógena compacta, poco porosa, de color crema y textura sacaroide (Fig. 3.7).

La segunda unidad (MPII) se identifica como una micrita a biomicrita con recristalización de color crema a café, dura y compacta.

La tercera unidad (MPIII), la conforman una caliza arcillosa y una caliza poco dolomitizada de color crema a café claro, compacta.

### **Unidad de sedimentos continentales no consolidados (Q (al) ).**

Esta unidad, de edad Cuaternario, está compuesta por materiales disgregados, producto del intemperismo de las rocas carbonatadas preexistentes. Dichos materiales han sido poco transportados y se encuentran constituyendo un coluvión de color rojizo, mal seleccionado, rico en sales férricas, formado por arcillas y arenas finas, con matriz arcillosa que engloba desde gravas hasta cantos rodados y se encuentra cubriendo parcialmente algunas partes bajas en toda el área. Se considera como una unidad semipermeable, con espesor promedio de 0.1 m, desde el punto de vista adafológico son suelos de tipo Litosoles. (Tabla A.5, Anexo I).

## **3.5. GEOLOGIA DEL SUBSUELO**

Con la descripción de los núcleos obtenidos de la perforación de los barrenos exploratorios, se interpretó la geología del subsuelo.

Se realizaron en total 3 barrenos exploratorios con recuperación de núcleo a diferentes profundidades entre 60.0 y 62.0 m.

En general las muestras corresponden a rocas sedimentarias de ambiente marino las cuales consisten en biomicritas, calcarenitas; pertenecientes a la Formación Carrillo Puerto.

### **Barreno Exploratorio No.1**

Se distinguen tres unidades litológicas. La primera unidad de 0.0 a - 28.5 m corresponde a biomicritas color blanco compactas, de textura sacaroide. La segunda unidad de 28.5 a 38.0 m, son micritas de color café a blanco, compactas a deleznales. Por último, la tercera unidad de 38.0 a 62.0 m está constituida por - biomicritas compactas, de color crema, intercalado en esta unidad, se encuentra de 40.5 a 43.5 m un paquete de micrita deleznable de color café (Tabla 3.1).

### **Barreno Exploratorio No.2**

Se agrupó por sus características litológicas (Tabla 3.2), como sigue: La primera unidad de 0.0 a 2.50 m, está constituida por fragmentos de micrita empaquetados en arena semicompacta. La segunda unidad de 2.50 a 39.50 m, es una calcarenita de color blanco, fosilífera, compacta y de grano fino, y la tercera unidad de 39.50 a 60.00 corresponde a una alternancia de calcarenita fosilífera de color blanco y micrita color gris, poco fosilífera, ambas compactas. De 40.0 a 42.0 m - existe una biopelmicrita compacta, de color café claro.

### **Barreno Exploratorio No.3**

Se observan cinco unidades (Tabla 3.3). La primera unidad de 0.00 a 6.00 m, es una biomicrita compacta de color café claro, con intraclastos y pelletes, de 4.90 a 6.00 m se observa una caverna de disolución. La segunda unidad de 6.00 a 36.20 m, es una alternancia de calcarenita de color blanco, deleznable, de grano fino a medio, y calcarenita color blanco fosilífera compacta, de grano fino a medio. La tercera unidad de 36.20 a 56.90 m, está formada por una calcarenita color blanco, fosilífera, compacta, de grano fino a muy fino. Este tramo es muy similar a la unidad dos descrita para el barreno exploratorio 2. La cuarta unidad de 56.90 a 61.00 m es una micrita color gris verdoso a gris claro, poco fosilífera, semicompacta. Finalmente, de 61 a 62 m, se encuentra una biomicrita compacta, de color gris claro.

### 3.6. ESTRATIGRAFIA

En San Ignacio, afloran rocas carbonatadas del Terciario y Cuaternario constituídas por sedimentos consolidados y no consolidados.

Las observaciones geológicas permitieron identificar las rocas aflorantes como pertenecientes a la Formación Carrillo Puerto, constando que aflora en el área de San Ignacio. (Tabla 3.4).

#### 3.6.1. Terciario

##### PALEOCENO-EOCENO

##### Formación Chichén Itzá (Tech).

El nombre de la Formación Chichén Itzá, provienen de la zona arqueológica situada sobre la carretera de Mérida a Valladolid.

Las rocas de esta Formación son calizas fosilíferas que presentan ligeras variaciones litológicas lo cual ha permitido dividir las en tres miembros: Xbacal, Pisté y Chumbec.

"El miembro Xbacal está representado por calizas, a veces blancas ó grises, pero generalmente amarillentas e impuras. Se presenta en capas de espesor pequeño a mediano a veces masivas, pudiendo pasar a verdaderas margas amarillas o inclusive a lutitas verdosas, más raras. Estas rocas forman pliegues cerrados, con echados que alcanzan 20° o más en oposición al resto de la Formación, en general tectónicamente poco afectada" (López Ramos, 1983).

"En el miembro Pisté los estratos superiores son los más fosilíferos y están representados por calizas blancas en capas de 10 a 40 cm, generalmente compactadas y a veces cretosas, sobreyaciendo capas gruesas de calizas de color blanca amarillento. La parte inferior de la secuencia está formada por calizas criptocristalinas a microcristalinas amarillas, poco fosilíferas, compactas, en capas gruesas, las cuales presentan una actitud casi horizontal ( $5^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ) y de orientación variable". - (López Ramos, 1983).

Por último, el miembro Chumbec está representado por calizas masivas, blancas y muy cristalinas, con aspecto de mármol sacaroide, su espesor probable es inferior a 100 m.

### 3.6.2. Terciario

#### Mioceno-Plioceno

##### Formación Carrillo Puerto (T<sub>mp</sub>-cp).

El nombre fue introducido (F.I.R.A., 1979) por J. Butterlin (1958), a partir de la localidad tipo que se encuentra sobre la carretera Peto-Carrillo Puerto, a 112 km de la primera población.

Esta formación consiste en sus niveles inferiores de coquinas, de alrededor de un metro de espesor, cubiertas por calizas duras, ricas en Peneroplidea, - subyaciendo, a calizas cada vez más impuras, a veces arcillosas, de color amarillento a rojizo. La alteración de estas rocas da lugar a arcillas rojas. Los niveles superiores de la formación están representados por calizas blancas, duras, masivas. Los - echados observados son débiles o a veces nulos, el espesor de la formación sobrepasa los 200 m.



### 3.6.3. CUATERNARIO

Se identificaron tres tipos de sedimentos no consolidados, los cuales sobreyacen parcial y discordantemente a las formaciones del Terciario, su ocurrencia en el área es de norte a sur y describen a continuación.

#### **Sedimentos costeros (Q (are) ).**

Los conforman arenas de origen marino, de grano fino a medio, permeables, distribuidas a todo lo largo de la costa y con un abundante contenido de fragmentos de conchas de moluscos (pelecípodos y gasterópodos) y braquiopodos.

#### **Sedimentos palustres (Q (pal) ).**

Consisten de arenas de origen marino de grano medio a fino, con intercalaciones de materia orgánica y materiales arcillosos que se depositan durante la temporada de crecimiento del Estero Yucalpetén. Estos sedimentos se consideran poco permeables, y por lo regular sustentan una vegetación de tipo manglar.

#### **Sedimentos Continentales (Q (al) ).**

Constituidos por suelos de color pardo a rojizo, mal seleccionados, formados por arcillas y arenas finas, con matriz arcillosa que engloba desde gravas hasta cantos rodados, y se encuentra cubriendo parcialmente las partes bajas. Se considera unidad poco permeable.

### 3.7. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la mayor parte de la Península de Yucatán aflora una secuencia cenozoica, principalmente calcárea, que no presenta deformaciones significativas y está formada por capas que conservan una actitud horizontal.

Tanto la secuencia cretácica que se encuentra en el subsuelo, como la secuencia cenozoica, no presentan mayores perturbaciones estructurales ya que so breyacen a una masa cristalina que ha permanecido estable desde el Paleozoico.

En el Cretácico se generaliza la sedimentación marina que en gran parte del Estado de Chiapas está constituido por los sedimentos de plataforma de la caliza Sierra Madre. La zona de la Península de Yucatán permaneció como área estable, pero sumergida y con una sedimentación de aguas someras, conformando un gran banco calcáreo que se extendía hasta Chiapas y sur de Veracruz. Viniegra pre supone (1981) que el banco calcáreo yucateco basculó durante su evolución hacia el suroeste; esta interpretación la sustenta el hecho de que en las perforaciones de Pe tróleos Mexicanos el basamento fue encontrado en profundidades que aumentan de - oriente a poniente hasta la plataforma marina de Campeche, en donde alcanza profundidades superiores a 6 500 m y el espesor de las secuencias mesozoica y terciaria es aún mayor.

Por lo tanto, la Geología estructural del área de estudio está determi nada por una fractura apreciable en la porción sureste, la cual tiene una dirección noru-sure. No fue posible la determinación de otras debido a que las rocas afloran tes presentan un alto Carsticismo y el resto del área se encuentra cubierta por ve getación.

El único criterio que se pudiera tomar para determinar las posibles fracturas inferidas existentes fue la alineación de cenotes.

### 3.8. ESTRUCTURAS CARSTICAS

En la Península de Yucatán, el clima tropical y la secuencia de rocas carbonatadas han favorecido y modelado el paisaje cárstico que se encuentra en desarrollo geomórfico activo. Así, las formas cársticas tienen su génesis en superficie debido a la circulación del agua pluvial, que al caer sobre las rocas sedimentarias y quedar almacenada en depresiones, se enriquece, de CO<sub>2</sub>, provocando así el inicio de la disolución. La cual, continúa al irse desplazando el agua a través de fracturas, - fallas y todas aquellas aberturas que le permiten fuidr en la roca, originando equedades cada vez mayores, que al no tener soporte, se colapsa el techo de éstas cavidades, formandose los cenotes.

De esta manera se establece un solo tipo genético cárstico denominado "carso de las llanuras yucatecas", y si bién es cierto, que la mayoría de las estructuras de dimensiones relevantes se presentan por lo regular retirado de la costa, ésto se debe a que las formaciones geológicas son más antiguas lo cual ha permitido un mayor tiempo de exposición. Lo anterior se demuestra mediante la observación de las fases del ciclo geomórfico (Fig. 3.8), las cuales nos muestran los diferentes estados de evolución de los cenotes (Espinosa L. Springall G, 1972). Siendo posible observar todas las fases en el área San Ingacio.

## 4. HIDROLOGIA

### Ciclo Hidrológico

El Ciclo Hidrológico se puede definir como: el proceso contínuo mediante el cual el agua es transportada desde los océanos a la atmósfera, de está a la tierra y posteriormente regresa al mar, teniendo lugar durante el proceso múltiples subciclos tales como la evaporación del agua desde la parte continental y su precipitación sobre la tierra para regresar a los océanos. La fuerza motora del sistema global para el transporte del agua la proporciona el sol, el cual provee la energía requerida para que tenga lugar la evaporación. La calidad del agua también cambia durante las diferentes etapas del ciclo; por ejemplo el agua de mar cambia a agua dulce mediante la evaporación (Fig. 4.1).

#### 4.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Solo hay dos fuentes de agua a disposición del hombre, a saber; las de la superficie, que comprenden los lagos, ríos, áreas de drenaje que envían el agua hacia los embalses y los procedimientos que permiten captar y retener el agua de lluvia; y las subterráneas, que incluyen a los manantiales y diversos tipos de pozos.

En realidad, las fuentes superficiales y las subterráneas no siempre están separadas. Lo que en cierto lugar es agua de superficie, puede convertirse en agua subterránea en otro, pudiendo a su vez emerger de nuevo como agua superficial en un tercer sitio. Esto es posible por las interconexiones hidráulicas que existen.

Puesto que las aguas de la superficie son tangibles y se han gastado - sumas fabulosas de dinero en construir represas, diques, embalses artificiales, acueductos y canales de riego. Toda obra visible, resulta, lo más natural que nos inclinemos a pensar que esta manifestación del agua constituye la mayor fuente para satisfacer las necesidades del mundo.

No toda el agua que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra puede extraerse de la formación que la contienen. Una parte se halla dentro de las formaciones tan profundas que sólo los costos de bombeo invalidaría su extracción. Otra parte yace dentro de acuíferos que se oponen de diversas maneras a extracción y desafían la acción de bombeo.

Aunque las cifras comparativas de los volúmenes de agua disponible - tanto en la superficie como en el subsuelo no pueden adoptarse como índice de los recursos reales, si nos revelan que la reserva subterránea es varias veces mayor que la de la superficie y que no se ha hecho suficiente hincapié en el desarrollo y utilización de los vastos recursos de agua dulce que yacen bajo la superficie de la tierra.

El Comité de Decenio Hidrológico Internacional, iniciado en 1965 bajo el patrocinio de la UNESCO, adoptó la siguiente definición: La Hidrología es la ciencia que trata de las aguas terrestres, de su manera de aparecer, de su circulación y distribución en el globo, de sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones - con el medio físico y biológico, sin olvidar las reacciones a la acción del hombre.

De la misma forma puede adoptarse para la Hidrología Subterránea ó para la Hidrogeología la definición siguiente: Hidrogeología es aquella parte de la hidrología que corresponde al almacenamiento y circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y - sus reacciones a la acción del hombre.

El área de estudio está representada por un acuífero cárstico de tipo libre dentro de la región hidrogeológica denominada carso yucateco, la cual consiste en una unidad morfotectónica de plataforma, formada por rocas carbonatas. La naturaleza heterogenea de estas rocas, le otorga un comportamiento anisotrópico al desplazamiento del agua, al fluir a través de aberturas irregulares obteniendo una dirección preferencial sur-norte con deflexiones al este y oeste.

Los barrenos exploratorios, pozos de observación y pozos de prueba en el área de San Ignacio ha demostrado que el agua de naturaleza pluvial queda suspendida sobre un manto de agua salada, por diferencia de densidades (Fig. 4.2).

#### 4.2. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

En general, el área estudiada por esta alternativa presenta un terreno de topografía suave, parcialmente cubierto de vegetación arbustiva, con escasos suelos, donde predominan los afloramientos de roca.

La alta permeabilidad secundaria de las rocas carbonatadas aflorantes provoca que no exista ningún tipo de escurrimiento superficial, debido a que el agua proveniente de la precipitación pluvial, tiende a infiltrarse inmediatamente a través de las fracturas de la roca. Por lo que la aportación neta al sistema acuífero por conceptos superficiales, la constituye la lámina de precipitación efectiva, es decir la diferencia entre la lámina de precipitación y la lámina de evapotranspiración real.

Por lo tanto, para complementar la evaluación del potencial geohidrológico del sistema acuífero regional en el área de estudio se desarrolló un análisis hidrometeorológico (Tomas E. Chávez, 1989) el cual se enfocó a determinar el comportamiento estadístico de los parámetros de precipitación y temperatura, con su distribución en espacio y tiempo con el fin de evaluar la lámina de evapotranspiración a partir de la ecuación empírica de L. Turc y con ello estima la precipitación efectiva.

De los resultados de dicho análisis se establece que:

La distribución espacial del área de estudio varía entre los valores de las isoyetas 800 mm, en la porción sureste, disminuyendo semiparalelamente hacia la costa hasta la isoyeta 600 mm (Fig. 4.3).

El 73.09% de la precipitación media anual en el área se presenta en los meses de junio a octubre es de 984.53 mm.

Con una probabilidad de ocurrir de entre 0.32 a 0.43 por lo que para poder asegurar un valor de precipitación a ocurrir en la región, se situó una probabilidad de 0.60 dando una precipitación anual de 73.84 mm (Fig. 4.4, 4.5, 4.6).

La temperatura en el área presenta una distribución espacial homogénea, con valores medios anuales entre  $26^{\circ}$ . C y  $27^{\circ}$ . C promediando en la región un valor de  $26.26^{\circ}$ . C con vértice en el mes de mayo de  $28.96^{\circ}$ . C y  $23.58^{\circ}$ . C respectivamente (Fig. 4.7).

Los valores anuales de la lámina de precipitación efectiva, varían de 217.24 mm en la porción sureste del área a 0.95 mm en la región cercana a la costa. De la distribución mensual de este parámetro se tiene que la recarga vertical ocurre en los meses de junio a octubre y la descarga vertical de noviembre a mayo - (Fig. 4.8).

#### 4.3. TIPOS DE ACUIFERO

En Hidrogeología, se denomina acuífero a aquel estrato ó formación geológica, que permitiendo la circulación del agua por sus poros o grietas, hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades económicamente apreciables para subvenir a sus necesidades (del latín aqua = agua y fero = llevar).

Existen varios tipos de acuíferos como lo son: Acuícludo, Acuíardo, - Acuífugo estos se clasifican de acuerdo a sus características litológicas; hay otros que se clasifican de acuerdo con la presión hidrostática del agua encerrada en los - mismos tales como el cautivo y el libre que es propiamente el existente en el área de estudio.

Se denominan acuíferos libres, no confinados ó freáticos aquellas en las cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire, y por lo tanto, a presión atmosférica.

#### 4.4. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

Con la finalidad de conocer los parámetros hidráulicos que gobiernan el acuífero en estudio, y establecer la forma óptima de explotación del agua subterránea se efectuaron las siguientes actividades.

#### 4.5. CENSO

Se censaron 31 cenotes, 61 norias, 6 pozos de abastecimiento, 6 pozos



de observación y 3 barrenos exploratorios (Fig. 4.9). Los cenotes presentan menores dimensiones que los identificados en la porción Sur de la Península, siendo el más profundo, el cenote Xlacá ubicado en la zona arqueológica de Dzibichaltún seguido de los cenotes C-23 con 9.35 m y C-11 con 7.45 m y los demás con profundidades menores de 4.0 m.

Las norias fueron construídas a pico y pala en roca caliza con profundidades que varían desde 5.74 m en la parte sur del área, hasta 2.96 m en la porción norte.

El agua obtenida de estos aprovechamientos es utilizada para uso doméstico principalmente y en menor cantidad en actividades agropecuarias (Tablas 4.1 a 4.3). La mayoría de los aprovechamientos están equipados con bombas hidráulicas - accionadas mediante motor eléctrico de 1 a 10 H.P. y las restantes con aeromotores.

#### 4.6 PIEZOMETRIA

De los aprovechamientos censados, se seleccionaron 11 norias, 4 cenotes, 1 pozo de abastecimiento y 6 pozos de observación. A éstos se les midió mensualmente los niveles estáticos.

A partir de las variaciones del nivel estático registradas en pozos y cenotes se construyeron hidrogramas y curvas de isopiezas. Tomando como relevantes los ejemplos de la noria N-16 y N-3 y los cenotes C-11 y C-14 (Fig. 4.10). Se observó que el mayor descenso, fue en junio, y es a partir de este mes que se registra un ascenso en el nivel estático debido al inicio de la temporada de lluvias, volviendo a disminuir en el mes de septiembre.

De los hidrógramas, se observa una disminución del nivel estático de 0.21 a 0.25 m de enero a junio y un ascenso de 0.51 y 1.15 m de junio a septiembre, cabe mencionar que en el mes de septiembre se registró un incremento anómalo en los niveles estáticos debido a las lluvias extraordinarias ocasionadas por el Ciclón Gilberto.

#### 4.7. DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

Los levantamientos piezométricos realizados mensualmente en los diferentes aprovechamientos de la zona, sirvieron para elaborar 11 cartas de isopiezas (Fig. 4.11 a 4.21) que permitieron reconocer: la evolución de la superficie freática en el espacio y en el tiempo, la dirección del flujo y evidenciar la presencia de estructuras (grietas, fallas, conductos de disolución, etc.) que condicionan dicho flujo.

Del análisis de las cartas de isopiezas se observó que en términos generales la dirección del flujo subterráneo es hacia el nor-noroeste, y que las curvas presentan dos disposiciones diferentes: la primera, comprendida en los meses de enero a junio, posee pequeños gradientes hidráulicos con una tendencia a formar en la parte central un manto freático convergente, la segunda, observada de julio a noviembre, presenta gradientes hidráulicos mayores. En los meses de octubre y noviembre, las curvas equipotenciales muestran la existencia de un manto freático divergente localizado al sureste del área.

Un aumento en la permeabilidad de la zona del nivel freático, ocasiona que en los meses de enero a junio las isopiezas presenten un mayor espaciamiento. La formación del posible manto convergente, ubicado en la parte central, puede deberse a una perturbación de las líneas equipotenciales, producida por el bombeo en el pozo de abastecimiento del poblado de Komchem, o bien, a un sistema preferencial de fracturas o grietas de disolución.

El aumento en el gradiente hidráulico registrado de julio a noviembre, puede deberse a que el nivel freático fluye en una zona de menor permeabilidad. Lo anterior se concluye, debido a que en dicho período las lluvias extraordinarias del Ciclón "Gilberto", ocasionaron un ascenso anómalo en el nivel freático, provocando que el agua circulara por zonas de menor permeabilidad.

#### 4.8. DESARROLLO

Con el fin de limpiar de sedimentos en suspensión y estimular la formación productora de los cenotes C-23 y C-29, en el área de estudio, se realizó a dichos cenotes un desarrollo mediante un bombeo a gasto variable. El tiempo de desarrollo fue de 3 h para el Cenote C-23 y de 5 h para el C-29.

#### 4.9. PRUEBAS HIDRAULICAS

Con el propósito de conocer las características hidrodinámicas y poder establecer el gasto óptimo al que puede someterse el acuífero, se realizaron pruebas de aforo y pruebas de bombeo de larga duración, a varios cenotes y pozos localizados en el área de estudio. Tales pruebas, fueron complementadas por medio de mediciones de conductividad eléctrica realizadas a diferentes gastos y tiempo de bombeo, las cuales, sirvieron para determinar la evolución de la interfase salina en función del gasto y tiempo de bombeo.

##### Pruebas de Aforo

Estas se llevaron a cabo para establecer el caudal óptimo de explotación teniendo en cuenta los aumentos en la salinidad del agua extraída.

Cabe mencionar que las técnicas que se utilizan para interpretar las pruebas de aforo en pozos, son diferentes a las que se utilizan para analizar las pruebas de aforo en cenotes. Esto se debe a que los cenotes presentan problemas como: la creación de un régimen turbulento, penetración incompleta y volumen no despreciable de agua almacenada, lo cual, nos limita para utilizar las fórmulas empíricas conocidas.

### Pruebas en el cenote C-6

En este cenote se realizó un aforo durante 8 h a caudales escalonados. Durante este tiempo y en función al gasto se midieron los niveles dinámicos, la conductividad eléctrica, la temperatura y potencial de hidrógeno en el cenote y en el pozo de observación (Tabla 4.4).

Con estos datos se construyeron las gráficas de (Fig. 4.22).

- Nivel dinámico en función del tiempo de bombeo.
- Caudal en tiempo de bombeo.
- Conductividad eléctrica en función del tiempo de bombeo.

En ellas se observa lo siguiente:

- Con un gasto de 5.3 l/s la conductividad eléctrica aumenta de 1165 a 1670 mhos/cm en las primeras 1.5 h de bombeo.

- De 1.5 a 3.5 h se observa una estabilización en la conductividad eléctrica en 1660 mhs/cm, con caudal promedio de 6.70 l/s.

- Un nuevo aumento en el caudal (7.60 l/s) nos proporciona un incremento en la conductividad eléctrica (1750 mhos/cm) la cual se estabiliza durante las 2 h que duró este gasto.

- Por último una extracción promedio de 9.80 l/s, provoca que la conductividad eléctrica se incremente a 1820 mhos/cm, manteniéndose esta casi estable durante dos horas.

Los cambios mencionados anteriormente se atribuyen a los siguientes:

- El ascenso en los valores de la conductividad eléctrica observados en las primeras 1.5 h de la prueba, pueden deberse a que el cenote se estuvo desarrollando durante este tiempo, lo que ocasionó un aumento en la concentración de sólidos disueltos y por ende los incrementos observados en la conductividad eléctrica.

- En las etapas posteriores del aforo, se observa que al aumentar el gasto existe una respuesta directa en los abatimientos y en los incrementos de la conductividad eléctrica, esto es lógico, si se considera que en medios costeros el agua presenta diferencias verticales en la salinidad. El aumento en la profundidad del nivel dinámico ocasiona que el cono de depresión crezca y se profundice, extrayendo agua de substratos más profundos que tienen mayor salinidad, provocando así los aumentos medidos en la conductividad eléctrica.

### **Prueba en el cenote C-23**

Este cenote se localiza en la Hacienda Santa Rosa. En él se ejecutó una prueba de bombeo escalonado durante 16.25 h, midiendo en cada incremento de caudal el nivel dinámico, la conductividad eléctrica, y potencial de hidrógeno, tanto en el cenote como en el pozo de observación.

Con los datos obtenidos (Tabla 4.5) durante el tiempo que duró la prueba, se construyeron gráficas de niveles dinámicos, caudales y conductividades eléctricas con respecto al tiempo (Fig. 4.23). En éstas se observa lo siguiente:

- Con caudales de bombeo de 7.58, 8.48 y 9.41 l/s, con duración en cada uno de ellos de 2.5 h, la conductividad eléctrica osciló entre 2003 y 2010 mhos/cm, con un descenso de apenas 1.0 cm en el nivel dinámico.

- En las siguientes 5 h, se observaron las máximas conductividades eléctricas registradas durante la prueba, las cuales variaron de 2209 a 2213 mhos/cm, - con caudales de extracción de 10.2 y 11 l/s, respectivamente. En este mismo período se presenta el mayor abatimiento del nivel dinámico el cual es de 8.5 cm.

- Nuevos aumentos en los caudales de extracción (11.3 y 12.3 l/s) ocasionan una disminución de la conductividad eléctrica de 2213 a 1970 mhos/cm. Manteniéndose casi estable el nivel dinámico.

#### **Del análisis de las gráficas se observa que:**

- La conductividad eléctrica y el nivel dinámico son por lo general poco influenciados por el caudal y el tiempo de bombeo.

- El incremento de la conductividad eléctrica, medido en el período comprendido de las 7.5 a las 12.5 h de iniciado el aforo, puede deberse a que al aumentar el tiempo y caudal de bombeo el cono de abatimiento crece, lo que ocasiona que el agua provenga de lugares más alejados, y probablemente en algunos sitios dentro de su recorrido existe una zona de contaminación, lo que se refleja en una mayor conductividad eléctrica.

#### **Prueba en el cenote C-29**

- En el cenote C-29, localizado en el poblado San Ignacio, se realizó un aforo a bombeo escalonado durante 11.25 h (Tabla 4.6), midiendo en intervalos de tiempo (2.5 h) la conductividad eléctrica, los descensos del nivel dinámico y potencial de hidrógeno del agua extraída del cenote. El pozo de observación solo se midió la conductividad eléctrica a diferentes profundidades.

Con los datos obtenidos se construyeron gráficas de descenso del nivel dinámico, conductividad eléctrica y caudales en función del tiempo de bombeo.

**En las gráficas (Fig. 4.24) se observa que:**

- En las primeras 7.5 h del aforo, se observan incrementos en el abatimiento del nivel dinámico y en la conductividad eléctrica con caudales de extracción de 7.85, 8.73 y 9.74 l/s.

Después de 7.5 h de iniciada la prueba hasta finalizar ésta, con caudales de extracción de 10.8 y 11.19 l/s, el nivel dinámico tiende a estabilizarse, mientras que la conductividad eléctrica continúa aumentando (1588 a 1637 mhos/cm).

La interpretación del comportamiento de cada uno de los parámetros que intervienen en las gráficas es la siguiente:

- El aumento en los abatimientos se debe a la extracción efectuada a diferentes caudales (7.85, 8.73, 9.74, 10.8 y 11.19 l/s), lo que ocasiona que el cono de depresión piezométrica crezca y se profundice, extrayendo agua de niveles inferiores que tienen mayor salinidad, provocando así los aumentos en la conductividad eléctrica medidos.

- Se considera que la tendencia al estabilizarse el nivel dinámico en las últimas 3.75 h, se debe a una mayor permeabilidad.

#### **Prueba de bombeo a caudal constante**

Se efectuaron para conocer los parámetros hidráulicos del acuífero, y la evolución de la interface salina y los abatimientos en función al tiempo de bombeo.



### Prueba en el cenote C-6

- La prueba se realizó a un gasto constante de 11.51 l/s, midiendo ca da 30 min. los abatimientos del nivel dinámico, y la conductividad eléctrica (Tablas 4.7.a y b). Con los datos obtenidos se construyeron gráficas de nivel dinámico y con ductividad eléctrica contra el tiempo (Fig. 4.25). Las cuales se describen a continuación:

- De 0 a 3 h, el nivel dinámico y la conductividad eléctrica se mantiene n constantes a 1.45 m y 1850 mhos/cm, respectivamente.

- De 3 a 7 h, los niveles dinámicos aumentan de 1.45 m, éste último valor fue el máximo registro durante la prueba. La conductividad eléctrica se increme nta de 1850 a 2040 mhos/cm.

- De 7 a 10 h, el nivel dinámico tiende a recuperarse (1.54 a 1.47 m); mientras que la conductividad eléctrica fluctúa entre 2000 y 2040 mhos/cm.

- De 10 a 15.5 h, se observan pequeños abatimientos (1.47 a 1.50 m y de 1.50 a 1.53 m), anteriores a períodos en los que el nivel dinámico se estabiliza. La conductividad eléctrica crece de 2000 a 2170 mhos/cm, existiendo un período intermedio (12.5 a 14 h) en el que se mantiene constante a 2030 mhos/cm.

Los comportamientos del nivel dinámico y la conductividad eléctrica - pueden explicarse de la siguiente manera:

- De 0 a 3 h, el gasto extraído es igual al caudal cedido por la formaci ón productora, ésto ocasiona que los niveles dinámicos se estabilicen.

- De 3 a 10 h, las fluctuaciones en las profundidades del nivel dinámico y en la conductividad eléctrica, pueden atribuirse a que en el cono de abatimiento, el agua provenga de zonas dentro de la formación productora, en las que los conductos de disolución no están bien interconectados entre sí.

- De 10 a 15.5 h, al crecer el cono de depresión llega a zonas en las que los conductos de disolución están mejor interconectados, lo que ocasiona que el nivel dinámico se estabilice, a excepción de los dos abatimientos registrados (10.5 y 14.5 h), los que pueden deberse a ligeros cambios en la permeabilidad. El aumento en la conductividad eléctrica puede ser debido a que el agua fluye por los conductos de disolución de niveles inferiores donde la concentración de sales es mayor.

### **Prueba en el cenote C-23**

Se llevó a cabo con un caudal constante de 13.01 l/s, durante 33 h. - Cada 3 h se midió la profundidad del nivel dinámico, la conductividad eléctrica y el potencial de hidrógeno (Tabla 4.8). Con estos datos se construyeron gráficas (Fig.- 4.26) de la variación del nivel dinámico y conductividad eléctrica contra el tiempo, en las que se observa lo siguiente:

- En el tiempo que duró la prueba, las fluctuaciones del nivel dinámico fueron de 3.33 a 3.46 m registrándose en los primeros minutos un abatimiento de 0.1 m a partir del cual los niveles dinámicos se estabilizan variando únicamente 0.03 m.

- La conductividad eléctrica de 0 a 12 h, disminuye de 1470 a 1402 mhos/cm. De 12 a 18 h, aumenta hasta 1496 mhos/cm.

### **Interpretación de la gráfica:**

El primer descenso puede deberse a la reducción de la capacidad específica del cenote. La estabilización de los descensos nos indica que el cenote está bien conectado con el acuífero.

De la curva de conductividad eléctrica se aprecia que el tiempo de bombeo afecta poco las conductividades del agua extraída, la cual sugiere que la concentración de sales en las inmediaciones del pozo, es constante, para las fechas en que se realizó la prueba.

### Prueba en el cenote C-29

Esta prueba se efectuó en el cenote C-29, a caudal constante de 11.03 l/s, durante 45 h de bombeo. Por problemas con la bomba al iniciar la prueba, se extrajo un caudal mayor, este se corrigió, regulando la extracción al gasto programado.

Con los datos medidos durante la prueba a cada 3 h (Tabla 4.9), se construyeron las gráficas de nivel dinámico y conductividad eléctrica con respecto al tiempo (Fig. 4.27), observando lo siguiente:

- Durante las primeras 15 h, se observa un aumento de los niveles dinámicos (3.53 a 3.44 m). De las 5 h hasta finalizar el bombeo, el nivel dinámico se mantiene casi estable (3.445 a 3.460 m).

- La conductividad eléctrica en las primeras 27 h oscila entre 1602 (21h) y 1662 mhos/cm (12 h). Entre 27 y 33 h se mantiene casi estable (1637 a 1640 mhos/cm), y en las últimas 12 h vuelve a fluctuar (1610 a 1655 mhos/cm).

Una probable interpretación al comportamiento del nivel dinámico y de la conductividad eléctrica, sería:

- La recuperación del nivel dinámico observada de las 0 a las 15 h, puede deberse a que al iniciar la prueba se extrajo un caudal mayor, aumentando la profundidad del nivel de 3.16 a 3.53 m (abatimiento de 37 cm), al regular el gasto al programado (11.0 l/s) empezó a ascender hasta alcanzar, una elevación de 3.445 m.

- De 15 a 45 h, el nivel dinámico se mantiene casi estable, lo cual indica que la permeabilidad de la roca almacenadora es buena.

- Debido a las características de permeabilidad, la calidad del agua presenta pequeñas variaciones.

## 5. HIDROGEOQUIMICA

### 5.1. INTRODUCCION

La composición química de las aguas subterráneas depende entre otros factores, de la composición química del agua de lluvia, del tiempo de contacto con los materiales del acuífero y de la composición de las rocas.

Un análisis químico de muestras representativas de agua, nos permite conocer la naturaleza y la importancia de algunos factores físicos y geoquímicos que condicionan su composición. Por lo tanto, el análisis de la composición química del agua nos puede informar sobre su procedencia así como de la existencia de diferentes zonas acuíferas en una cuenca y eventualmente sobre ciertas estructuras tales como: fallas, fracturas, etc., las cuales dominan su circulación.

Por otra parte, los diferentes asentamientos humanos pueden provocar importantes contaminaciones en el agua subterránea.

Con el propósito de conocer las características físico-químicas del agua y poder estudiar su evolución espacial y temporal en función al acuífero se realizó - un análisis químico de muestra en una serie de aprovechamientos.

## 5.2. LOCALIZACION Y GENERALIDADES DEL MUESTREO

Los diferentes aprovechamientos muestreados se localizan en la (Fig. 5.1).

El muestreo en San Ignacio se llevo a cabo en la temporada de estiaje, durante los meses de febrero y junio, y en la temporada de lluvias en el mes de agosto.

Durante el muestreo en esta alternativa, se midieron las temperaturas, el pH y la conductividad eléctrica.

Las muestras fueron enviadas a México, D.F. para su respectivo análisis físico-químico.

## 5.3. CONCEPTOS TEORICOS

Los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras de agua de la alternativa San Ignacio, se encuentran en el (Anexo I) del presente trabajo. Dichos resultados, incluyen la determinación de parámetros hidrogeoquímicos (temperatura de campo, potencial de hidrógeno de campo y laboratorio, conductividad eléctrica de campo y laboratorio, sólidos totales disueltos, dureza total y alcalinidad), concentración de aniones y cationes de los elementos dominantes, resultado del balance iónico, clasificación del agua analizada en base a diferentes métodos y normas regidas por el uso del agua y la relación que existe entre algunos iones.

### 5.3.1. PARAMETROS HIDROGEOQUIMICOS

#### **Temperatura**

En general la temperatura del agua de un acuífero dado, tiende a ser constante e igual o ligeramente superior a la temperatura media anual de la localidad. Su determinación en campo es un dato de gran valor no solo en cuanto a su posible uso sino como característica hidrogeológica e hidrogeoquímica.

#### **Potencial de hidrógeno (pH)**

La determinación del pH se efectuó en el campo y en el laboratorio ( México, D.F.). Su valor es función de las concentraciones de  $\text{CO}_1$ ,  $\text{CO}_2$ , ácido orgánico,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{CO}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  y  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  y de la temperatura.

#### **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de un agua para conducir electricidad, sus valores crecen en función a la concentración de iones disueltos. A una misma temperatura, en la conductividad de un agua influye no sólo la concentración iónica sino el tipo de iones (carga eléctrica, estado de disolución, movilidad - etc).

#### **Dureza total (D.T.)**

El grado de dureza total indica la concentración global de sales de calcio y magnesio. Un agua dura, es aquella que se incrusta en frio o caliente en los recipientes que la contienen.

Se considera como agua:

Muy blanda cuando  $D.T. < 30 \text{ mg/l CaCO}_3$

Blanda cuando  $30 < D.T. < 150 \text{ mg/l CaCO}_3$

Dura cuando  $150 < D.T. < 300 \text{ mg/l CaCO}_3$

Muy dura cuando  $300 < D.T. \text{ mg/l CaCO}_3$

### Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de un agua para neutralizar ácidos y nos permite conocer las concentraciones en carbonato, bicarbonato e hidratos alcalinos contenidos en el agua.

#### 5.3.2. CONCENTRACION DE ANIONES Y CATIONES DOMINANTES

Cuando se realiza un análisis químico de un agua, se determina la concentración iónica total pero no la forma en la cual estos se presentan. Algunos se presentan casi por completo en una forma iónica simple y otros tienden a formar asociaciones iónicas inorgánicas, como por ejemplo las especies neutras de  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgHCO}_3$  etc.

Debemos remarcar que el sóluto depende fuertemente de la concentración iónica. Cuando ésta aumenta las partículas de sóluto se acercan, facilitando las interacciones de todos los iones.

Es por esto que la formación de moléculas neutras o de complejos iónicos es favorecida a altas concentraciones.

### 5.3.3. BALANCEO IONICO

Si se han tenido en cuenta todos los elementos más importantes en un análisis químico la suma de cationes debe ser igual a la suma de aniones. Cuando la diferencia entre la sumatoria de los cationes y los aniones es mayor al 5%, se considera que el análisis no es confiable.

### 5.3.4. CLASIFICACION DEL AGUA ANALIZADA

Debido a los fines del presente estudio la calidad del agua analizada, se realizó por medio de la Clasificación Simple y la Clasificación Geoquímica; apoyándose en el Diagrama de Stiff Modificado, así como en los métodos de Chase Palmer, A.M. Piper, Souliné, Shoeller y Langelier tomándose como principal el método de A.M. Piper (Tabla A.2 y Figs. A.1, A.2; del Anexo I).

#### Método de Chase Palmer

Se basa en la comparación de aniones con cationes en un cierto orden, como si se tratase de formar sales hipotéticas por orden de mayor a menor solubilidad. Esta clasificación, distingue en el agua dos propiedades fundamentales, salinidad y alcalinidad.

Su cálculo es simple y se basa en la agrupación de ciertos cationes los cuales se dividen en tres clases:

alcalinos  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$   
 alcalinotérreos  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$   
 hidrolizables  $\text{H}^+$ ,  $\text{AL}^{++}$  etc.



Para su determinación se tiene que:

$$a = \% (\text{Na} + \text{K})$$

$$b = \% (\text{Ca} + \text{Mg})$$

$$c = \% (\text{H} + \text{Al})$$

$$d = \text{salinidad} = \% (\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{NO}_3)$$

$$e = \text{alcalinidad} = \% (\text{CO}_3\text{H} + \text{CO}_3)$$

donde ( ) denotan, actividad iónica.

Se determinan tres salinidades, primaria (S1), secundaria (S2) y terciaria (S3) y dos alcalinidades (A1) y (A2) basándose en:

Clase	S1	S2	S3	A1	A2
I $d < a$	d	0	0	a-d	b
II $d = a$	a=d	0	0	0	b
III $a = b > d > a$	a	d-a	0	0	a+b-d
IV $d = a+b$	a	b	0	0	0
V $d > a+b$	a	b	d-a-b	0	0

Debido a la agrupación un tanto arbitraria ésta clasificación es muy - deficiente.

### Método de Souliné

Esta clasificación pretende evidenciar los fenómenos de cambios de base.

El agua se clasifica de acuerdo con su tipo, grupo y clase.

TIPO	DENOMINACION	$r(\text{Na}-\text{Cl})/r\text{SO}_4$	$r(\text{Cl}-\text{Na})$	$r \text{ Mg}$
1	Sulfatado sódico	1	negativo	
2	Bicarbonatado sódico	1	negativo	
3	Clorurado magnésico	negativo	1	
4	Clorurado cálcico	negativo	1	

GRUPO	CARACTERISTICAS	CLASE	CARACTERISTICA (Palmer)
A	$r \text{ CO}_3\text{H}^-$ dominante	a	A2, dominante
B	$r \text{ SO}_4=$ dominante	b	S2, dominante
C	$r \text{ Cl}^-$ dominante	c	S1, dominante
		d	S3, dominante
		e	A1, dominante
		f	A3, dominante

### Método de Schoeller

Esta clasificación tiene en cuenta los valores absolutos de las concentraciones de cada ion. Se distingue:

a) Tipo, en el que participan los aniones fundamentales en el orden  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , aportando cada uno un signo.

b) Grupo, dado por la relación entre iones y formado por tres símbolos.

c) Clase, dada por los iones dominantes.

Pese a la denominación complicada a la que conduce este método, es uno de los más empleados, por proporcionar una clasificación más completa basada en un mejor análisis que los métodos de Chase Palmer y Souliné.

### **Método de Piper**

Este método se basa en la identificación de los iones dominantes. Se nombra el agua por el anión o el catión que sobrepasa al 50% de sus sumas respectivas si ninguna supera al 50%, se nombran los dos más abundantes.

#### **5.3.5. RELACIONES ENTRE IONES DISUELTOS**

Las relaciones entre los iones disueltos en un agua pueden guardar cierta relación con el terreno del que procede el agua, indicar la acción de fenómenos modificadores o indicar una característica específica del agua considerada, (Custodio, 1976).

El presente trabajo incluye un análisis espacial, basado en mapas de isovalores de las relaciones; Mg/Ca,  $Cl/HCO_3$ .

Este análisis se llevó a cabo con el propósito de distinguir las posibles zonas de terrenos dolomíticos, las afectadas por intrusión salina y las favorecidas probablemente por la dilución o precipitación del carbonato de calcio.

## 5.4. RESULTADOS DEL ANALISIS HIDROGEOQUIMICOS

### 5.4.1. PARAMETROS HIDROGEOQUIMICOS

#### **Temperatura**

En general, la temperatura presenta ligeras variaciones en función al tiempo. Del primer muestreo realizado en el mes de febrero se constata que la temperatura del agua varía de 22° C a 28° C aumentando ésta en los meses de junio y agosto hasta alcanzar una temperatura máxima de 31° C y mínima de 27°. Este ligero aumento en los meses de junio y agosto se debe principalmente, al incremento de la temperatura ambiental en esta época del año.

#### **Potencial de hidrógeno (pH)**

En el primer muestreo, no se midió el pH de campo variando este en el segundo muestreo de 7.1 en la noria 1 a 7.7 en la noria 14 ubicada en el campo de golf. El tercer muestreo, presenta valores de pH de 6.77 en la noria 61 a 7.76 en la noria 14. De los datos se observa que el pH disminuye hacia el NW del área, en la dirección del flujo subterráneo.

Esto, puede deberse a un incremento en el bicarbonato ( $\text{HCO}_3$ ) probablemente ocasionado por un descenso en los coeficientes de actividad iónica al aumentar la concentración del agua analizada, hacia la porción NW, del área de estudio.

#### **Conductividad eléctrica de campo y sólidos totales disueltos**

En general se observa que en los tres muestreos la concentración de -

sólidos totales disueltos aumenta de SE a NW, con valores que fluctúan, en febrero de 634.5 mg/l en la N-14 a 1966.3 mg/l en la noria N-2, en junio de 641.2 mg/l en la noria 14 a 1878 mg/l en la noria N-2, y en agosto de 357.6 mg/l en la noria 14 a 1517 mg/l en el pozo 6 (Fig. 5.2 a 5.7).

Por otra parte, la conductividad eléctrica de campo presenta la siguiente tendencia.

En febrero, los valores mínimos se encuentran en la parte central y - los máximos en los extremos SE y SW con valores máximos de 1421 ms/cm en la noria 12, 2170 ms/cm en el pozo 6 y mínimos de 336 ms/cm en la noria 32.

En junio, las conductividades se incrementan de SE a NW con valores de 1010 ms/cm en la noria 14 y 3400 ms/cm en la noria 2.

En agosto las conductividades siguen la misma tendencia que en junio, incrementándose sus valores de 492 ms/cm en la noria 14 a 4430 ms/cm en la noria 2.

Al analizar la evolución en el tiempo de los valores de conductividad eléctrica de campo y de laboratorio, y la concentración de sólidos disueltos se observa que:

Los valores de conductividad eléctrica determinados en el campo en un mismo aprovechamiento aumentan de febrero a agosto mientras que los determinados en el laboratorio disminuyen en las mismas fechas. Por su parte, la concentración de sólidos totales disueltos disminuye también de febrero a agosto.

Es necesario hacer notar que las conductividades eléctricas de campo son mas fiables que las de laboratorio ya que éstas últimas fueron determinadas en

México, D.F., donde prevalece una presión atmosférica y una temperatura totalmente diferente a la de la zona de estudio, además de que las muestras fueron analizadas 2 meses después de su recolección.

El incremento en la conductividad de campo de febrero a agosto, nos sugiere que la concentración de sólidos totales disueltos en este período, debiese también aumentar. Sin embargo, esto no es lo que muestran los análisis de laboratorio en los cuales se observa una relación inversa entre la conductividad de campo y la concentración de sólidos totales disueltos. Esto puede ser debido a lo siguiente: al variar las condiciones de las muestras con el traslado a México, D.F., se modificaron los potenciales de hidrógeno y la temperatura de las muestras, lo cual provocó variaciones en los índices de solubilidad de ciertos iones complejos ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{NaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  etc). Esto aunado a los 2 meses, de reposo (tiempo que tardó la muestra para ser analizada) propicio la precipitación de algunas sales, reduciéndose por ende la concentración de sólidos disueltos. Hay que tener en cuenta, que mientras mayor sea la concentración en iones de un agua, mayor es la interacción que se produce entre éstos, lo cual explica el porqué si en agosto se registraron las mayores conductividades de campo, el análisis de laboratorio de las muestras en esta fecha nos dé, las menores concentraciones de sólidos disueltos.

Por todo lo anterior se concluye que no son representativos los valores de concentraciones de sólidos disueltos dados en los análisis de laboratorio.

Las concentraciones reales de sólidos totales disueltos aumentan de febrero a agosto.

#### **Dureza total en mg/l, expresados en forma de $\text{CaCO}_3$ .**

En general, se observa de los tres muestreos que la dureza total aumenta en la zona de SE a NW con valores que oscilan en febrero de 266.2 en la

noria 16 a 617.5 en la noria 2, en junio de 322, en el cenote 15 a 651 en la noria 1 y en agosto de 146 en la noria 14 a 418 en la noria 3 (Fig. 5.8 a 5.10).

Del análisis de los datos en el tiempo, se aprecia que los valores máximos se presentan en el mes de junio y los mínimos en el mes de agosto. Esto concuerda con las fluctuaciones en las concentraciones de los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  las cuales son analizadas posteriormente.

### **Alcalinidad en mg/l**

Del análisis de los valores de alcalinidad se observa que los valores disminuyen de febrero a agosto con valores que varían; en febrero 223.8 en la noria 14 a 446 en la noria 12; en junio de 205 en la noria 14 a 337.7 en la noria 1; y en agosto de 144.3 en la noria 14 a 498.5 en el pozo 6.

Estas fluctuaciones concuerdan con las de las concentraciones del ion bicarbonato las cuales se analizan posteriormente.

### **5.4.2. CONCENTRACION DE LOS IONES Y CATIONES DOMINANTES**

Con el propósito de analizar las variaciones de las concentraciones iónicas en el espacio y en el tiempo se realizaron:

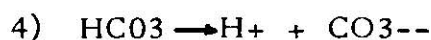
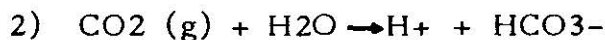
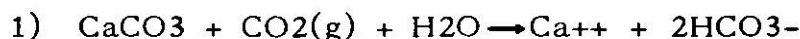
- Curvas de concentraciones iónicas en función al tiempo (Fig. 5.11).
- Mapas de isovalores de concentración (Fig. 5.12 a 5.32).

## Calcio y Bicarbonato

### Proceso de disolución

El acuífero cárstico de la zona de San Ignacio es alimentado por el agua de precipitación pluvial que se infiltra a través de un paquete de biomicritas - y/o calizas biógenas y/o areniscas calcáreas y/o calcilutitas, no saturadas en los primeros cuatro metros de espesor. Esta agua cargada en CO<sub>2</sub> de la atmósfera, facilita la disolución de estas rocas carbonatadas.

El bicarbonato (HCO<sub>3</sub>) proviene de la disolución del ácido carbónico - (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) que se forma cuando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) se combina con el agua. Como lo muestran las ecuaciones 2 a 4, el bicarbonato puede perder otro protón para volverse carbonato (CO<sub>3</sub>). Sin embargo, siendo que la fracción de iones presentes depende del pH, se constata que el bicarbonato predomina sobre el carbonato y el ácido carbónico en aguas con pH de 6 a 9.



De la ecuación 1 se constata que por cada ion de Ca<sup>++</sup> el agua debe presentar 2 iones de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>). Bien que este reporte ideal se obtiene raramente en la naturaleza, una correlación próxima a este, puede atribuirse a la disolución congruente de la calcita.



En zonas costeras, la mezcla del agua dulce con el agua del mar, produce en general un agua agresiva ya que el aumento de salinidad disminuye los coeficientes de actividad de los iones con lo cual se pueden disolver nueva caliza.

No es raro en este tipo de acuíferos encontrar concentraciones de  $\text{HCO}_3$  mucho más elevadas que las que corresponden a la mezcla teórica de agua dulce-agua salada. Esto se debe al fenómeno de cambio iónico en el cual calcio puesto en disolución es fijado por el terreno, el cual libera Na quedando de nuevo el agua agresiva y pudiendo así disolver más caliza. Este proceso continua hasta alcanzarse el equilibrio en el cual el  $\text{HCO}_3$  ha aumentado a expensas de la hidrólisis del  $\text{CO}_3$  puesto en solución. El elevado contenido en  $\text{HCO}_3$  registrado en las muestras analizadas, está asociada a un incremento en Na ocasionado por la intrusión salina.

Los mapas de isovalores de concentración de  $\text{HCO}_3$  y Ca nos muestran que (Fig. 5.12 a 5.17):

La concentración del ion bicarbonato en los muestreos, se incrementa generalmente de SE a NW, debido probablemente al fenómeno de intrusión salina, el cual se acentua en esta dirección.

La noria 12 y el pozo 6, presentan en la porción sur las más altas concentraciones de  $\text{HCO}_3$ . Lo cual puede deberse a la presencia de una zona contaminante cercana a esta noria o en el caso del pozo, al ascenso de la interfase salina.

Las concentraciones de calcio decrecen por lo general hacia el SE.

Los valores más altos en el extremo sur, se localiza en las norias 32, y en el pozo 6. Dichas concentraciones se atribuyen a: en la noria, a una fábrica de cal ubicada en sus inmediaciones.

La Figura 5.11 muestra las fluctuaciones en la concentración en función del tiempo de todos los iones determinados.

Del análisis de estas gráficas se observa que:

- Las concentraciones de  $\text{HCO}_3$  obtienen sus valores máximos en febrero y disminuyen fuertemente en junio. En agosto no se registraron cambios significativos en las concentraciones con respecto a junio.

- Las concentraciones de calcio aumentan de febrero a junio y disminuyen de nuevo en agosto. Por otra parte, se aprecia también que dichas concentraciones presenta una menor dispersión en febrero y agosto. Lo cual probablemente se deba a que en dichos meses, el carbonato de calcio está más cerca del punto de saturación. Sin embargo para poder comprobar esta teoría sería necesario realizar el cálculo del índice de saturación de la calcita.

### **Magnesio**

La fuente principal de magnesio en el área es el agua del mar, las dolomitas ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) y la magnésita ( $\text{MgCO}_3$ ). Además la calcita puede poseer impurezas de Mg en su estructura las cuales son liberadas con la disolución de la calcita.

La disolución de la dolomita, controlada por la presencia de  $\text{CO}_2$  es siempre mayor que la de la calcita.

Sin embargo las aguas del acuífero presentan generalmente concentraciones de Mg inferiores a las de la calcita, esto se debe a que el proceso de disolución de la dolomita es mucho más lento.

Las concentraciones de magnesio en la zona aumentan notablemente hacia el NW, lo cual es debido a una mayor influencia de la intrusión salina en esta dirección (ver relación  $Cl/HCO_3$ ).

Los valores de concentración varían en febrero de 18.50 mg/l en la noria 16 a 71 mg/l en la noria 2, en junio de 22 mg/l en la noria 14 a 60 mg/l en la noria 2 y en agosto de 6.4 mg/l en la noria 14 a 39 mg/l en la noria 3.

Las norias 12, 6 y el pozo 6, presentan en los tres muestreos las concentraciones más altas registradas al sur del área. Esto en el caso de la noria 6 y el pozo 6 puede ser debido a un ascenso de la interfase salina, provocado por bombeo. No se encontró una explicación concreta en el caso de la noria 12.

De las figuras (5.18 a 5.20) se aprecia que las fluctuaciones en el tiempo de las concentraciones del magnesio, siguen la misma tendencia que las del calcio.

### Sodio

Las concentraciones de sodio en la zona, están relacionadas con el fenómeno de intrusión salina. Sus valores se incrementan de SE a NW. Los mapas de isovalores de concentración (Fig. 5.21 a 5.23), nos muestran una tendencia similar en los tres meses analizados. Las concentraciones del pozo 6 y la noria 6 son asociados a un ascenso de la interfase salina ocasionado por un bombeo. No se encontró una explicación concreta a las altas concentraciones registradas en la noria 12.

De la figura 5.11 se observa que las concentraciones de sodio en función al tiempo, fluctúan de manera inversa a la del calcio y del magnesio. Sin embargo si consideramos las concentraciones de Na y Ca registradas en un

aprovechamiento, se puede observar que éstas fluctúan de la misma forma. Esto es obvio ya que un aumento en el NaCl, produce un incremento en las fuerzas iónicas lo cual ocasiona que los índices de saturación de CaCO<sub>3</sub> se incrementen, facilitando la disolución de la calcita por lo cual el Ca<sup>++</sup> en el solvente es incrementado.

### **Potasio**

La concentración del potasio como la del sodio están relacionadas con el fenómeno de intrusión salina.

Por lo general este ion presenta en toda el área concentraciones bajas, las cuales fluctúan en el tiempo con la misma tendencia que la del sodio. Pero con la diferencia de que las más altas se registraron en agosto.

### **Cloro**

El cloro está por lo general asociado a sales naturales de Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, y su existencia en las aguas subterráneas del área, está asociada al fenómeno de intrusión salina.

Debido a su alta solubilidad y a que no es atacado por la actividad biológica ni por los procesos de cambio y absorción, las aguas pueden presentar una alta concentración de este ion.

Del análisis de las muestras se observa que:

Las concentraciones se incrementan en los tres muestreos de SE a NW y presentan una tendencia similar en sus curvas de isovalores (Fig. 5.24 a 5.26).

El pozo 6 y las norias 6 y 12 presentan las concentraciones más altas de la porción sur del área. Atribuyéndose esto al ascenso de la interfase salina en estas zonas.

### **Sulfatos**

Los sulfatos en las aguas analizadas presentan por lo general concentraciones muy débiles.

De la gráfica de concentración de sulfatos en función del tiempo (Fig. 5.11) se observa que las concentraciones no presentan una tendencia bien definida, - mostrando una gran dispersión en el espacio y en el tiempo lo cual se debe a que sus concentraciones son inferiores a la de los índices de saturación.

### **Nitratos**

Los nitratos son muy solubles al agua y son difíciles de extraer de éstas una vez que se han disuelto.

Estos son generalmente de origen orgánico y están relacionados en el área de estudio a los diferentes asentamientos humanos y a las actividades agropecuarias.

Las mayores concentraciones se detectaron en la noria 14 ubicada en el club de golf siendo esto normal debido a que en esta zona se utilizan una gran cantidad de abonos para fertilizar los pastos.

## Clasificación del agua

En general, el agua en la porción SE del área se clasifica como bicarbonatada cálcica pasando gradualmente hacia el NW a formar un agua clorurada sódica.

## Relaciones iónicas

### Mg/Ca

Los principales problemas a los que nos enfrentamos en la interpretación de éste tipo de relación son: que el carbonato de calcio se encuentra en concentraciones superiores a la concentración de saturación o muy cercana a esta y el importante aporte de magnesio provocado por la intrusión salina.

Por lo anterior, no nos es posible distinguir a partir de esta relación el tipo de terreno atravesado. Sin embargo, las cartas de isovalores (Fig. 5.27 a - 5.29) nos confirman la importante influencia que ejerce el fenómeno de intrusión salina sobre las concentraciones iónicas al NW de área.

### C1/HCO<sub>3</sub>

Dado que el contenido en C1/HCO<sub>3</sub> es un valor relativamente constante en las aguas subterráneas es una relación de interés para seguir el proceso de concentración en sales en el sentido del flujo subterráneo. Sin embargo debemos tener en cuenta que la precipitación de CaCO<sub>3</sub> produce cambios en la concentración de HCO<sub>3</sub>.

De los mapas de isovalores (Fig. 5.30 a 5.32) se observa que:

- Las curvas presentan tendencias similares en todos los meses. Por lo general la relación crece hacia el NW del área indicando un aumento de salinidad en esta zona.

## 6. PERFORACION

Se realizó con dos finalidades, primero, conocer la geología del subsuelo y segundo, para establecer el comportamiento hidráulico del acuífero en forma natural e inducido, mediante una extracción sistemática, así se efectuaron barrenos exploratorios con recuperación de muestras, y pozos de observación.

### 6.1. Barrenos exploratorios

#### Barreno exploratorio No. 1.

Esta perforación se programó a 60 m de profundidad con muestra de núcleos para fines geológico-estratigráfico. Se terminó de 0 a 58 m con un diámetro de 3 1/2" y de esta última profundidad a 62.0 m (4.0 m) en diámetro 2 15/16".

#### Barreno exploratorio No. 2.

Esta perforación se programó a 60 m de profundidad con muestra de núcleos para fines geológico-estratigráficos. Se terminó de 0 a 57 m con un diámetro de 3 1/2" y de ésta última profundidad a 60 m (3 m) en diámetro de 2 15/16".

### **Barreno exploratorio No. 3.**

Esta última se programó a 60 m de profundidad con muestra de núcleos para fines geológicos-estratigráficos. Se terminó de 0 a 58 m con diámetro de 3 1/2" y de esta última profundidad a 62 m (4 m) en diámetro de 2 15/16".

## **6.2. POZOS DE OBSERVACION**

Con el propósito de determinar las características geohidrológicas del acuífero y conocer la evaluación y el comportamiento de la interfase salina al ser sometido el acuífero a pruebas hidráulicas se programaron pozos de observación.

### **Pozo de observación No.1.**

Se localiza a 1 kilómetro del barreno exploratorio 1, a un lado de la brecha que conduce al rancho Santa Inés.

Se terminó a 25 m de profundidad con diámetro de 4 1/2" y se colocó un PVC hidráulico de 2 1/2" de diámetro hasta 23.5 m de profundidad ranurado en toda su longitud.

Con objeto de aprovechar pozos exploratorios y establecer localidades nuevas necesarias de observación se realizaron las siguientes operaciones:

- Perforación de los pozos 1, 5 y 6.
- Habilitación de los barrenos 1, 2 y 3 a pozos de observación 2, 3 y 4.



### **Pozo de observación No. 2, 3 y 4.**

Se habilitaron los barrenos 1, 2 y 3 para emplearlo como pozos de observación 2, 3 y 4, respectivamente. Dicha habilitación consistió en la ampliación de los barrenos y la colocación de PVC hidráulico. (Ver Fig. 6.1 Terminación de Pozos y Fig. 6.2 Localización).

El diámetro para el pozo de observación 2 quedó en 4 1/2" con profundidad de 62 m y se colocó PVC hidráulico ranurado de 2 1/2" de diámetro, hasta 57.0 m de profundidad.

El pozo de observación 3 quedó en un diámetro de 5 5/8" hasta la profundidad de 55 m y de esta profundidad hasta 57 m con diámetro de 4 1/2". En su interior se colocó ademe ranurado, de 4" de diámetro hasta la profundidad de 55 m.

El pozo de observación 4, se terminó de 0 a 25 m de profundidad con 6" de diámetro y de 25 hasta 58.0 m con 5 5/8" de diámetro, además se colocó ademe de PVC hidráulico de 4" de diámetro, ranurado hasta 58.0 m de profundidad.

### **Pozo de observación No. 5**

Se encuentra en la hacienda Santa Rosa, su acceso es a través de la brecha que conduce al rancho Las Escondidas y que a su vez entronca con la carretera Federal No. 261. Se perforó a una profundidad de 43.0 m con un diámetro de 2 15/16", el cual fue ampliado a 3 1/2" y 5 5/8" hasta la profundidad de 42.0 m además se colocó 39 m de ademe PVC hidráulico ranurado de diámetro 4".

## Pozo de observación No.6

Ubicado en el poblado de San Ignacio. Dicho pozo se perforó con un diámetro de 2 15/16" hasta una profundidad de 41.0 m y posteriormente se realizaron ampliaciones en diámetros de 3 1/2" y 5 5/8" a la misma profundidad de la perforación exploratoria. Al finalizar la ampliación se además hasta 38 m con PVC de 4" de diámetro el cual se reanuró en toda su longitud.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. CONCLUSIONES

1.- La alternativa San Ignacio está conformada por micritas y biomicritas color blanco a café, compactas, pertenecientes a la Formación Carrillo Puerto de edad Mioceno-Plioceno, sus estratos tienen una inclinación que varía de 2° a 6° con rumbo preferencial al NE-SW.

Esta formación se presenta casi horizontal formando una topografía plana. Es cubierta parcial y discordantemente por material granular del Cuaternario, constituido por sedimentos: Continentales no consolidados, palustres y costeros.

2.- El análisis hidrometeorológico establece que: El área de San Ignacio queda comprendida entre las isoyetas 600 y 750 mm.

La temperatura en el área presenta una distribución espacial homogénea con valores anuales entre 26° C y 27° C.

Los valores anuales de la lámina de precipitación efectiva son aproximadamente de 0.95 mm. De la distribución mensual de este parámetro se tiene - que la recarga vertical ocurre en los meses de junio a octubre y la descarga vertical de noviembre a mayo.

3.- Del análisis de las cartas de isopiezas se observó que: En términos generales la dirección del flujo subterráneo es hacia el noroeste.

Las curvas presentan dos disposiciones diferentes: La primera, comprendida en los meses de enero a junio posee pequeños gradientes hidráulicos lo cual se asocia a que el nivel freático circula en una zona de alta permeabilidad. La segunda, observada de julio a noviembre presenta gradientes hidráulicos mayores, lo cual se atribuye a que en este período, las lluvias extraordinarias del Ciclón Gilberto, provocaron que el nivel freático alcanzara niveles anómalos, los cuales poseen una menor permeabilidad ocasionando el incremento en los gradientes.

4.- En el área de estudio la interfase se delimitó entre 10 y 35 m, de las pruebas hidráulicas realizadas se observa que: La prueba de aforo en el cenote - C-6 muestra que, en esta zona y para las fechas en que se efectuó dicha prueba, - existe una respuesta directa entre los abatimientos y los incrementos de la conductividad eléctrica debido a las someras profundidades de la interfase salina.

La prueba de aforo en el cenote C-23 muestra que en las inmediaciones de dicho cenote, tal vez existe una zona con una mayor concentración de sales.

La prueba de aforo en el cenote C-29 muestra una relación directa - entre las conductividades y los abatimientos.

5.- Del análisis hidrogeológico se constata que: La temperatura del agua presenta ligeras variaciones en función al tiempo.

El pH disminuye hacia el NW del área en la dirección del flujo subterráneo, debido probablemente a un incremento en el bicarbonato, ocasionado por un descenso en los coeficientes de actividad iónica al aumentar la concentración iónica del agua analizada.

Las concentraciones de sólidos totales disueltos detectadas por los análisis de laboratorio no son representativos.

Las concentraciones reales de sólidos totales disueltos aumentan de febrero a agosto.

Las conductividades eléctricas de campo aumentan de febrero a agosto.

La dureza total aumenta hacia el NW en la dirección del flujo subterráneo, sus valores máximos se presentan en el mes de junio y los mínimos en agosto.

La alcalinidad disminuye de febrero a agosto.

La concentración del ion bicarbonato en los tres muestreos, se incrementan generalmente de SE a NW, debido probablemente al fenómeno de intrusión salina el cual se incrementa en esta dirección.

La noria 12 y el pozo 6 presentan en la porción sur las más altas concentraciones de  $\text{HCO}_3$  asociándose estos valores a una zona de contaminación.

Las concentraciones de calcio decrecen por lo general hacia el SE.

Las concentraciones más altas de calcio de la porción sur del área se

localizan en la noria 32 y se atribuyen a una contaminación provocada por una fábrica de cal.

Las mayores concentraciones de  $\text{HCO}_3$  se registraron en el mes de febrero.

Las concentraciones de Mg aumentan notablemente hacia el NW, debido a una mayor influencia de la intrusión salina.

Concentraciones altas de Mg en la noria 6 y el pozo 6 se asocian al ascenso de la interfase salina provocado por bombeo.

Las concentraciones del sodio se incrementan hacia el NW. Las concentraciones en el pozo 6 y la noria 6 son atribuidas a un ascenso de la interfase salina.

Las concentraciones de sodio en función al tiempo fluctúan de manera inversa a la del calcio y del magnesio. Sin embargo, si se consideran las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  registradas en un aprovechamiento, se observa que éstas fluctúan de la misma forma. Esto se debe a que un aumento en el  $\text{NaCl}$ , produce un incremento en la fuerza iónica lo cual ocasiona que los índices de saturación de  $\text{CaCO}_3$  se incrementen, facilitando la disolución de la calcita por la cual el  $\text{Ca}^{++}$  en el solvente es incrementado.

Las concentraciones más altas de potasio se registran en agosto.

Las concentraciones de cloro se incrementan de SE a NW. Las altas concentraciones del pozo 6 y la noria 6 se atribuyen a un ascenso de la interfase salina.

Las concentraciones de sulfatos son inferiores a la de los índices de saturación.

Las mayores concentraciones de  $\text{NO}_3$  se detectaron en la noria 14 ubicada en el Club de Golf y se atribuyen a los abonos que se utilizan para fertilizar los pastos.

El agua de la porción SE del área se clasifica como bicarbonatada cálcica pasando gradualmente hacia el NW a formar una agua clorurada sódica.

La relación  $\text{Mg}/\text{Ca}$  nos confirma la importante influencia que ejerce el fenómeno de intrusión salina sobre las concentraciones iónicas al NW del área.

La relación  $\text{Cl}/\text{HCO}_3$  crece hacia el NW del área indicando un aumento de salinidad en esta zona.

## 7.2 RECOMENDACIONES

Para que un proyecto pase a un nivel factibilidad tiene que cumplir con todas las características geohidrológicas, pues es requisito primordial que la planta posea un gran potencial de explotación para su funcionamiento ya que es el objetivo del estudio. Por lo que se recomienda abandonar la alternativa propuesta, ya que, ésta desde el punto de vista geohidrológico no presenta buenas características de explotación por encontrarse la interfase salina a escasos metros de profundidad. Pues uno de los problemas que ocasionaría es que al tratar de cuantificar los caudales óptimos y máximos de explotación en función del tiempo y del espacio no se podría realizar, pues se tendría un rápido ascenso de la interfase salina.

## BIBLIOGRAFIA

Castany G., 1971, tratado práctico de las aguas subterráneas. Ediciones OMEGA, S.A.

Custodio E. Llamas M.R., 1976, Hidrología Subterránea, tomo I y II, - Ediciones OMEGA, S.A.

C.F.E. Junio de 1987, Estudio Geohidrológico de área Punta Xocoxh - Laguna San Antonio, municipio de Othon P. Blanco, Quintana Roo, (Sitios Punta Xocoxh, La Calera y No. 5).

Espinoza L.- Springall G., 1972, El Subsuelo de la Península de Yucatán. Instituto de Ingeniería UNAM y GEOTEC, S.A.

Garcia E., 1964, Estudio sobre las modificaciones a los climas Köppen, Instituto de Geografía de la UNAM, distribuido por INEGI.

Garcia E.- Mosiño P.A., 1984, Cantidad de Lluvia más frecuente (moda) en la República Mexicana, S.P.P., Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.

I.N.E.G.I., Cartografía completa del área de Estudio, escalas 1: 50 000, 1: 250 000, 1: 500 000, 1: 100 000.

I.N.E.G.I., 1982, Geología de la República Mexicana, Secretaría de Programación y Presupuesto.

Jacques Butterlin y Federico Bonet., 1963, mapas geológicos de la Península de Yucatán, PEMEX.

López Ramos E., 1972-1973, Estudio Geológico de la Península de Yuc.

Pulido José Luis, 1978, Hidrogeología Práctica, URMO, S.A. de ediciones.

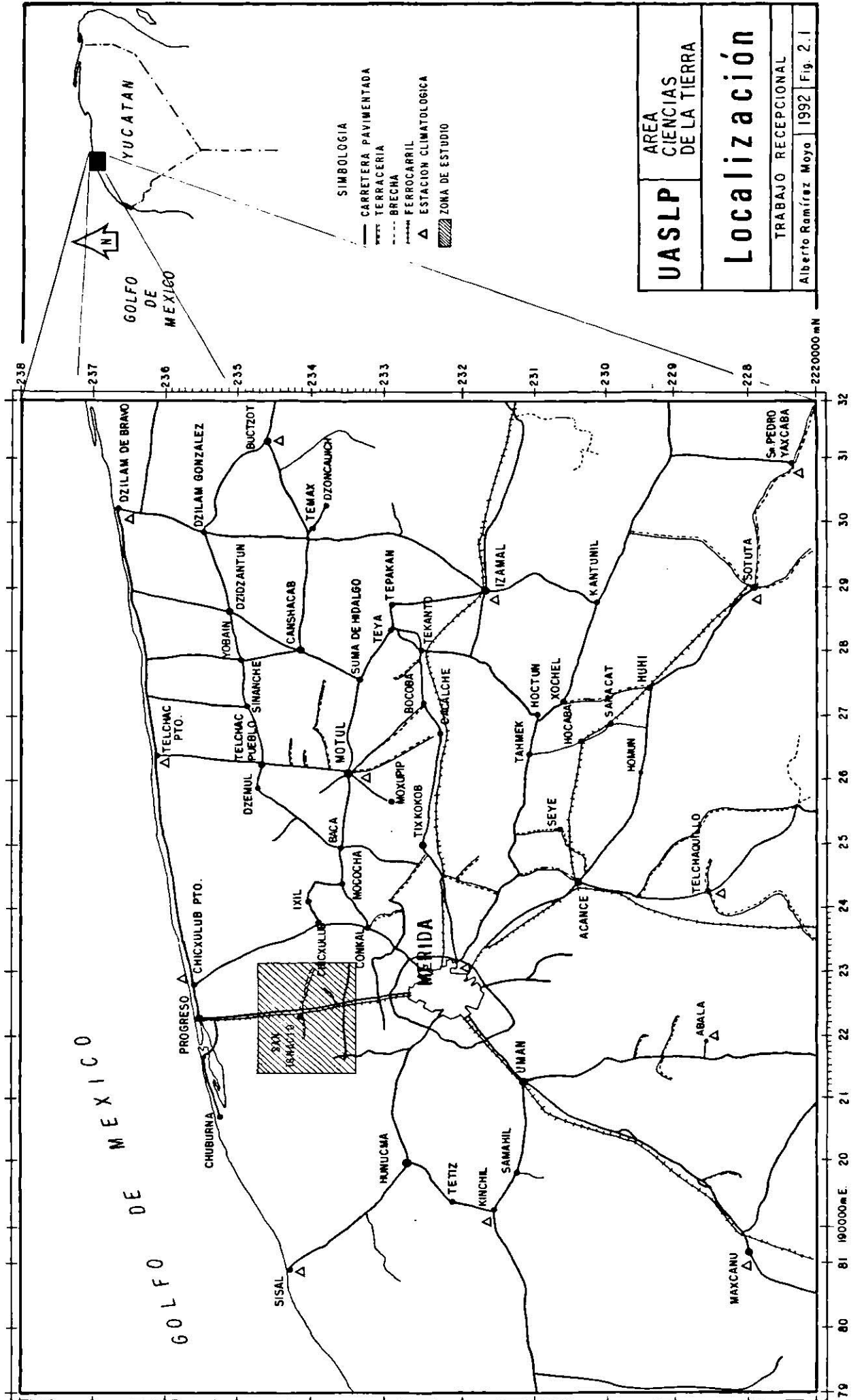
## G L O S A R I O

- ACUIFERO.- Es la unidad geológica capaz de recibir, transmitir y almacenar el agua.
- ACUICLUDO.- (del latín claudere= encerrar o cerrar) Se define como aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior incluso hasta la saturación no la transmite.
- ACUITARDO.- (del latín tardare= retardar) Hace referencia a la existencia de numerosas formaciones geológicas que, conteniendo apreciables cantidades de agua la transmiten muy lentamente.
- ACUIFUGO.- (del latín fugere= huir) Aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir.
- ACUIFERO LIBRE.- No confinados, ofreáticos, son aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire, y por lo tanto, a presión atmosférica.
- ACUIFERO CAUTIVO.- Confinados ó a presión; el agua de los mismos está sometido a una cierta presión superior a la atmosférica, y ocupa la totalidad de los poros ó huecos saturando totalmente la formación que la contiene.
- SUPERFICIE -  
PIEZOMETRICA.- (o potenciométrica), es una superficie imaginaria formada por los puntos a los que el agua ascendería desde la cota inferior que alcanzase la perforación en pozos bien entubados.
- PIEZOMETRIA.- Es la medida que se hace al nivel estático del espejo cuanto a su variación de ascenso o descenso del espejo de agua en una determinada fuente tomando como plano de referencia el nivel medio del mar.
- FUENTE.- Aprovechamiento de observación; puede ser un barrenos exploratorio, pozo de observación.
- DOLINA.- (o sumidero) Es una gran cavidad a cielo abierto formada por disolución.
- ISOPIEZAS.- Curvas de igual elevación del nivel estático en comparación con el nivel medio del mar.



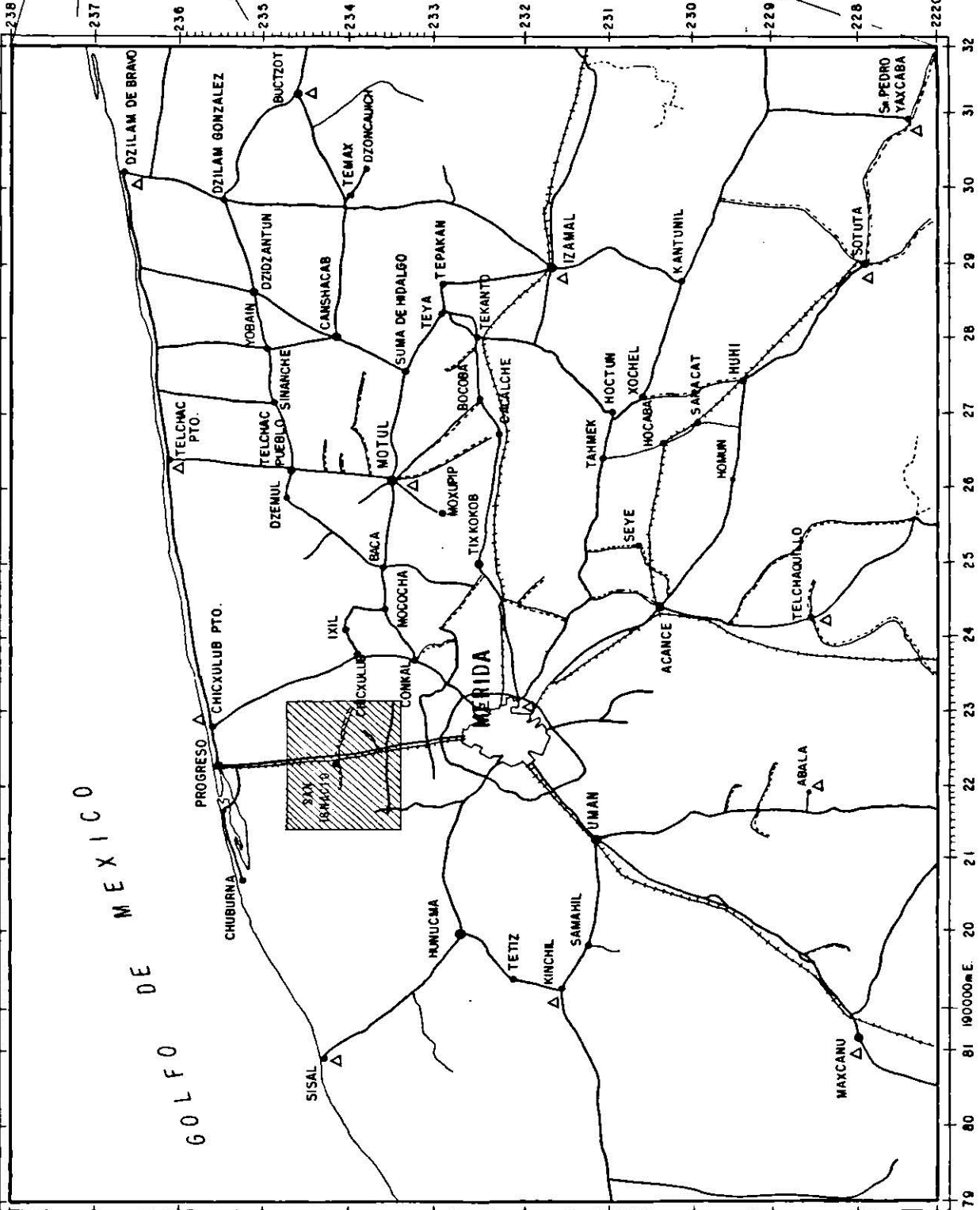
- PRECIPITACIONES.- Todas las aguas meteóricas que caen en la superficie terrestre, tanto en forma líquida o sólida.
- HIDROGRAMA.- Es una curva que representa las oscilaciones (en función del tiempo) del agua de un aprovechamiento o en una cuenca.
- ISOYETAS.- Curvas de igual precipitación pluvial.
- MANTOS CONVERGENTES.- Un tipo de estos mantos es el cono de depresión creado por la extracción en una capa acuífera libre.
- MANTOS DIVERGENTES.- En las zonas llanas y en los conos aluviales, observamos capas acuíferas cuyos hilos líquidos divergen en sentido del flujo - son los mantos en abanicos.
- INTERFASE SALINA.- Línea que divide el agua dulce de un acuífero del agua salada del mar, de espesor variable según las condiciones prevalecientes en ambos medios, en cuyo contacto se produce una zona de mezcla de aguas.
- (Tech).- Terciario, Eoceno, Formación Chichén Itza.
- (Tmp-cp).- Terciario, Mioceno - Plioceno, Formación Carrillo Puerto.
- PLANTAS XEROFITAS.- Plantas o formaciones vegetales adaptadas a vivir con escasa humedad.
- VEGETACION TIPO MANGLAR.- Arbusto tropical de ramas largas y extendidas que dan raíces aéreas que descienden hasta llegar al suelo y se arraigan en él.
- C.T.- Central Termoeléctrica.
- COLUVION.- Depósito de medio ambiente continental, donde el principal agente de transporte y depósito es el viento, el cual acumula los sedimentos en partes bajas de las llanuras aluviales con climas áridos y húmedos. (Inmaculada Corrales Zarauza, Estructural; - pag. 314).

# FIGURAS



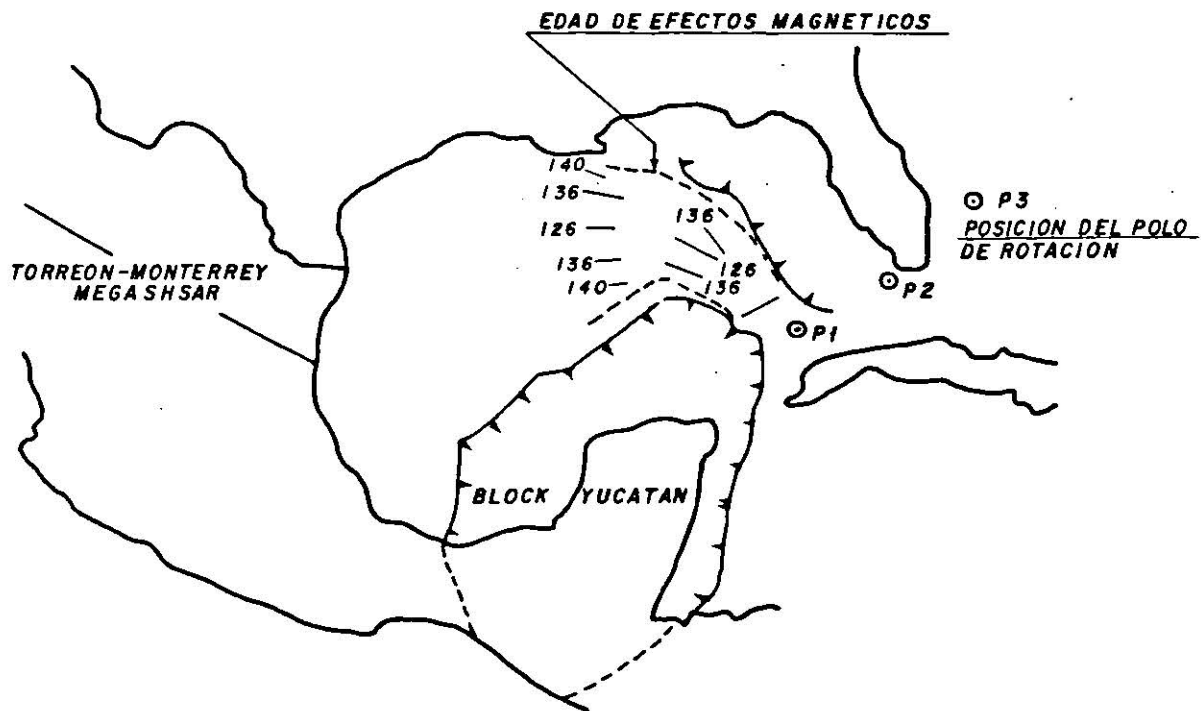
<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
	<b>Localización</b>
TRABAJO RECEPTACIONAL	
Alberto Ramírez Moyo   1992   Fig. 2.1	

- SIMBOLOGIA**
- CARRERA PAVIMENTADA
  - TERRACERIA
  - BRECHA
  - FERROCARRIL
  - △ ESTACION CLIMATOLOGICA
  - ▨ ZONA DE ESTUDIO

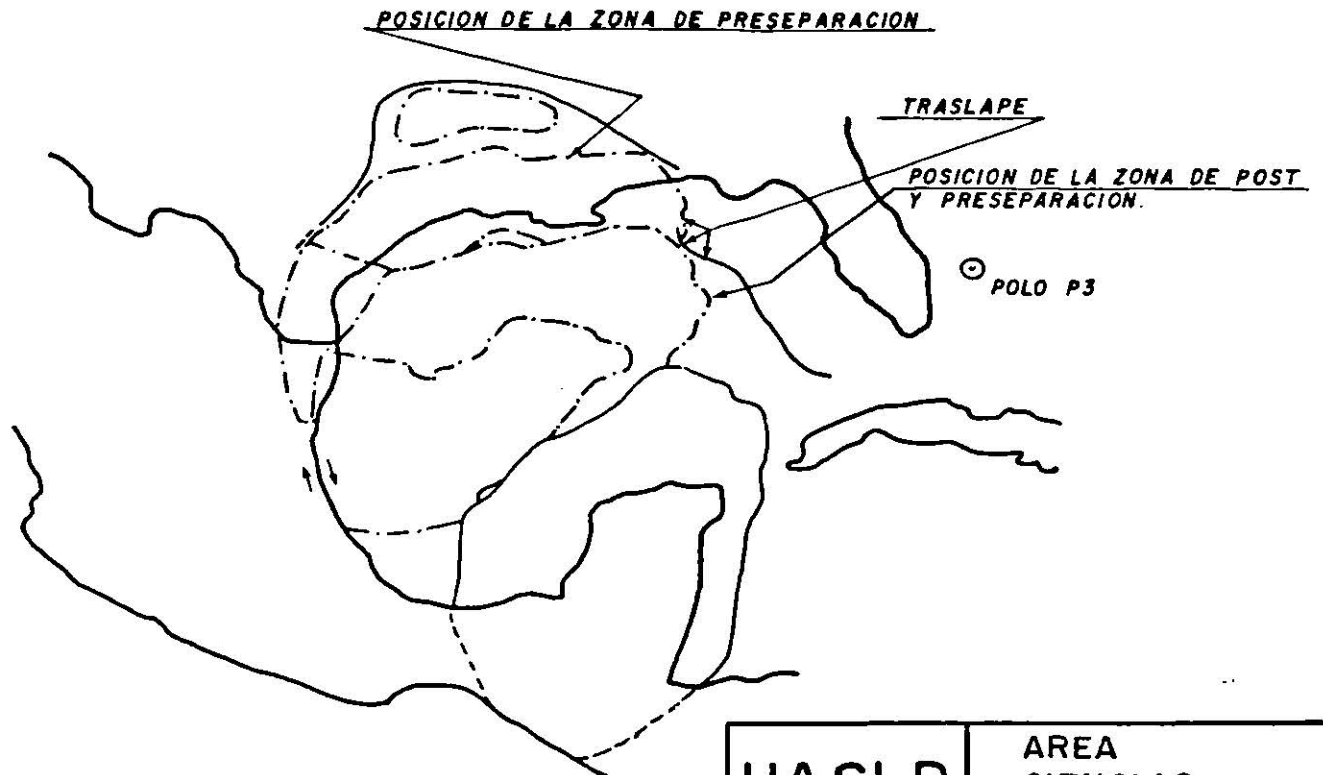


2220000 mN

79 80 81 190000m E. 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32



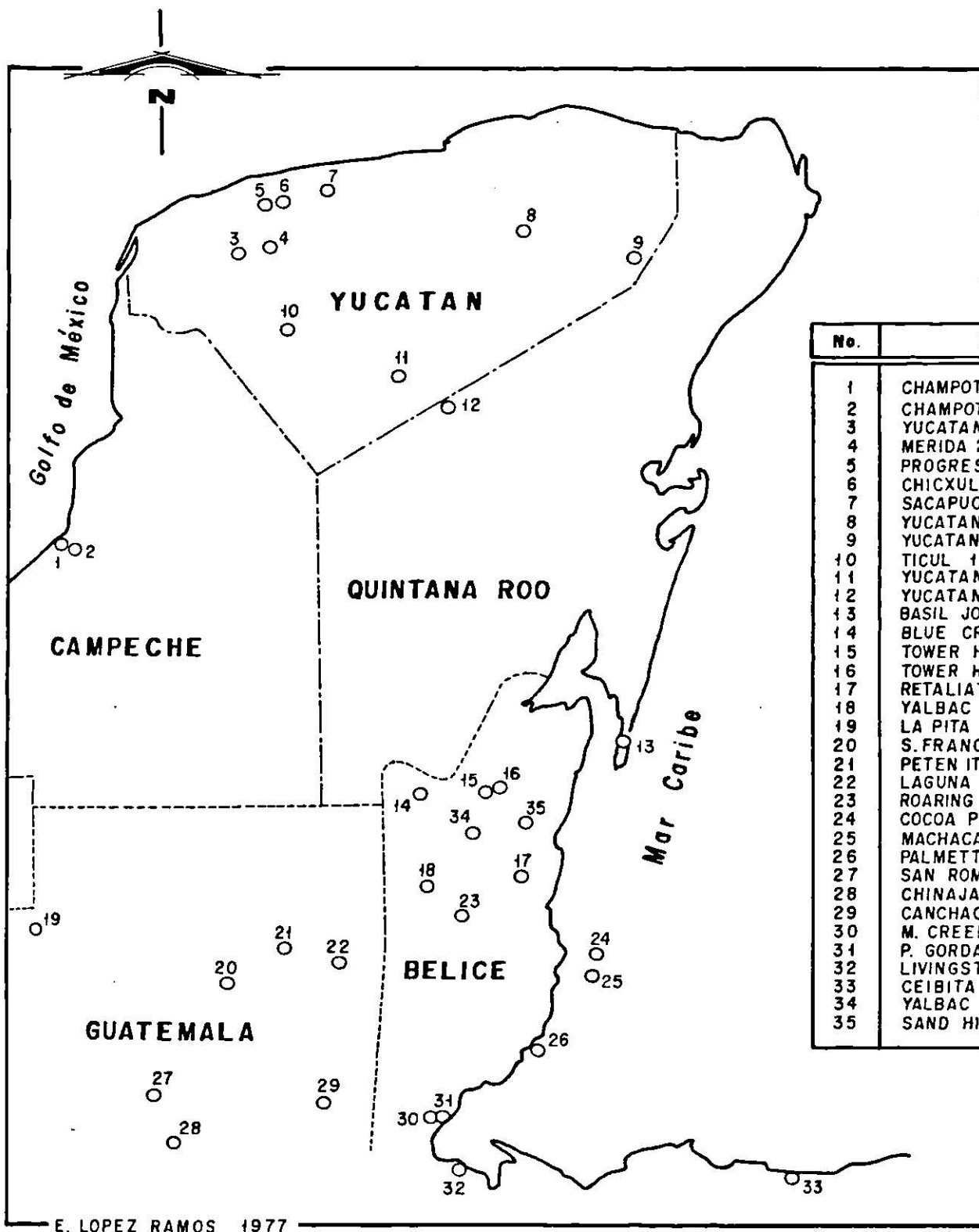
ISOCRONAS PARA EL ESTE DEL GOLFO



POSICION DEL BLOQUE YUCATAN POLO P3

TOMADO DE BUFFLER, R 1984

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ROTACION DE LA PENINSULA —	
— SEGUN SHEPHERD 1983	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya	1992 Fig. 3.1



No.	POZO
1	CHAMPOTON 2
2	CHAMPOTON 1
3	YUCATAN 6
4	MERIDA 2
5	PROGRESO 1
6	CHICXULUB 1
7	SACAPUC 1
8	YUCATAN 5A
9	YUCATAN 4
10	TICUL 1
11	YUCATAN 2
12	YUCATAN 1
13	BASIL JONES 1
14	BLUE CREEK 1
15	TOWER HILL 2
16	TOWER HILL 1
17	RETALIATON 1
18	YALBAC 1
19	LA PITA 1
20	S. FRANCISCO 1
21	PETEN ITZA 1
22	LAGUNA BLANCA 1
23	ROARING CREEK 1
24	COCOA PLUM CAY 1
25	MACHACA 1
26	PALMETTA CAY 1
27	SAN ROMAN 1
28	CHINAJA 1
29	CANCHACAN 1
30	M. CREEK 1
31	P. GORDA 1
32	LIVINGSTON 1
33	CEIBITA 1
34	YALBAC 1
35	SAND HILL 1

ESC. GRAFICA  
 0 50  
 Km

○ POZO PROFUNDO

<b>UASLP</b>	<b>AREA CIENCIAS DE LA TIERRA</b>
/// LOCALIZACION POZOS PROFUNDOS	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya	1992 Fig. 3.2

TICUL

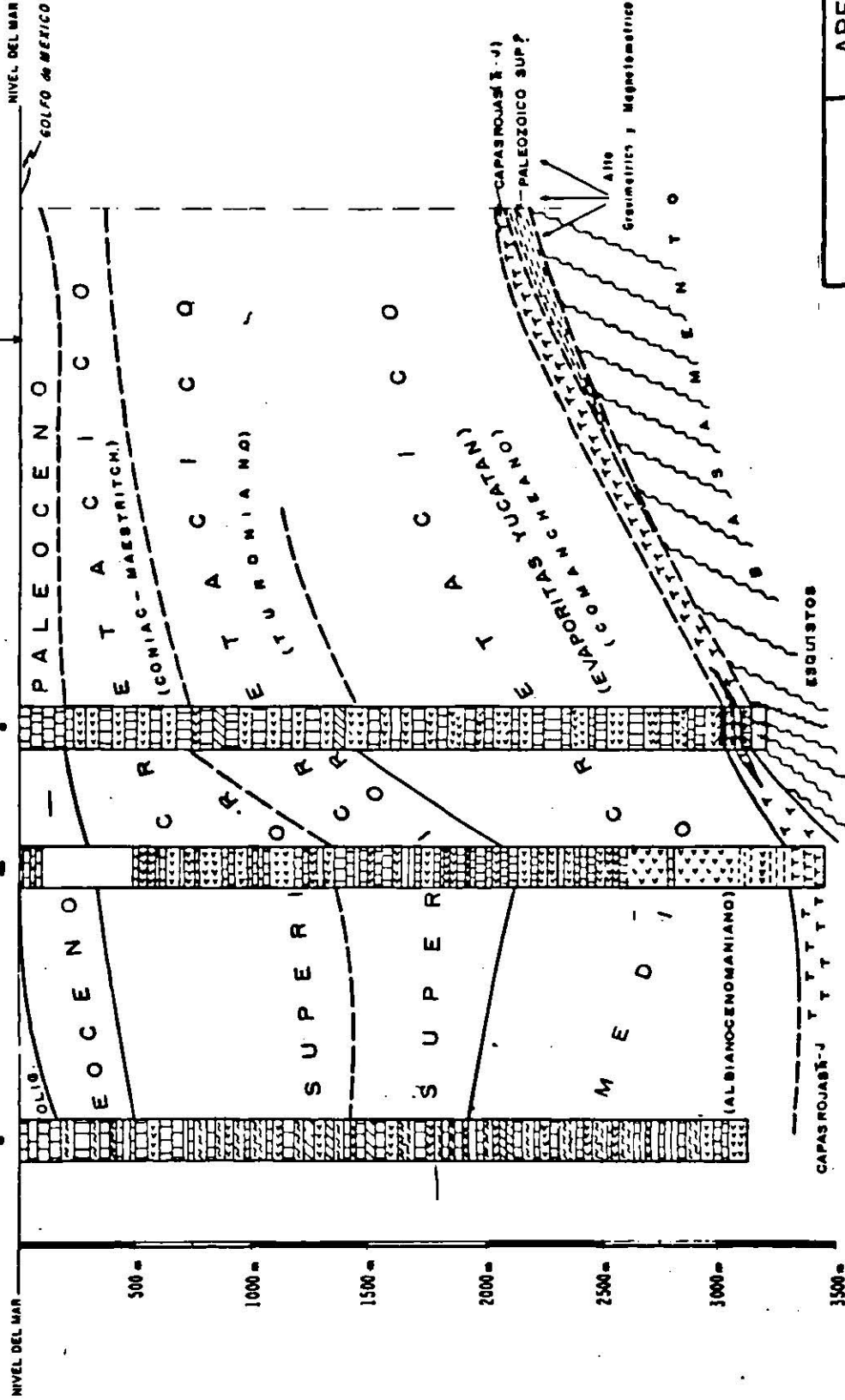
ELEV. 300.

YUCATAN

ELEV. 9700. ELEV. 2000.

SE

NW

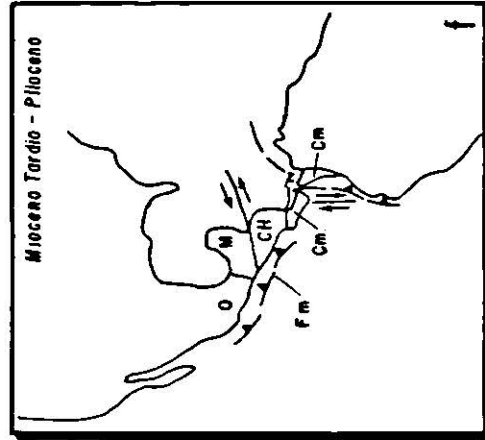
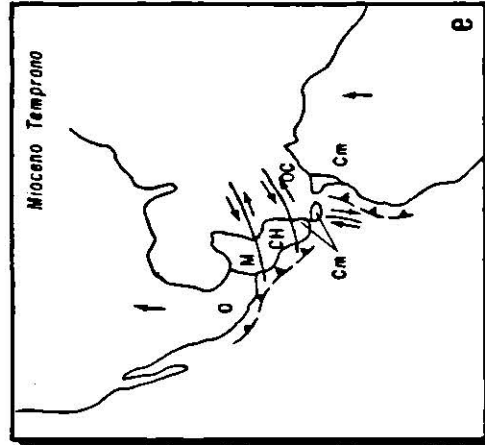
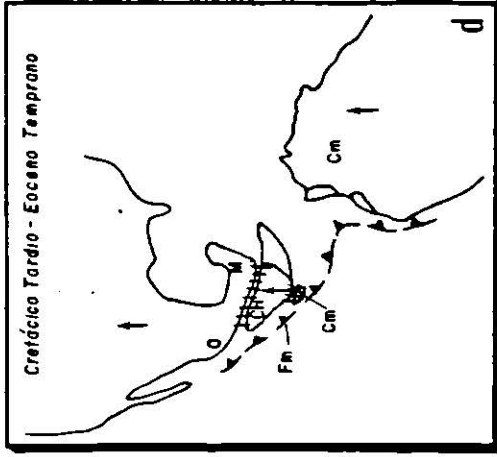
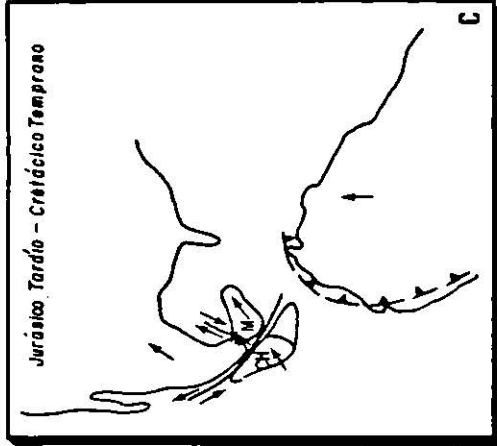
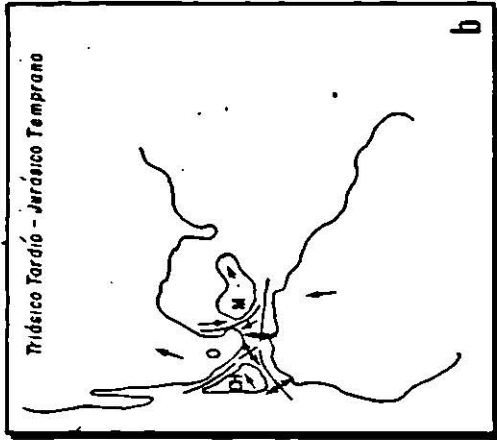
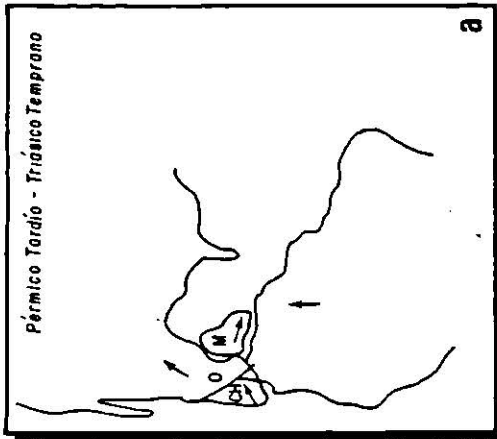


<b>UASLP</b>	<b>AREA</b> CIENCIAS DE LA TIERRA
	SECCION DE POZOS TICUL 1 Y YUCATAN 1 Y 2
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moyo 1992 Fig. 3.3	

**LEYENDA**

- CALIZA
- DOLOMIA
- MARGA
- LUTITA
- ARENISCA
- LIMOLITAS Y ARENISCAS
- ANHIDRITA Y YESO

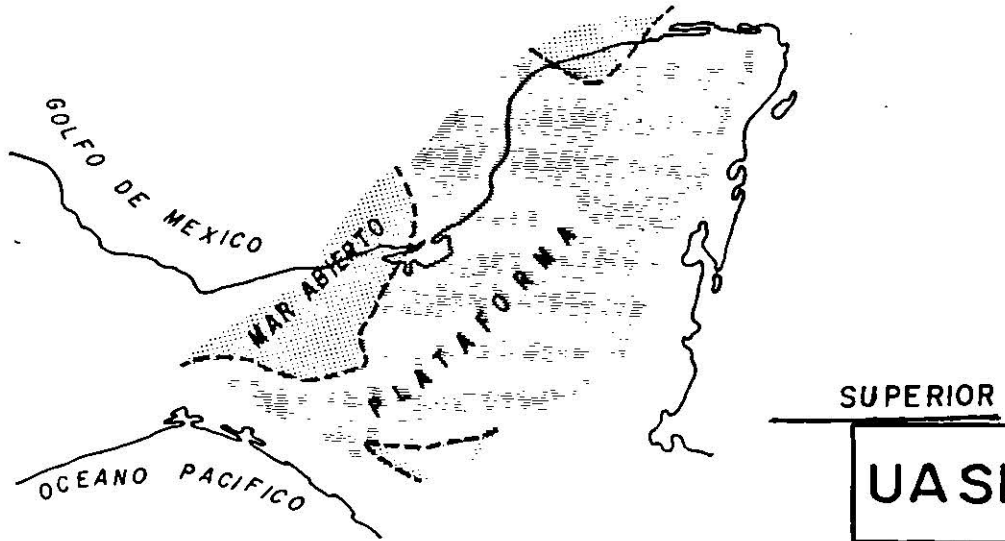
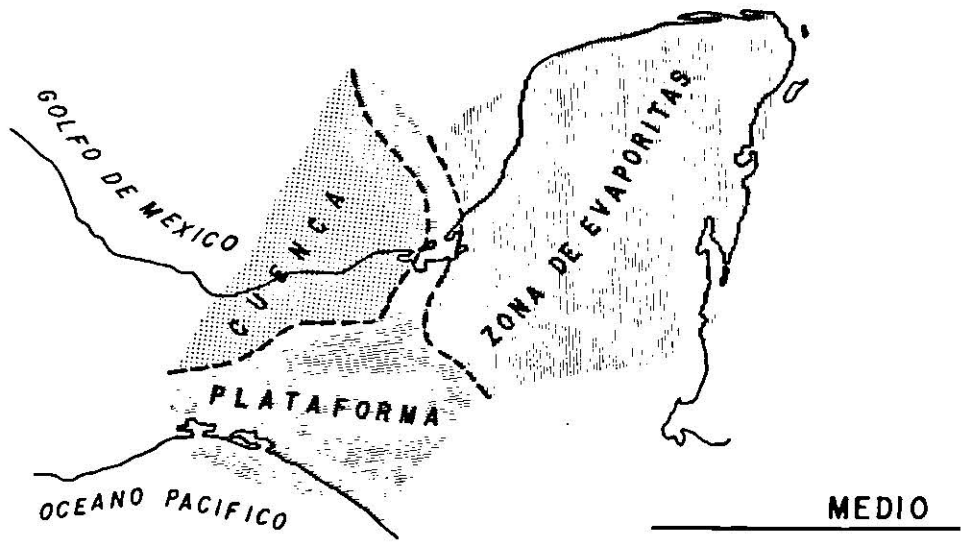
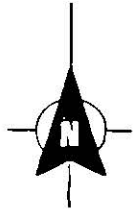
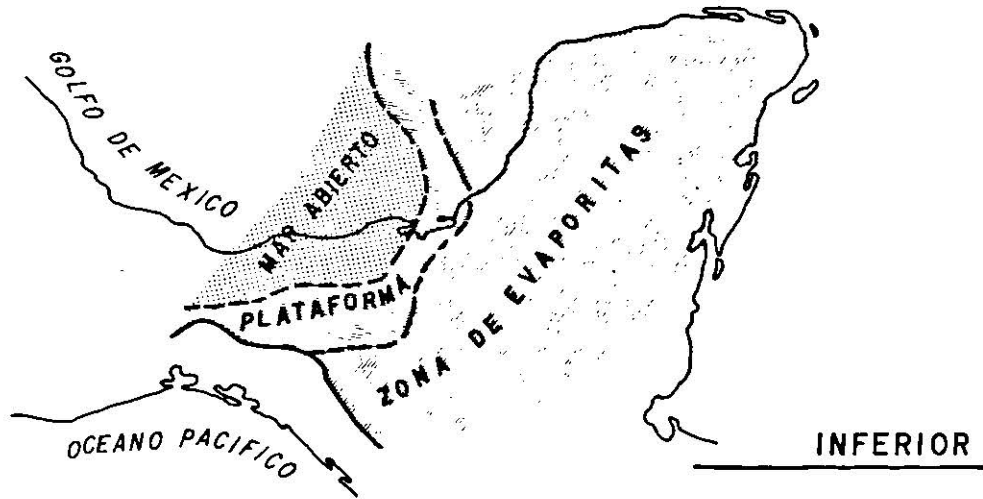
ING. E. LOPEZ RAMOS (1972-1973)



M-BLOQUE MAYA  
 O-BLOQUE OAXACA  
 CH-BLOQUE CHORTIS  
 CM-CUENCA MORELOS  
 FM-FOSA MESOAMERICANA

<b>UASLP</b>	<b>AREA CIENCIAS DE LA TIERRA</b>
EVOLUCION DE LA PENINSULA SEGUN SANCHEZ BARREDA 1981	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya	1992 Fig. 3.4

TOMADO DE GEOLOGIA DEL ESTADO DE CHIAPAS



ESCALA GRAFICA APROX.  
 0 100 200 300

**UASLP**

AREA  
 CIENCIAS  
 DE LA TIERRA

PALEO GEOGRAFIA DEL CRETACICO

TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberto Ramírez Moya | 1992 | Fig. 3.5



BARRENO EXPLORATORIO No. 1

PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCION LITOLÓGICA
DE:	A:	
.0	9.5	BIOMICRITA DE COLOR CREMA BLANQUECINA, - COMPACTA.
9.5	28.5	BIOMICRITA DE TEXTURA SACAROIDE, BLANQUE- CINA, CON IMPREGNACIONES DE ARENISCA DE - GRANO FINO FOSILIFERA.
28.5	31.5	MICRITA COLOR CAFE A CREMA, DELEZNABLE.
31.5	38.0	MICRITA DE COLOR BLANCO Y COMPACTA.
38.0	40.5	BIOMICRITA DE COLOR CREMA BLANQUECINA Y COMPACTA.
40.5	43.5	MICRITA COLOR CAFE A CREMA, DELEZNABLE.
43.5	62.0	BIOMICRITA COLOR CREMA-BLANQUECINA Y COM PACTA.

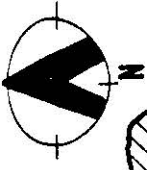
BARRENO EXPLORATORIO No. 2

PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCION LITOLOGICA
DE:	A:	
.0	2.5	FRAGMENTOS DE CALIZA EMPACADOS EN ARENA.
2.5	38.5	CALCARENITA COMPACTA DE COLOR BLANCO FOSILIFERA.
38.5	39.5	CALCARENITA FOSILIFERA, COLOR PARDO-CREMA COMPACTA
39.5	40.0	CALCARENITA BLANCA DELEZNABLE.
40.0	42.0	BIOPELMICRITA COLOR PARDO CLARO, COMPACTA.
42.0	47.0	MICRITA POCO FOSILIFERA.
47.0	59.1	CALCARENITA FOSILIFERA, GRANO MEDIO, COLOR BLANCO CON INTERCALACIONES DE CALCARENITA DE GRANO MUY FINO.
59.1	60.0	MICRITA COLOR GRIS COMPACTA.

BARRENO EXPLORATORIO No. 3

PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCION LITOLOGICA
DE:	A:	
.0	4.9	BIOMICRITA COMPACTA DE COLOR PARDO CREMA, CON INTRACLASTOS Y PELLETS.
4.9	6.0	CAVERNA.
6.0	36.2	ALTERNANCIA DE CALCARENITA DE COLOR BLANCO, COMPACTA, FOSILIFERA Y ARENAS CALCA--REAS.
36.2	56.9	CALCARENITA DE GRANO FINO, COLOR BLANCO, COMPACTA Y FOSILIFERA. EXISTE UNA CAVERNA DE 48.00 A 48.5 m.
56.9	61.0	MICRITA COLOR GRIS CLARO A GRIS VERDOSO, - POCO FOSILIFERA Y SEMICOMPACTA.
61.0	62.0	BIOMICRITA COMPACTA COLOR GRIS CLARO.



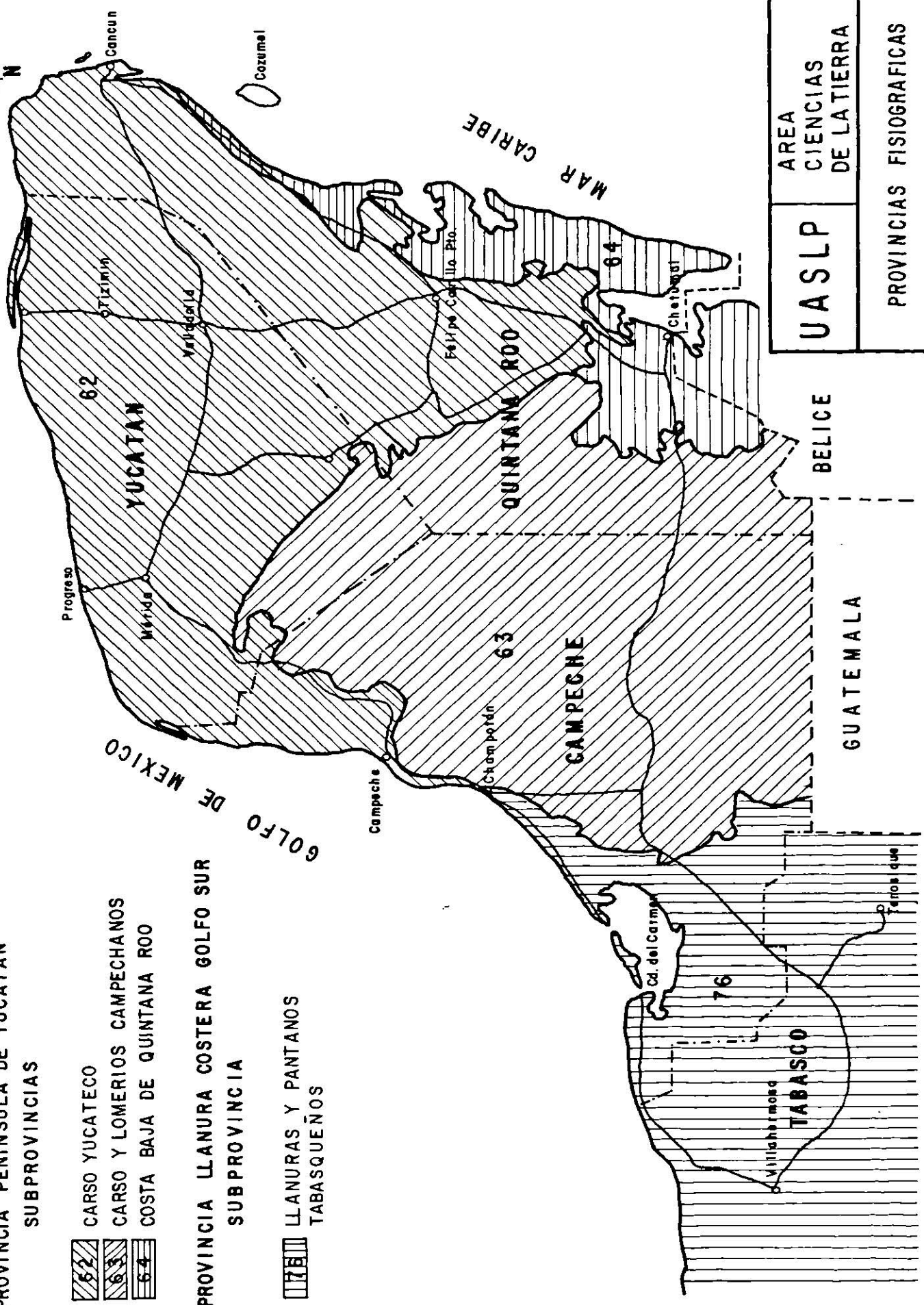


PROVINCIA PENINSULA DE YUCATAN  
SUBPROVINCIAS

- 62 CARSO YUCATECO
- 63 CARSO Y LOMERIOS CAMPECHANOS
- 64 COSTA BAJA DE QUINTANA ROO

PROVINCIA LLANURA COSTERA GOLFO SUR  
SUBPROVINCIA

- 76 LLANURAS Y PANTANOS TABASQUEÑOS



UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 3.6	

# SIMBOLOGIA

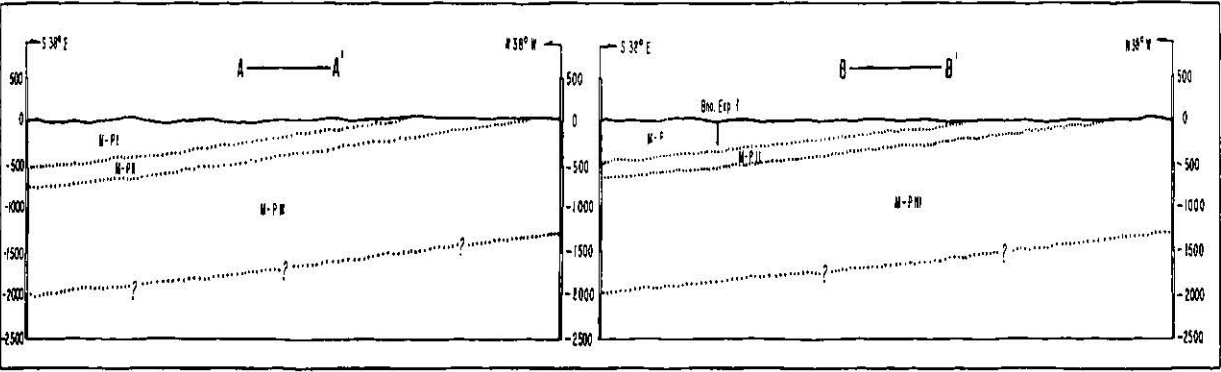
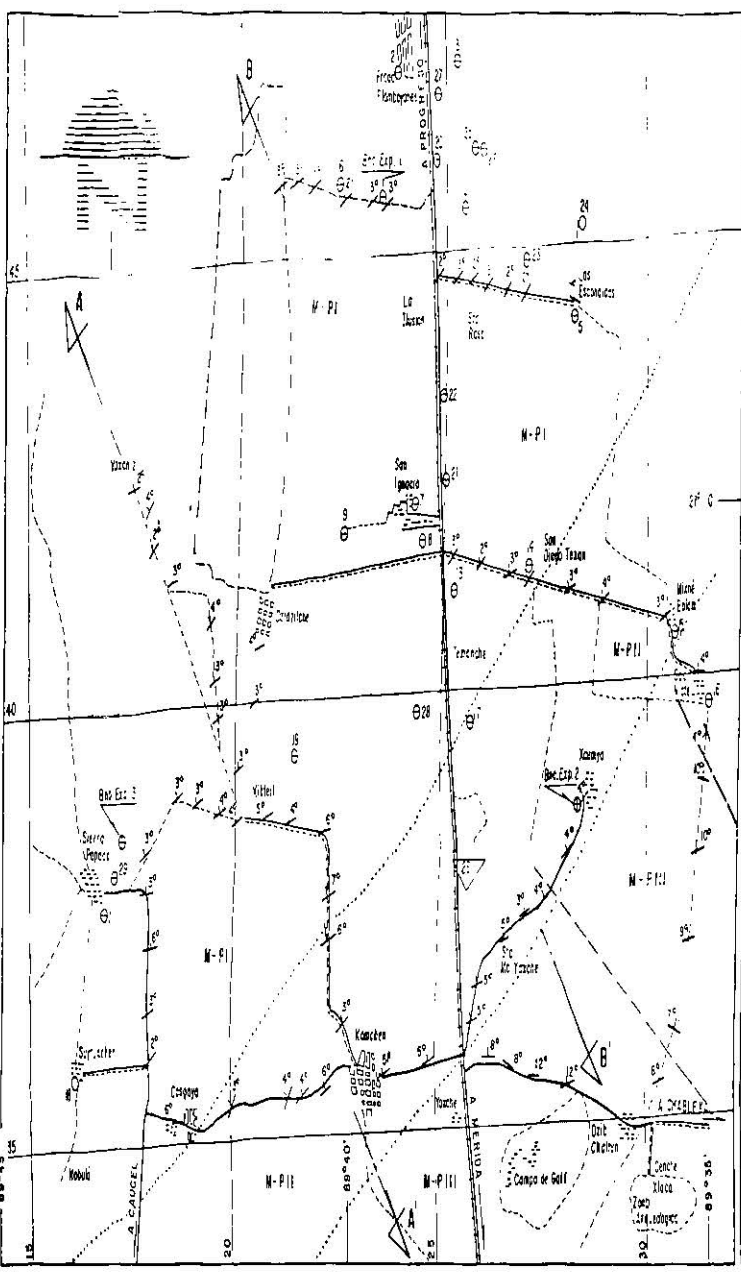
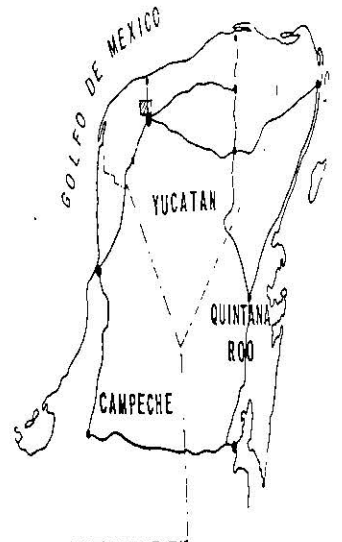
## GEOLOGICA

- M-O** MIOCENO
  - M-Pi** PLOCEENO
  - M-PiI** PUEERTO
  - M-PiII** PUEERTO
  - M-PiIV** PUEERTO
  - M-PiV** PUEERTO
- M-PiI** CALIZA BIOMORFA, TEXTURA MASICADA, POCO POROSA DE COLOR CREMA; CONTACTO Y POCO CARSO SUPERFICIAL.
  - M-PiII** MICRITAS Y BIGNONITAS CON REGISTRALIZACION DE COLOR CREMA A CAFE CON TONALIDADES ROSADAS, DURA Y COMPACTA.
  - M-PiIV** CALIZA REGISTRALIZADA, GRANULAR LUSA Y CALIZA POCO DOLEMITIZADA DE COLOR CREMA A CAFE CLARO CON TONALIDADES ROSADAS COMPACTAS.
- CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO
  - RUMBO Y ECHADO
  - LINEA DE SECCION
  - ⊖** CENOTE
  - FRACTURA
  - ⊕** BND. EXPLORATORIO

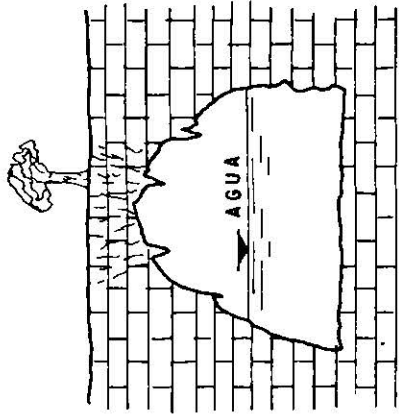
## TOPOGRAFICA

- VIA DE FERROCARRIL
- CARRETERA PAVIMENTADA
- CARRETERA TERRAZGADA
- ZONA URBANA
- ☼☼☼** FORRALGO
- ▽261** NO DE CARRETERA FEDERAL

## LOCALIZACION

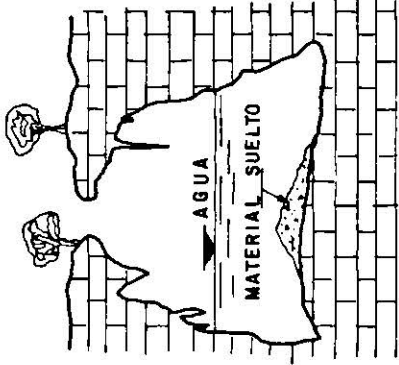


UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
	CROQUIS GEOLOGICO
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramirez Mayo 1992 Fig. 3.7	



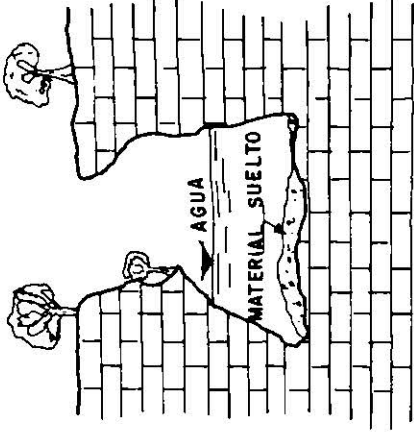
FASE A

CAVERNA ABOVEDADA CUYO  
TECHO NO HA CAIDO.



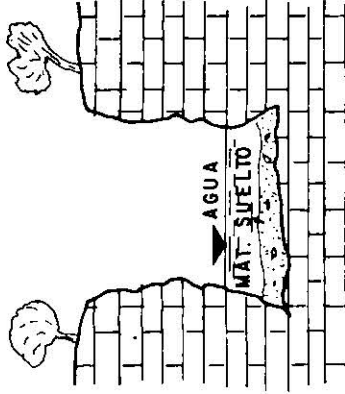
FASE B

PERIODO POSTERIOR, EN EL QUE  
LA MITAD DE LA BOVEDA SE  
HA DESPLOMADO YA.



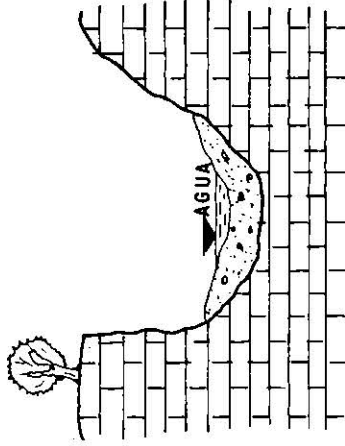
FASE C

LA MAYOR PARTE DEL TECHO  
HA CAIDO, QUEDANDO AUN UNA  
PEQUEÑA PARTE.



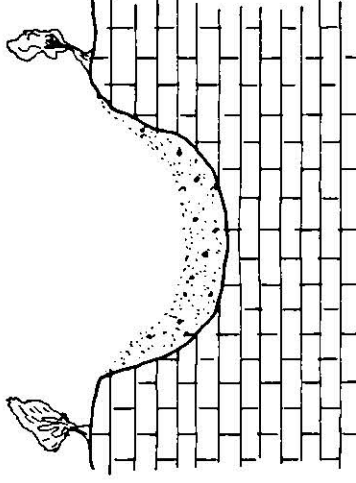
FASE D

CENOTE TIPOICO DE PAREDES  
VERTICALES.



FASE E

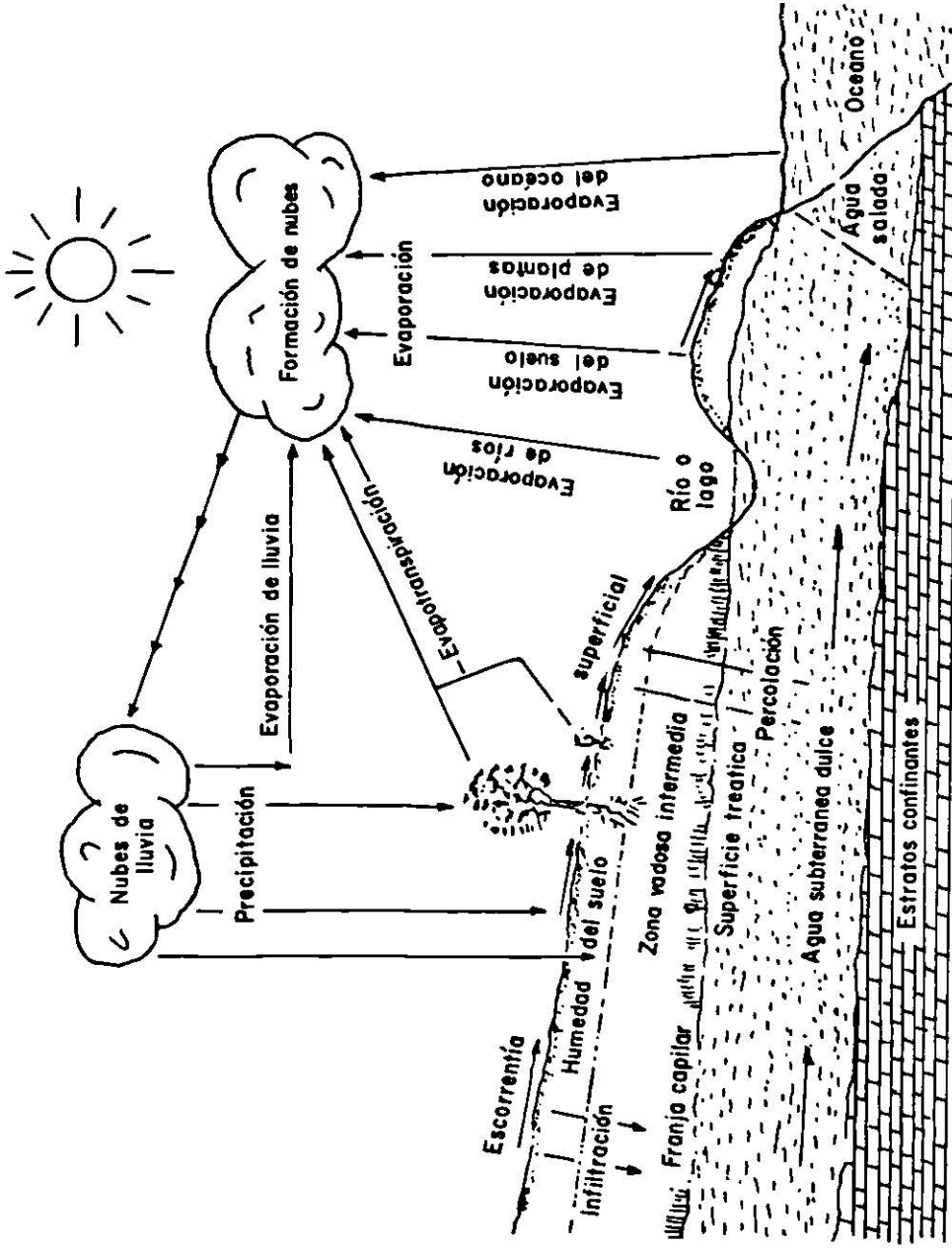
UN ANTIGUO CENOTE Ó "AGUADA"  
CON MANIFESTACION DE AGUA  
EN EL CENTRO.



FASE F

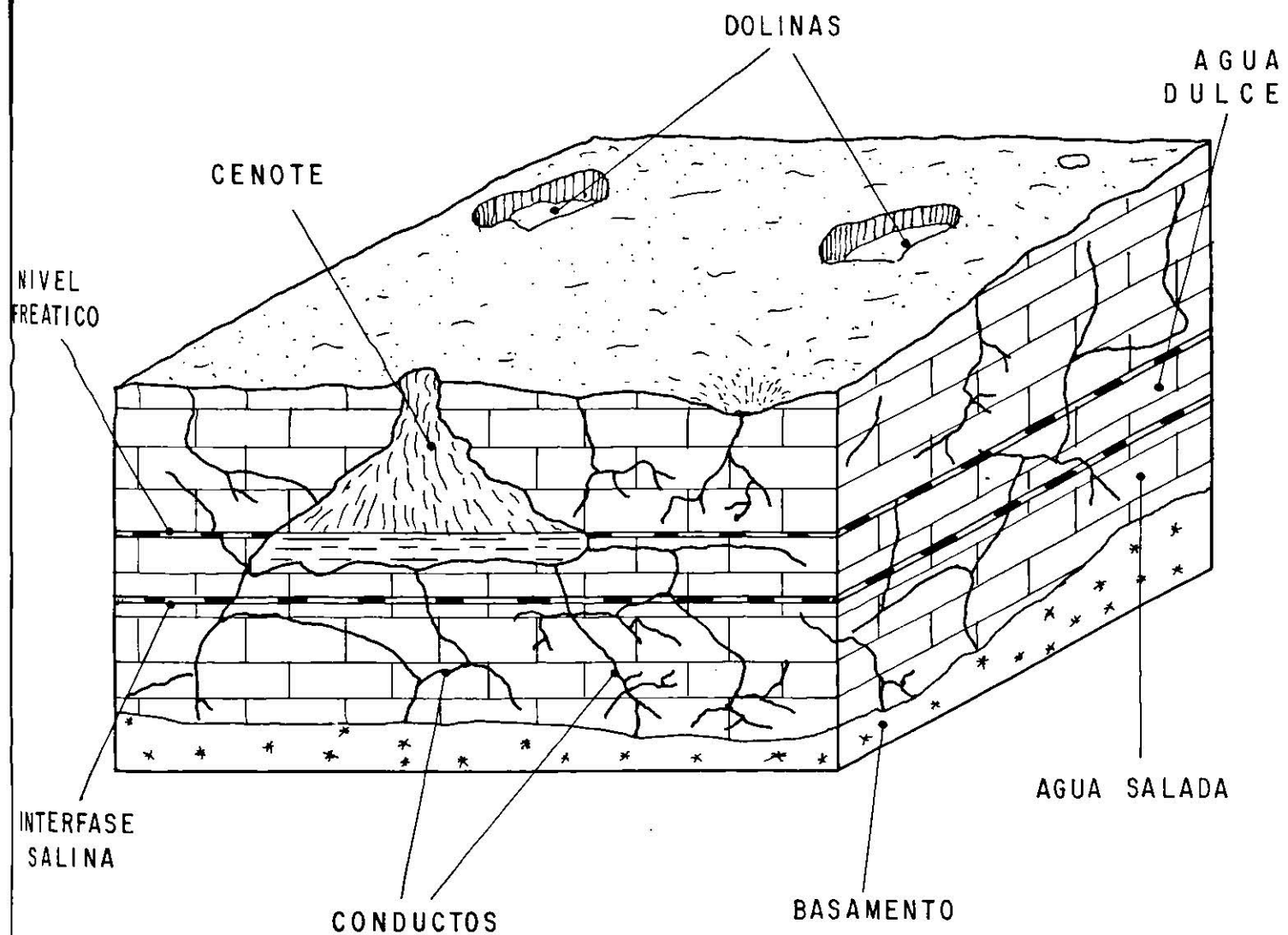
ANTIGUO CENOTE Ó "REJOLLADA"  
EN FORMA DE CALDERA.

UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ETAPAS GEOMORFICAS DE LOS CENOTES	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya   1992   Fig. 3.8	

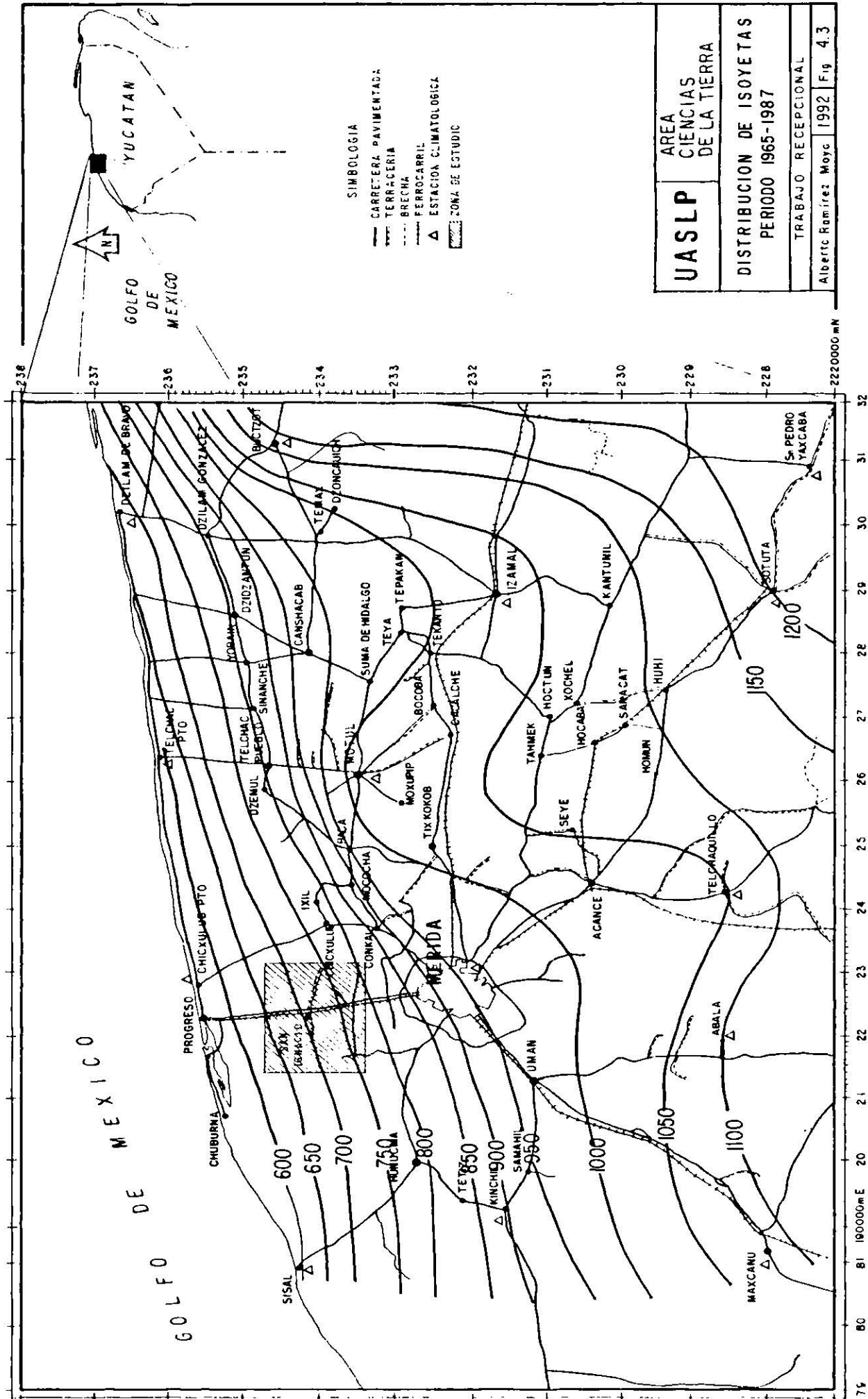


<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
CICLO HIDROLOGICO	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya 1992 Fig. 4.1	





UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
MARCO HIDROGEOLOGICO	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya	1992 Fig. 4.2



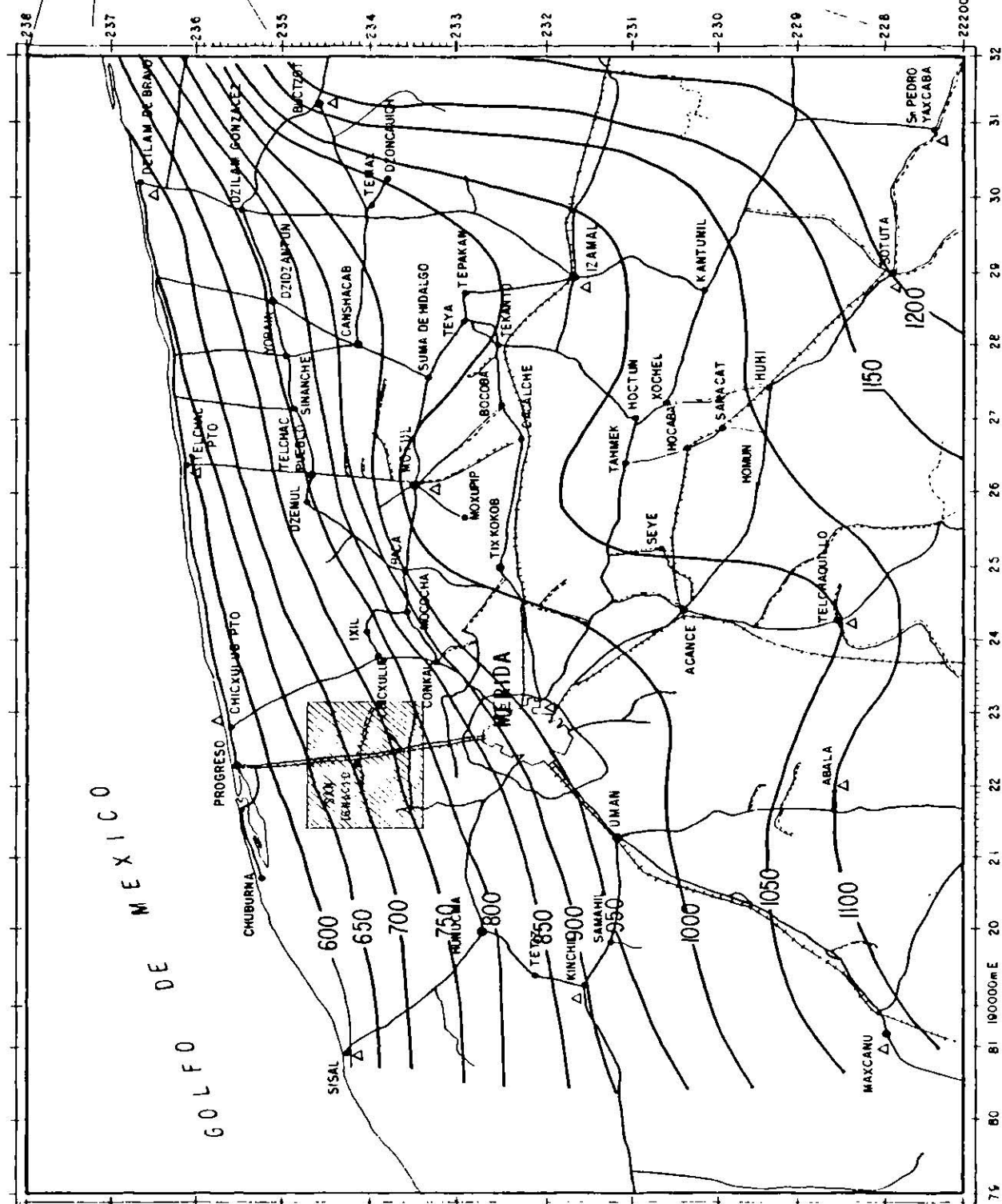
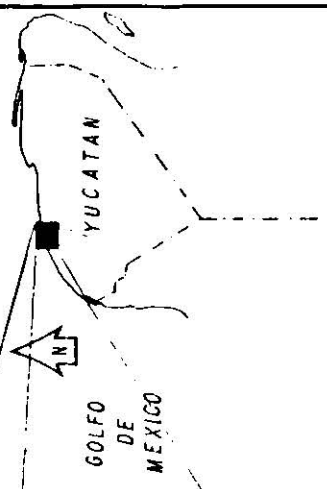
**UASLP** AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

**DISTRIBUCION DE ISOYETAS PERIODO 1965-1987**

TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberic Ramirez Moyc 1992 Fig 4.3

- SIMBOLOGIA**
- CARRETERA PAVIMENTADA
  - TERRACERIA
  - - - - BRECNA
  - FERROCARRIL
  - △ ESTACION CLIMATOLOGICA
  - ▭ ZONA DE ESTUDIO

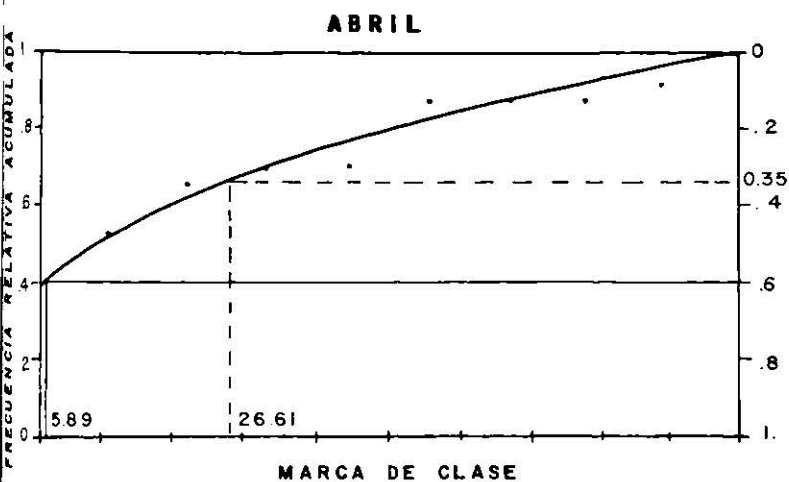
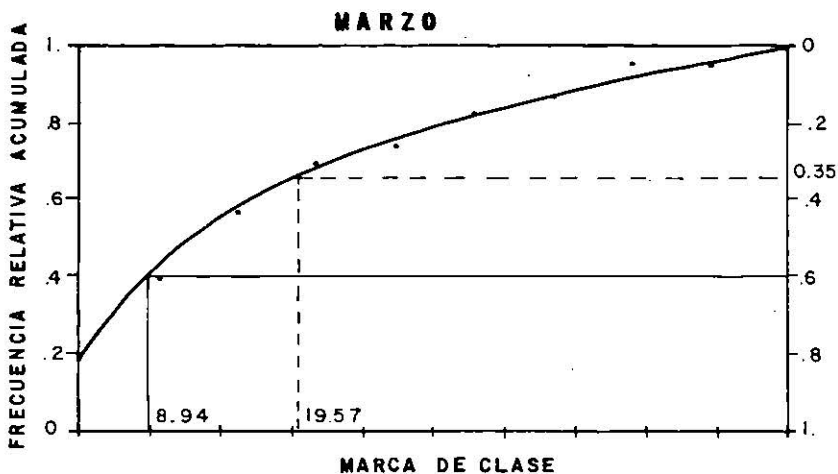
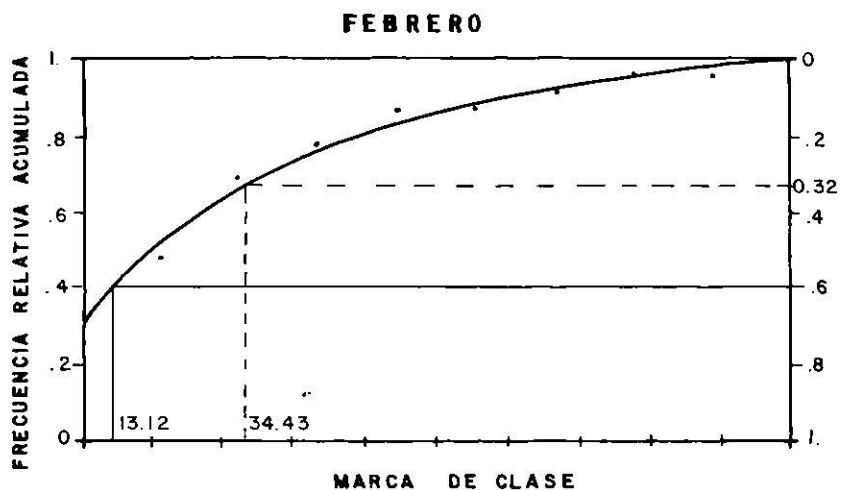
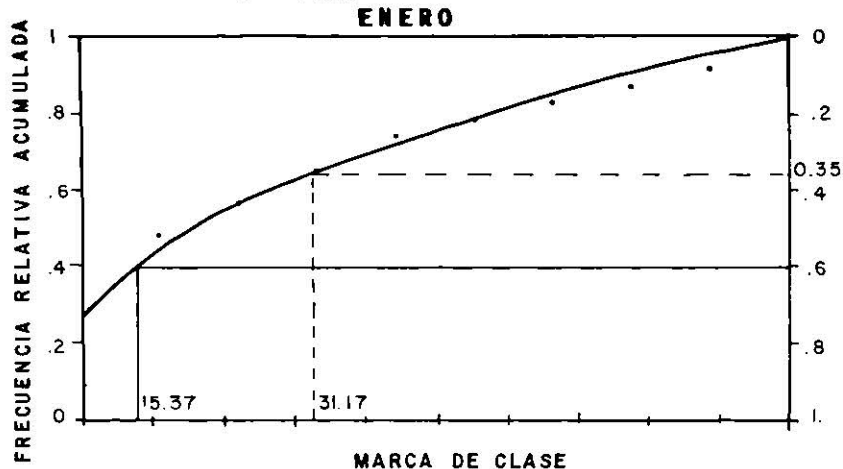


238  
237  
236  
235  
234  
233  
232  
231  
230  
229  
228

20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

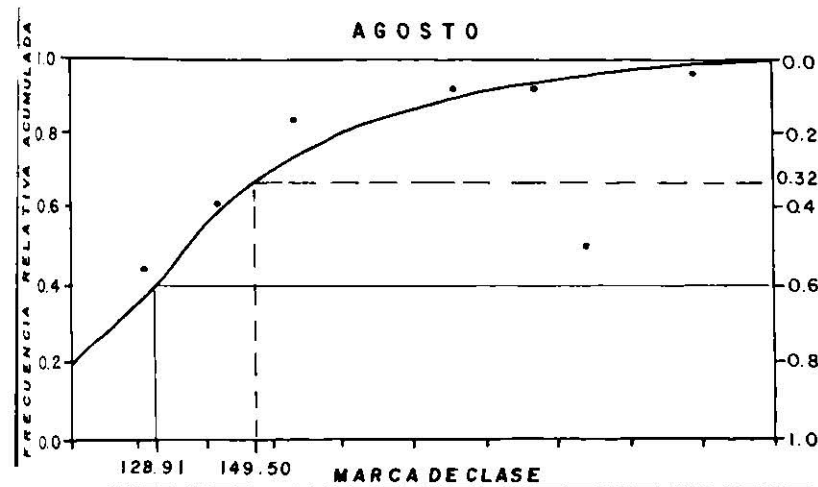
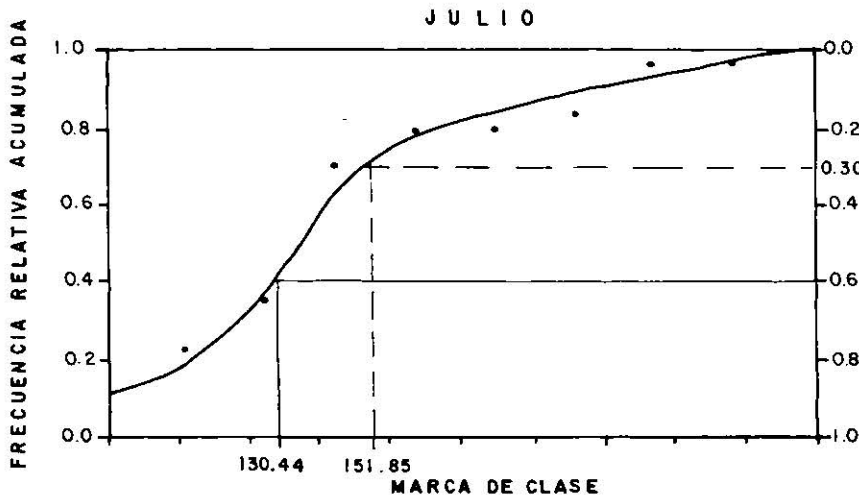
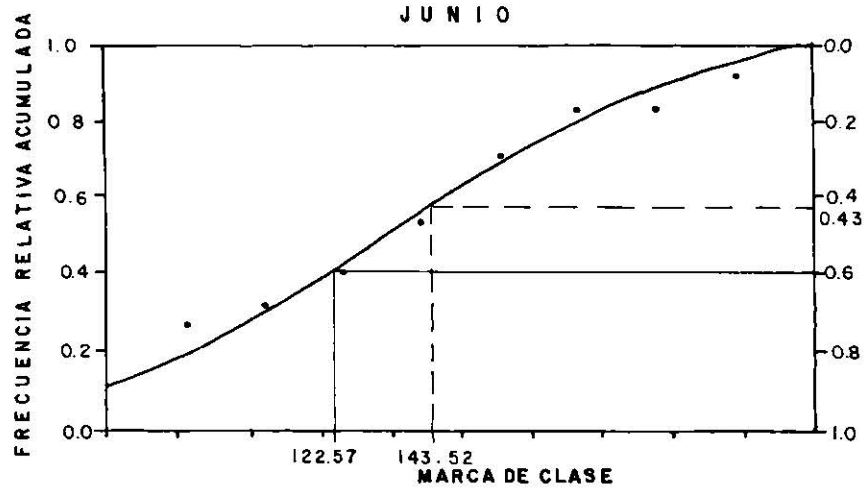
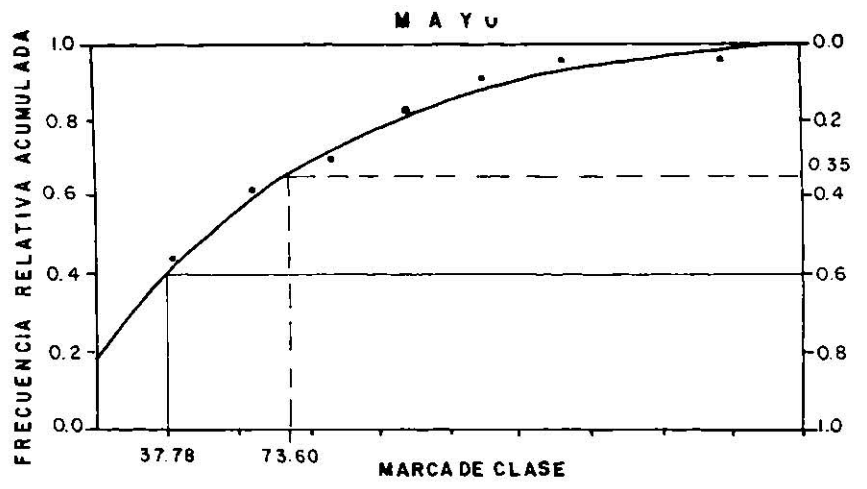
75 80 81 1900000E

2220000 MN



— VALOR MEDIO  
 - - - VALOR CON PROBABILIDAD DE 0.60

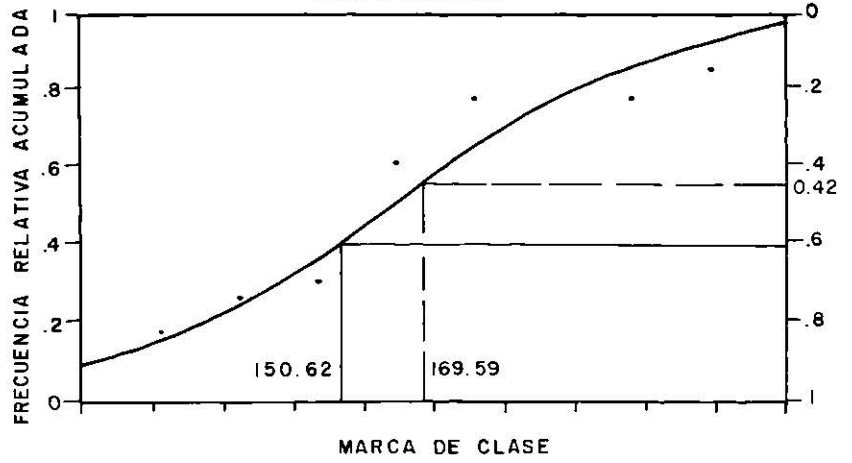
<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
<b>DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE PRECIPITACION</b>	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramirez Moya	1992 Fig. 4.4



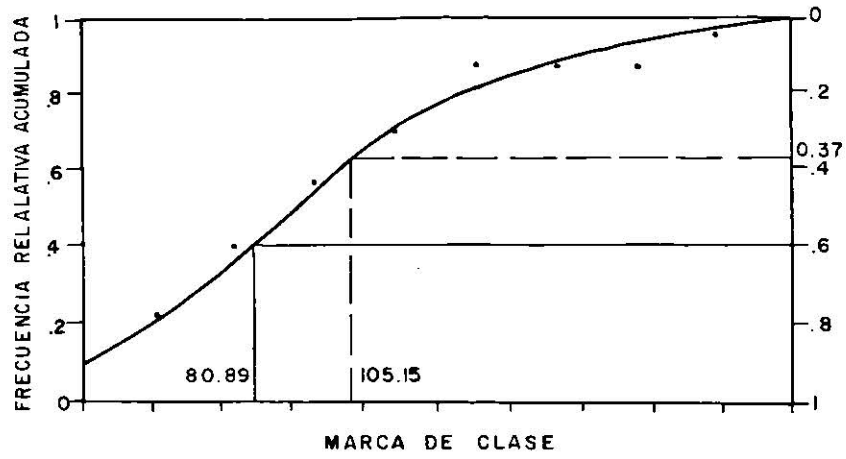
— VALOR MEDIO  
 - - - VALOR CON PROBABILIDAD DE 0.60

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
<b>DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS DE PRECIPITACION</b>	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramirez Moya	1992 Fig. 4.5

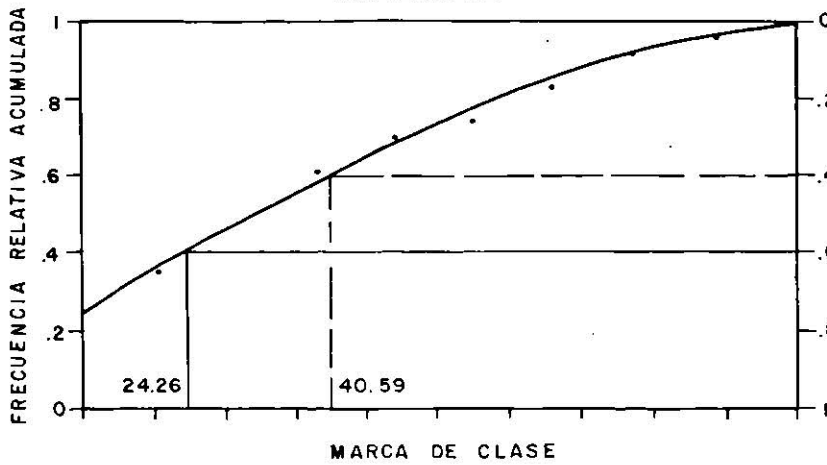
**SEPTIEMBRE**



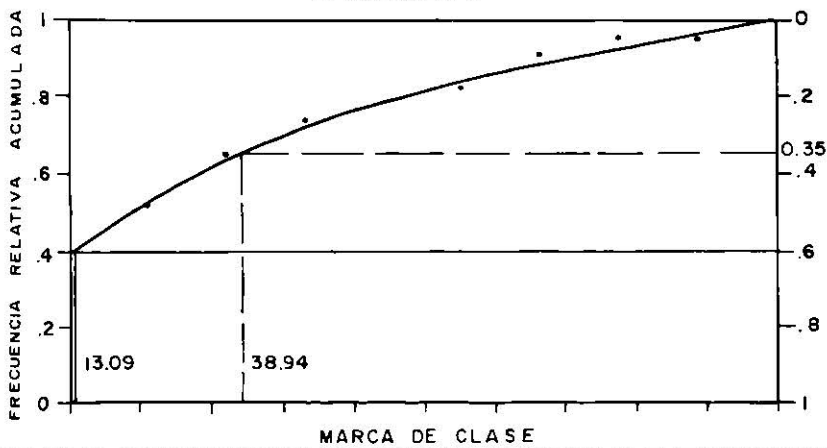
**OCTUBRE**



**NOVIEMBRE**



**DICIEMBRE**



— VALOR MEDIO  
 - - - VALOR CON PROBABILIDAD DE 0.60

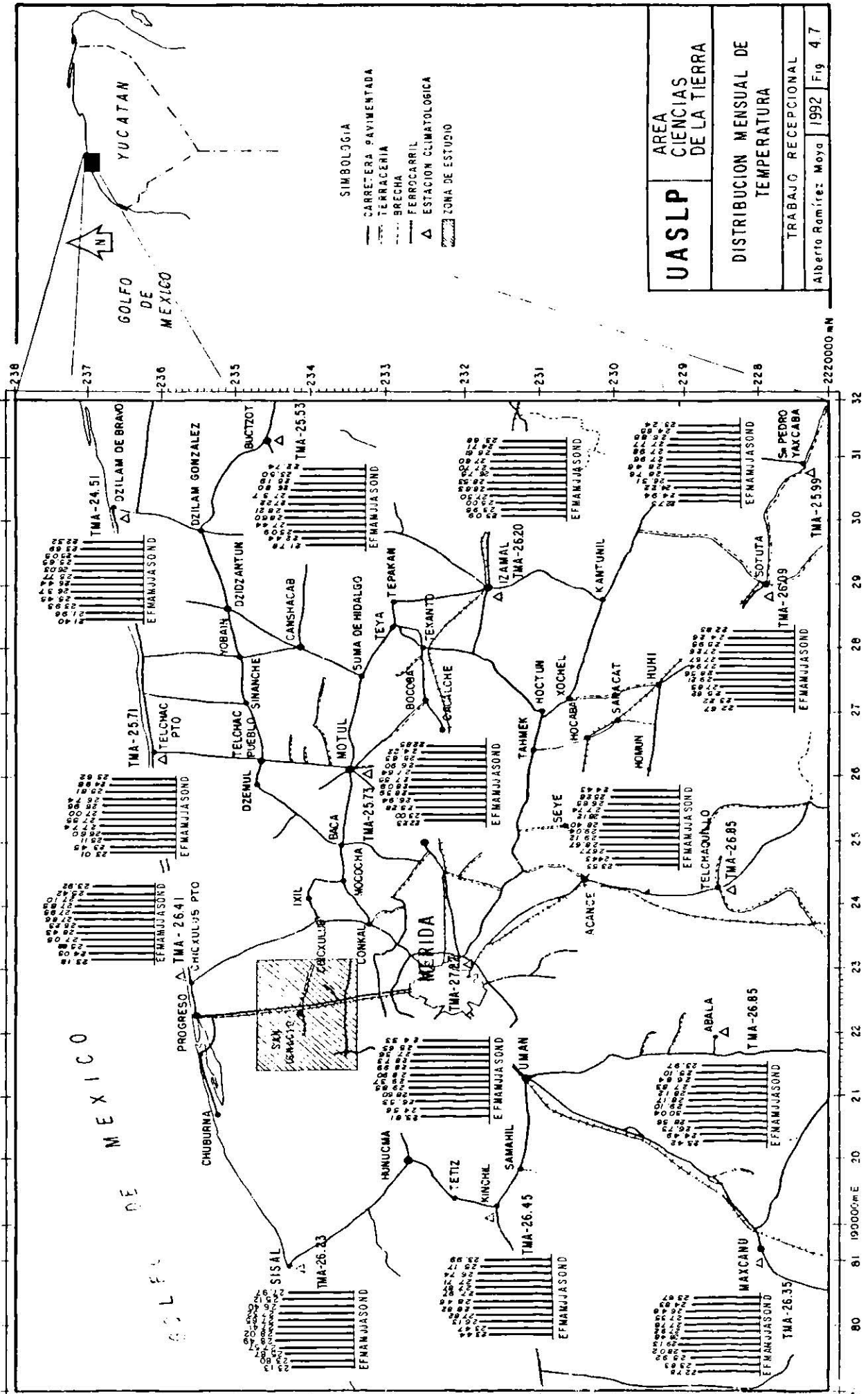
**UASLP**

AREA  
 CIENCIAS  
 DE LA TIERRA

**DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS  
 DE PRECIPITACION**

TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberto Ramirez Moya | 1992 | Fig. 4.6



**UASLP** AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

DISTRIBUCION MENSUAL DE TEMPERATURA

TRABAJO RECEPTIONAL 1992 Fig 4.7

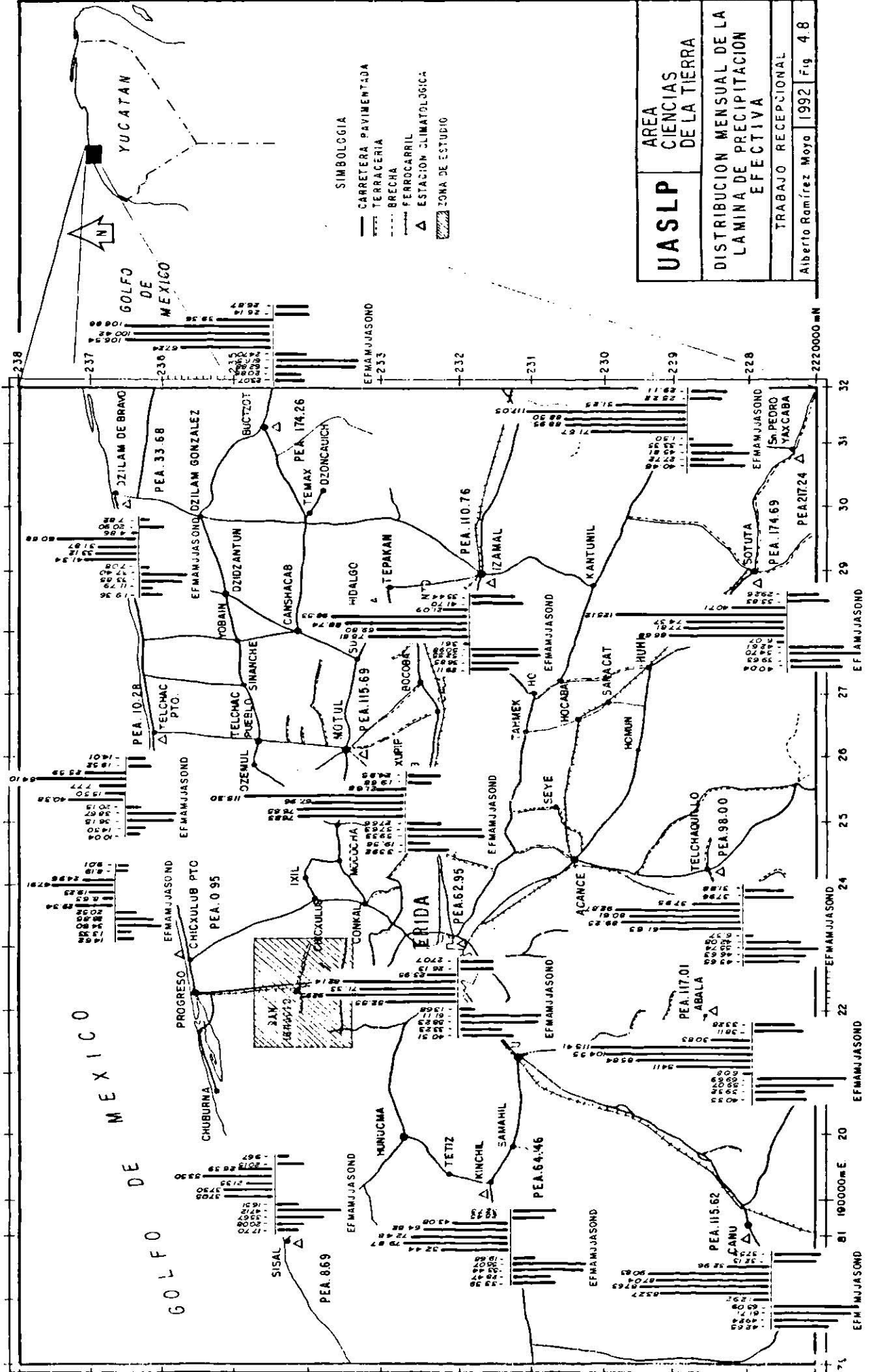
Alberto Ramirez Moya

- SIMBOLOGIA**
- CARRETERA PAVIMENTADA
  - TERRACERIA
  - - - BRECHA
  - FERROCARRIL
  - △ ESTACION CLIMATOLÓGICA
  - ▨ ZONA DE ESTUDIO

238  
237  
236  
235  
234  
233  
232  
231  
230  
229  
228

80 81 1900000W E 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

2220000 MN

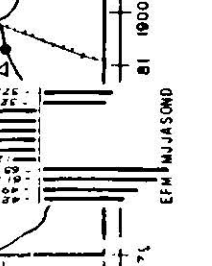
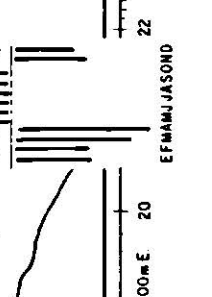
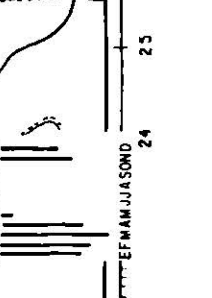
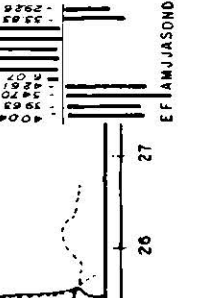
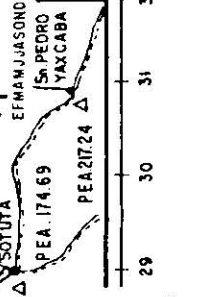
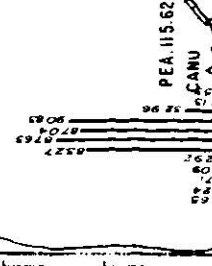
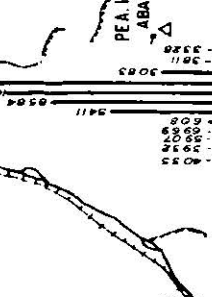
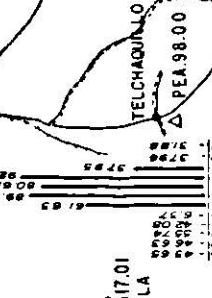
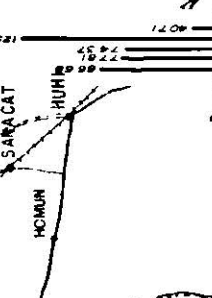
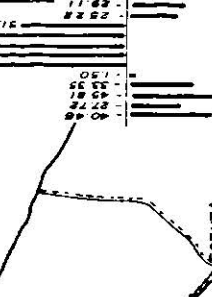
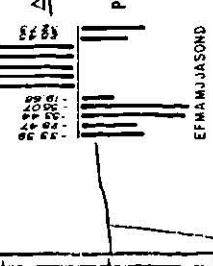
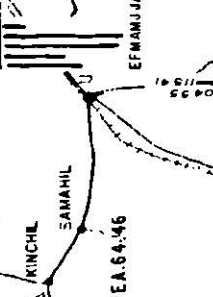
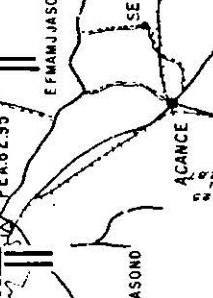
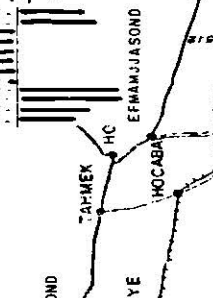
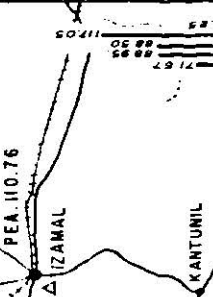
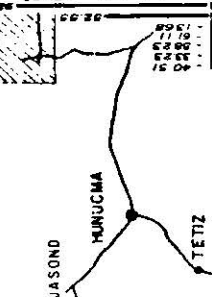
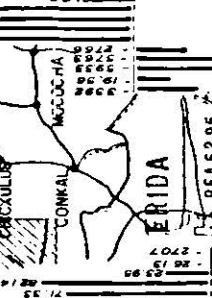
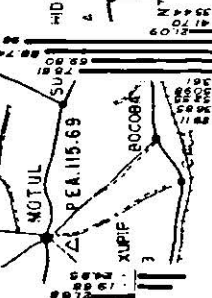
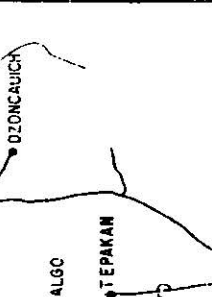
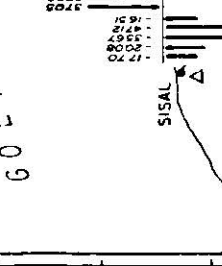
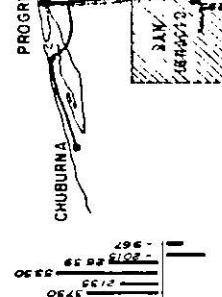
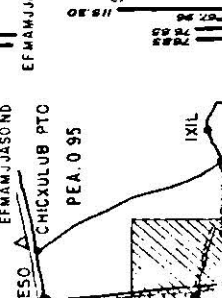
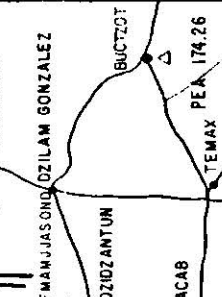
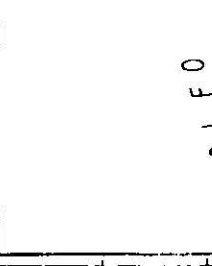
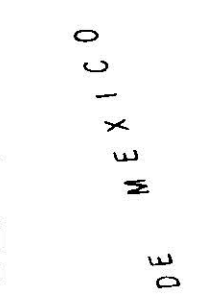
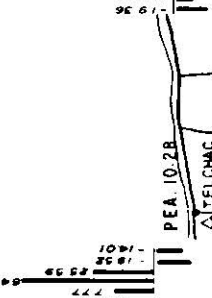
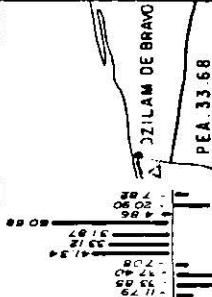
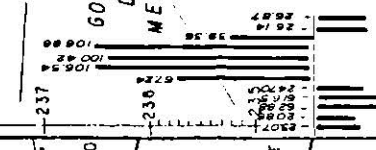
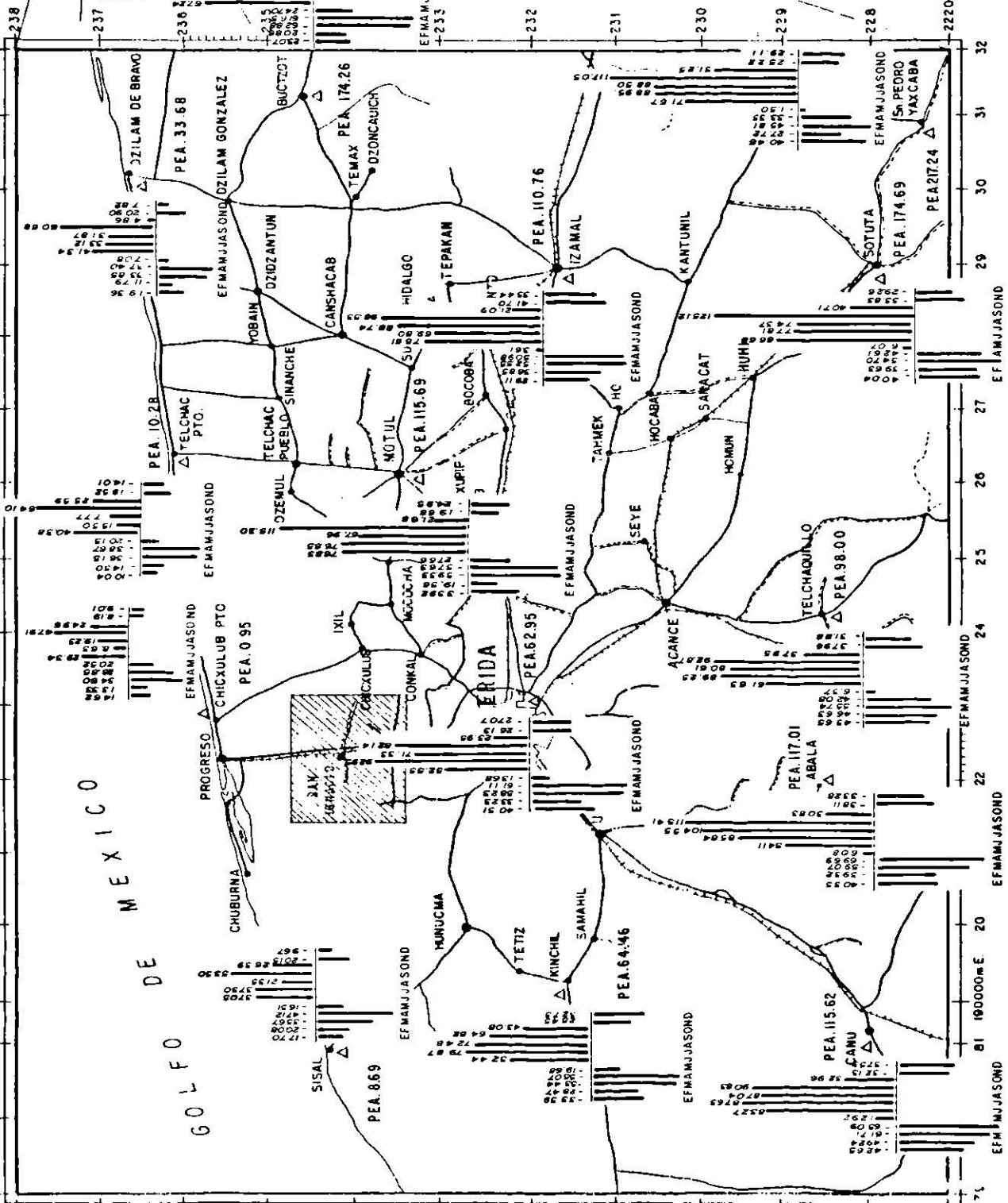


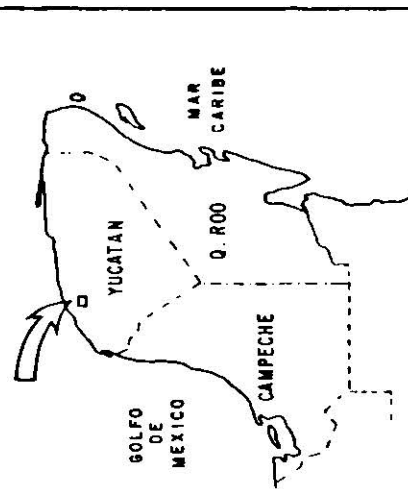
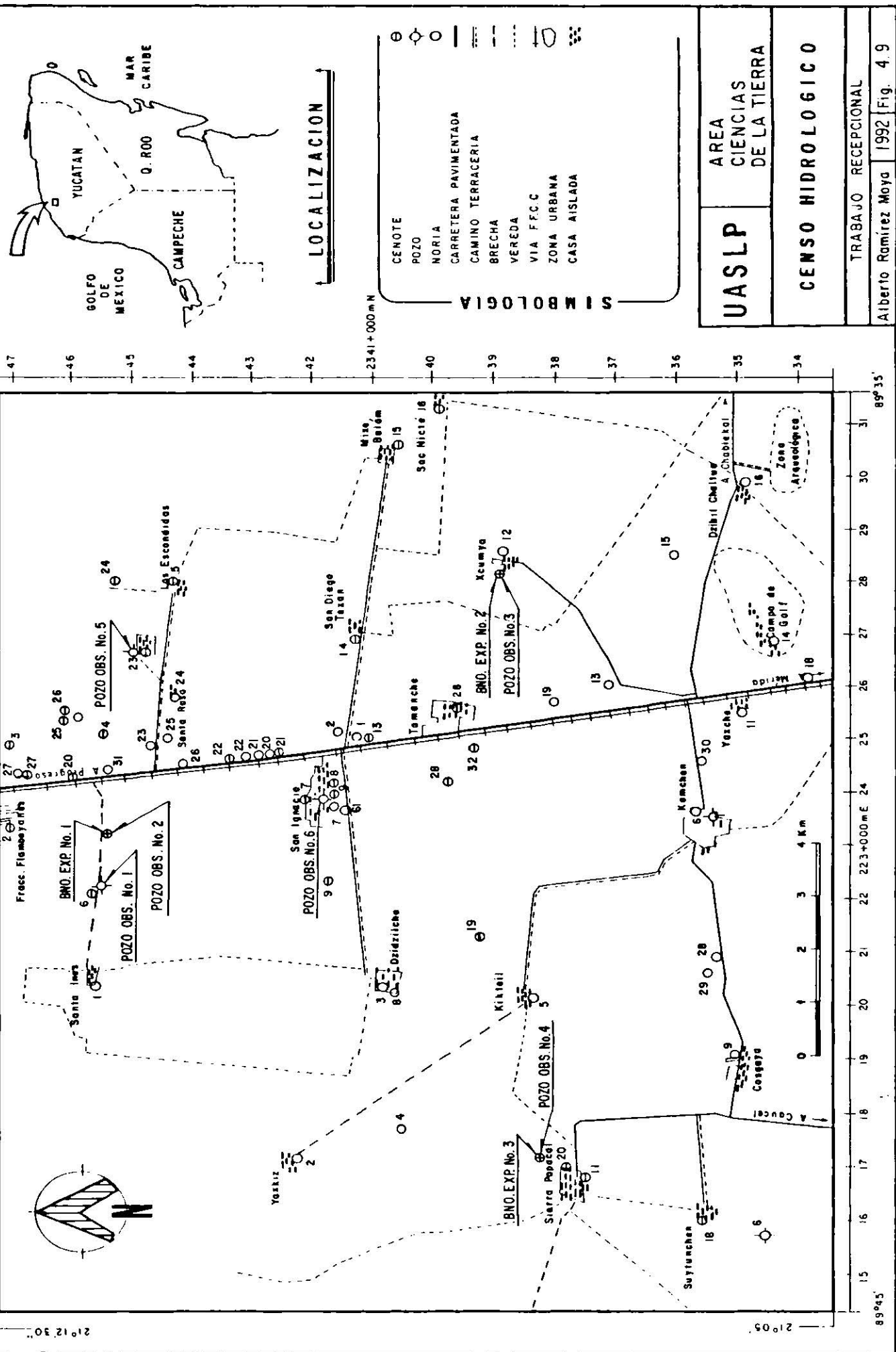
**UASLP**  
**AREA**  
**CIENCIAS**  
**DE LA TIERRA**

**DISTRIBUCION MENSUAL DE LA**  
**LAMINA DE PRECIPITACION**  
**EFECTIVA**

TRABAJO Ramírez Moyo | 1992 | Fig. 4.8

- SIMBOLOGIA**
- CARRETERA PAVIMENTADA
  - TERRACERIA
  - - - BRECHA
  - - - FERROCARRIL
  - △ ESTACION CLIMATOLÓGICA
  - ▨ ZONA DE ESTUDIO



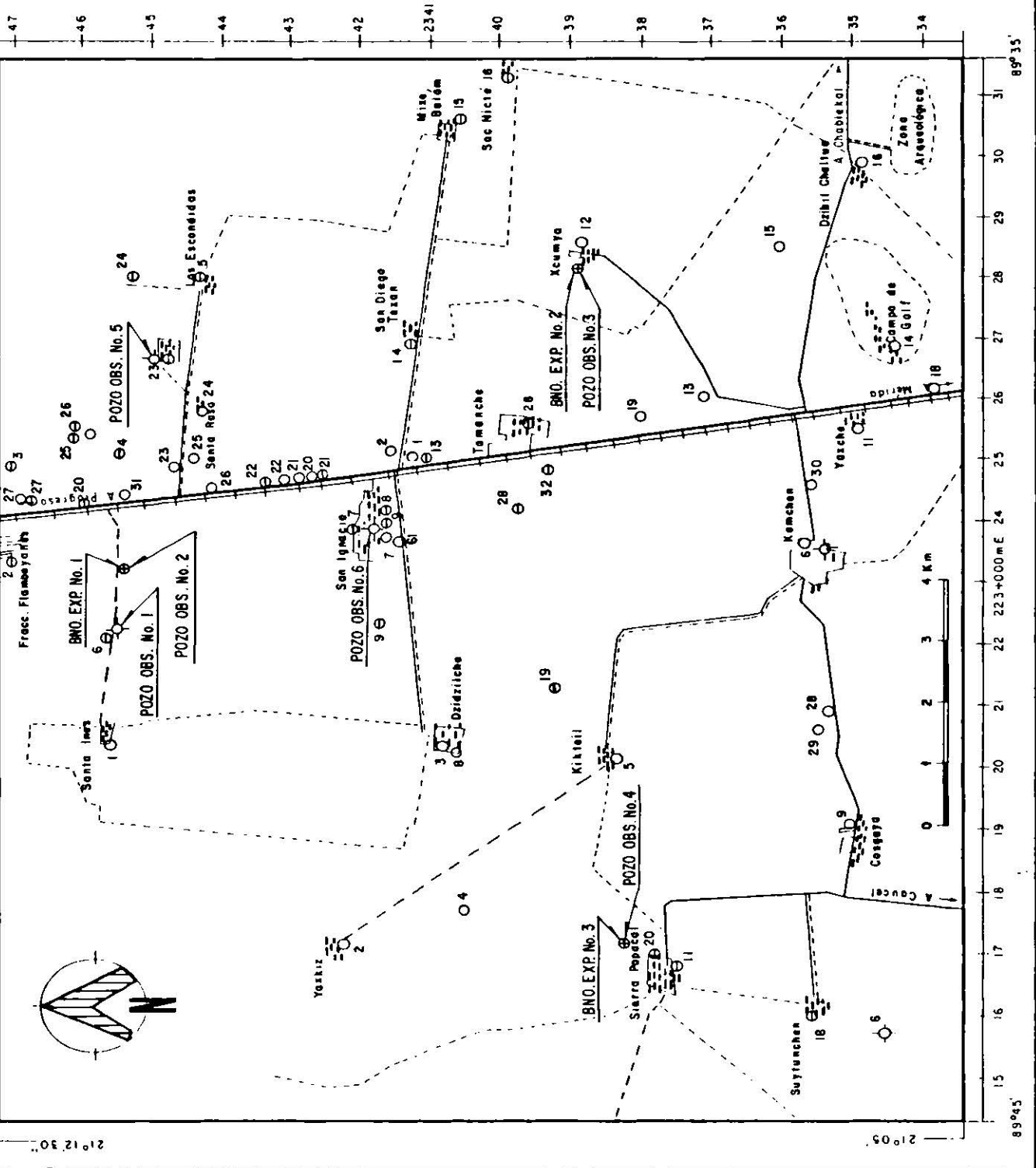


LOCALIZACION

**SIMBOLÓGICA**

- CENOTE
- ⊖ POZO
- NORIA
- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - CAMINO TERRACERIA
- BRECHA
- VEREDA
- VIA F.C.C.
- ZONA URBANA
- CASA AISLADA

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
<b>CENSO HIDROLÓGICO</b>	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Maya 1992 Fig. 4.9	



21° 12' 30"

21° 05'

89° 45'

89° 35'

0 1 2 3 4 Km



# USO DE APROVECHAMIENTOS

Tabla 4.1

## CARACTERISTICAS

C. D. (CANTON)		GENERALES						CONSTRUCTIVAS						EQUIPO DE BOMBEO				HIDRAULICAS			OBSERVACIONES		
		NOMBRE	MUNICIPIO	USO	MATERIAL	ESTADO	DIMENSIONES			MATERIALES			TIPO	MOTOR		VOLTAJE		CARGA	CATEGORIA				
							LARGO	ANCHO	ALTO	CONCRETO	ACERO	OTRO		HP	KW	VOLTAJE	FRECUENCIA						
C2	AMOLETA CRISTAL	RAMONES	ABST. CASAS	CENTE	970110P				0.40	0.70	2.50				INDUST	2"	1.70	2"	INDUST	1 3/4"	0.855	2.225	
C3	AMCO PARTICULAR	AMCO DE LOPE PEREZ F.	ACT. ABST.	CENTE	970110P				0.45	0.90	2.50										0.600	2.55	
H4	AMCO PARTICULAR	SAL DES	ACT. ABST.	INDA	070110P				0.30	0.90	2.90				2"	3.00	2"	AEROMOTOR PRO. PERU			1.000	2.24	
C6	ESTADO DE PROGRESO	SAL CANDO A SAL DES		CENTE	100110P				0.70	4.615											2.225	1.79	
C1	PARCELA PARTICULAR	CANDO A AMCO SAL DES	ABST.	CENTE	770110P				1.00	4.05											1.000	1.04	
C4	PARCELA PARTICULAR	FRONTE A LA GUNDA SAL	ABST.	CENTE	070110P				0.09	1.20	8.166				2"	5.10	2"	MOTOR ABST. ELEC.	1 1/2"	0.525	2.160		
C5	AMCO PARTICULAR	LOS ESCOBADOS	ACT. ABST.	CENTE	970110P				1.00	2.241.20	4.20							AEROMOTOR ABST.			0.770	5.24	
H4	AMCO PARTICULAR	TANQUE	ACT. ABST.	INDA	110210P				1.40	2.064.1	3.20 H				2"	4.20	2"	VELETA AEROMOTOR			0.845	3.855	
C3	AMCO PARTICULAR	SAN TONCE BENITO JIMENEZ	ACT. ABST.	CENTE	100110P				2.0	1.641.1	5.10				2"	6.50	2"	PROGRESO ABST.	1 1/2"	1.810	6.09		
C7	ESTADO DE SAL. DR. C.R.	SAN JONCE	PARTICULAR	CENTE	100110P				2.0	6.23											2.227	2.355	
C8	ESTADO SAL. DR. RAMON	SAN JONCE		CENTE	100110P				0.45	6.80											4.400	2.44	
H2	ESTADO SAL. DR. OSO	SAN JONCE		INDA	100110P				1.10	5.00 H											0.925	4.045	
H4	ESTADO DE CANTON AMCO	SANTA TERESA	ACT. ABST.	INDA	110110P				0.80	0.90	3.24				2"	2"	BRUSSELS ABST.				1.000	1.792	
H3	ESTADO DE CANTON	ESTADO DE ESCOBADO		INDA	070110P				3.0	204.70	3.04				2"	6.40	2"	MOTOR A GASOLINA	1 1/2"	0.400	6.45		
H4	ESTADO	ESTADO DE ESCOBADO	ABST.	INDA	070110P				0.75	0.90	6.67										0.450	4.95	
H5	ESTADO DE CANTON	CANTON	ABST.	INDA	070110P				0.80	0.86												4.505	
H4	ESTADO DE CANTON	CANTON	PARTICULAR	INDA	110110P				0.70	0.90	4.855				4.00"	1"	2"	POWER ELECTRIC	1 1/4"	0.885	4.50		
H4	ESTADO DE CANTON	CANTON	ABST.	INDA	100110P				0.56	0.604.4	4.00 H										0.460	4.13	
C10	ESTADO DE CANTON	CANTON	ABST.	CENTE	100110P					5.0 APPROX													
H4	ESTADO DE CANTON	CANTON	PARTICULAR	INDA	100110P				0.6	0.9	4.33 A										0.800	4.10	
C11	ESTADO SIERRA PAMPA	SIERRA PAMPA	ABST.	CENTE	110110P				0.80	0.640.6	7.455				2 1/2"	4.37	2"	MOTOR A ELECTRIC	1 1/2"	0.915	4.22		
C12	ESTADO SIERRA PAMPA	AMCO ELECT. BENITO J.	ACT. ABST.	CENTE	110110P				0.6	0.70	4.03				2 1/2"	4.41	2"	MOTOR A GASOLINA	1 1/2"	0.620	4.01		
H11	PARTICULAR SAL	TANQUE	AMCO PART.	INDA	220110P				1.00	2.041.1	5.49 H				2"	7.2	2"	ELECTRIC	5"	1.600	5.76		
H11	PARTICULAR SAL	TANQUE	AMCO PART.	INDA	220110P										2"	7.2	2"	BRUSSELS ABST.					
H11	PARTICULAR SAL	TANQUE	AMCO PART.	INDA	220110P										2"	7.2	2"	ELECTRIC					
H12	ESTADO	INDA	PART. IND.	INDA	200110P				1.70	1.042.40	5.25 H				INDUST	2"	6.50	1.0"	POWER ELECTRIC	1	1.240	5.71	
H13	CANTON SAL. AMCO	INDA	CANTON	INDA	200110P				0.8	0.5340.51	4.92 H				INDUST	2 1/4"	1"	POWER ELECTRIC	1	0.540	5.19		
H1	J.A.P.A.T.	CANTON DE REBENED	INDA. PAMPA	INDA	200110P				0.40						4"	4"		U.S. DE MEXICO	10	12"	4.70		

# USO DE APROVECHAMIENTOS

Tabla 4.2

## C A R A C T E R I S T I C A S

GENERALES						CONSTRUCTIVAS					EQUIPO DE BOMBEO				MORFOLÓGICAS		OBSERVACIONES			
CATEGORIA	TIPO DE OBRA	MATERIAL	ESTADO	ZONA	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	MATERIALES				TIPO DE EQUIPO	CAPACIDAD		VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL					
							CEMENTO	ACERO	GRANULADO	OTROS		CAUDAL	POTENCIA							
20	JAPAT	CROMO REBRED	A. PIZALE	CRUDE	ZAPIC/87	0.40	1.00	4.95				MOZELI	3'	5.54	4'	U.S. DE VELOC	10	0.785	1.565	
21	JAPAT	CROMO REBRED	A. PIZALE	POD	ZAPIC/87											FABRICAS MOSE	7.5			
22	PARTICULAR	SHWEDS REBRED	ACT. REBRED	CRUDE	ZAPIC/87	1.20	1.20 x 2.60	4.80				MOZELI	2'	5.50	5'	SIEMENS	1	0.700	5.27	
23	EJDA	NOBEN IN	CONSTRUC	CRUDE	ZAPIC/87	9.75		1.12	4.68									0.755	1.45	
24	EJDA	DECANTE	CONSTRUC	CRUDE	ZAPIC/87	0.96		1.00	5.65									1.400	5.74	
25	PARTICULAR	WANCE	CONSTRUC	CRUDE	ZAPIC/87	0.46		0.63	5.85			MOZELI	1'	6.20	1.5'	POMPA ELECTRIC	1/4	1.550	4.74	
26	EJDA	SHWEDS	REBRED	CRUDE	ZAPIC/87	0.35		0.82	4.77									0.595	4.66	
27	PARTICULAR	CLUB X CLUB	CONSTRUC	NOBIA	ZAPIC/87	0.75		0.90	4.635									0.565	4.820	
28	PARTICULAR	INVESTIGACION	REBRED	NOBIA	ZAPIC/87			10 x 60	5.28									1.000	4.28	
29	PARTICULAR	DECANTE	CONSTRUC	NOBIA	ZAPIC/87	0.66		1.12	5.740									0.575	5.425	
30	PARTICULAR	WALBA	CONSTRUC	NOBIA	ZAPIC/87	0.83		1.05	6.305									1.755	5.99	
31	CONSTRUCION	CRUDE	A. PIZALE	POD	11/21/87															
32	CONSTRUCION	WALBA	A. PIZALE	POD	ZAPIC/87															
33	CONSTRUCION	WALBA	A. PIZALE	POD	16/11/87															
34	EJDA	CRUDE	REBRED	NOBIA	ZAPIC/87			0.90	5.315									0.555	4.220	
35	PARTICULAR	WANCE	CONSTRUC	NOBIA	ZAPIC/87			0.50	5.00									0.370	4.102	
36	EJDA	WALBA CRUDE	CONSTRUC	CRUDE	ZAPIC/87	1.50		1.0 x 2.4	4.90									0.550	5.750	
37	PARTICULAR	WALBA CRUDE	CONSTRUC	CRUDE	ZAPIC/87	3.85		1.00	4.00			PERLESS TISA	1.14'	6.20	1.14'			1.40'	2.48	
38	PARTICULAR	WALBA	REBRED	CRUDE	5/11/88	1.94		1.2 x 1.70	3.90			PERLESS TISA	3'	5.20	3'	U.S. DE VELOC	5	1.200	4.57	
39	PARTICULAR	WALBA	REBRED	NOBIA	5/11/88	0.6		.20	4.40									1.750	3.85	
40	PARTICULAR		CONSTRUC	NOBIA	5/11/88	1.0		0.75	3.81									0.735	4.05	
41	PARTICULAR	SHWEDS	CONSTRUC	NOBIA	5/11/88			1.20	4.21									0.850	3.26	
42	PARTICULAR		CONSTRUC	CRUDE	5/11/88	3.40		1.20	3.65									1.010	3.50	
43	PARTICULAR		CONSTRUC	NOBIA	5/11/88	0.6		0.73	4.410									1.545	3.665	
44	PARTICULAR	SHWEDS	CONSTRUC	NOBIA	5/11/88	0.52		0.90	3.95									1.215	3.895	
45	PARTICULAR		CONSTRUC	NOBIA	5/11/88	0.96		0.77	3.70									3.200	4.14	
46	PARTICULAR	WALBA	CONSTRUC	CRUDE	5/11/88	0.50		0.60	0.350									6.405	3.465	
47	PARTICULAR	WALBA	CONSTRUC	CRUDE	5/11/88	0.50		0.90	3.890									1.450	3.940	



# HIDROGRAFOS DE CENOTES-NORIAS

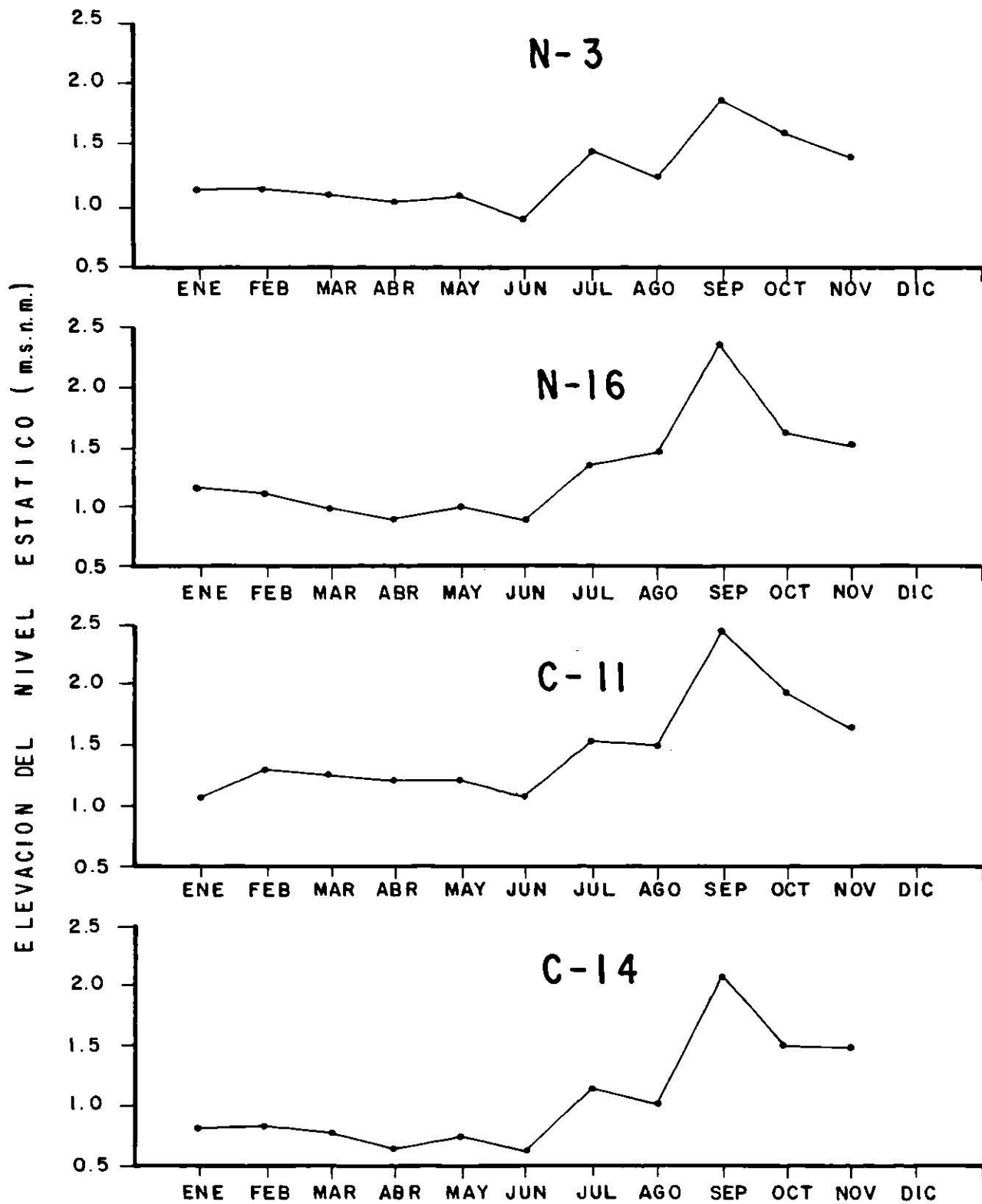
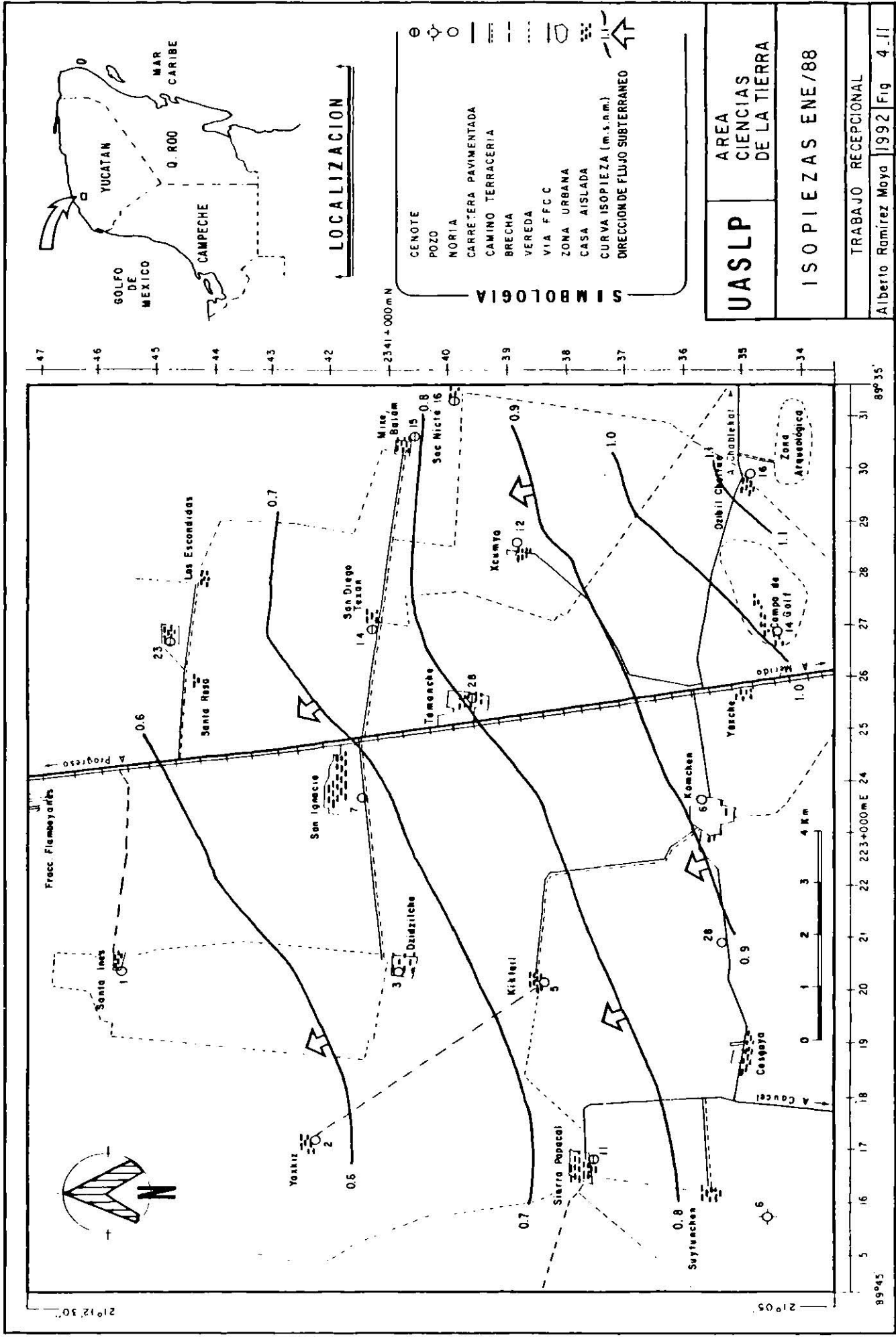


Fig. 4.10

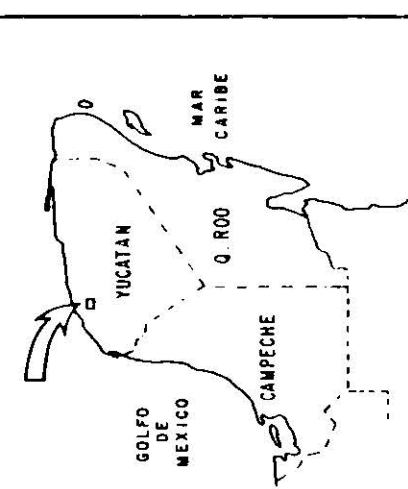
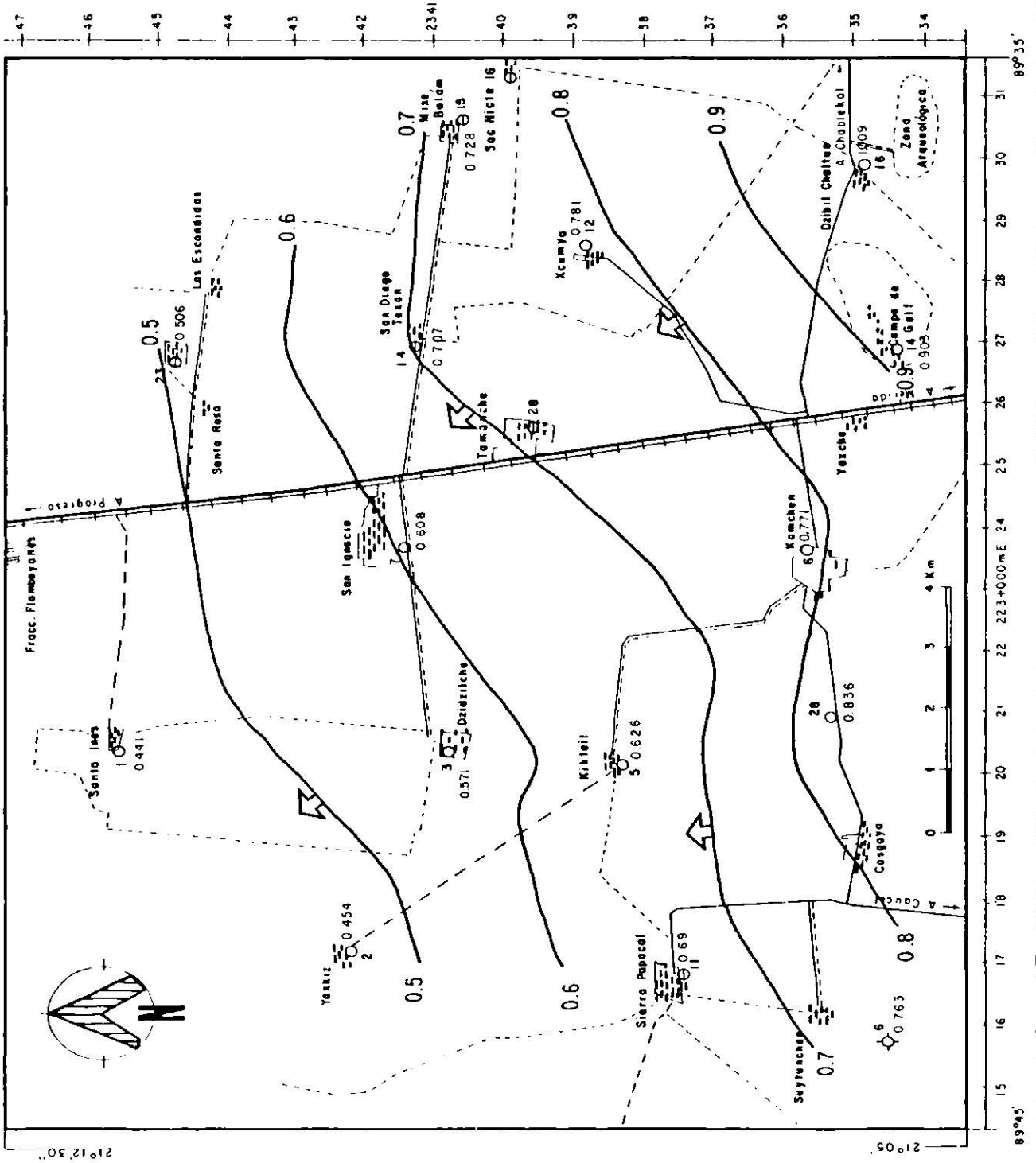










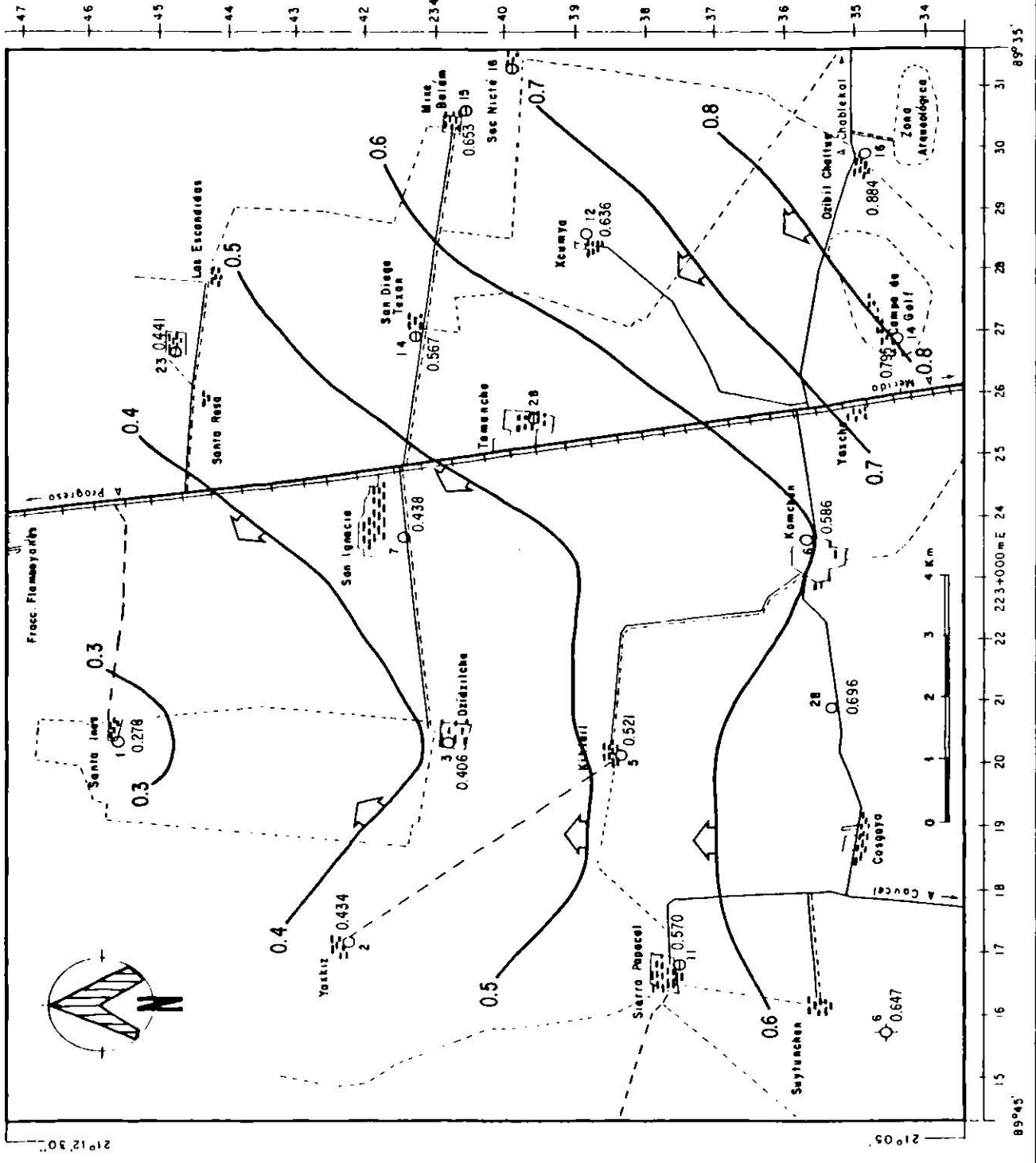


LOCALIZACION

**SIMBOLIA**

- ⊖ CENOTE
- POZO
- NORIA
- CARRETERA PAVIMENTADA
- CAMINO TERRACERIA
- BRECHA
- VEREDA
- VIA FFCC
- ZONA URBANA
- CASA AISLADA
- CURVA ISOPIEZA (m s.n.m.)
- DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

<b>UASLP</b>		AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
		ISOPIEZAS MAY / 88
TRABAJO RECEPTACIONAL		
Alberto Ramirez Moya	1992	Fig 4.15



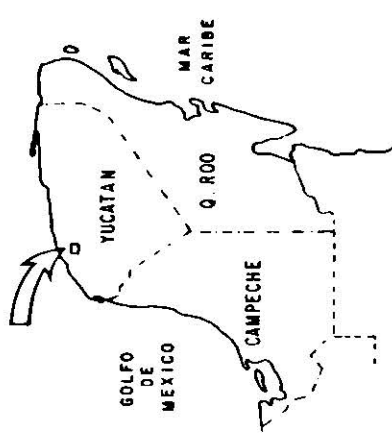
21°12'30" 89°45'

2341+000 m N

47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34

31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15

21°05' 89°35'

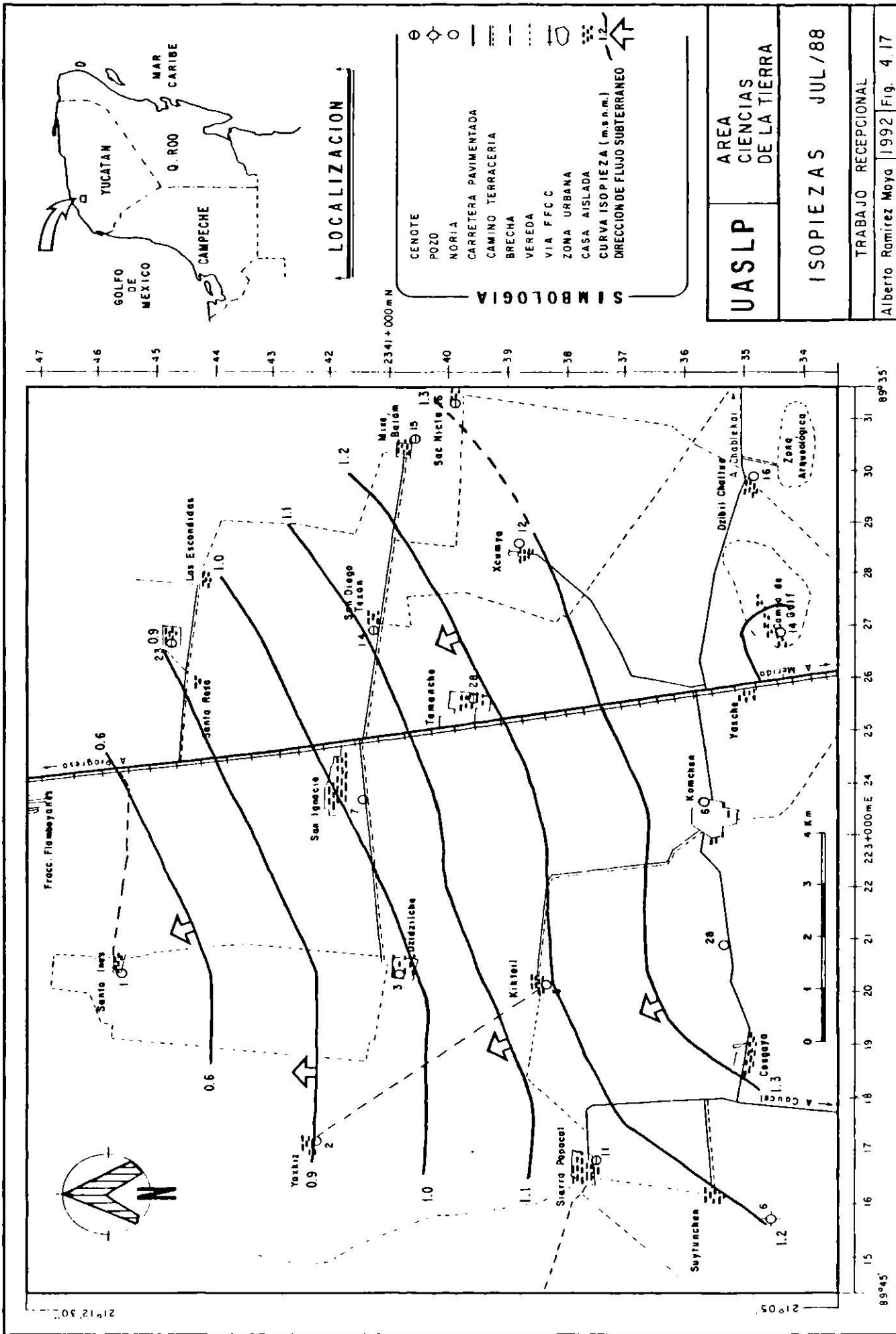


**LOCALIZACION**

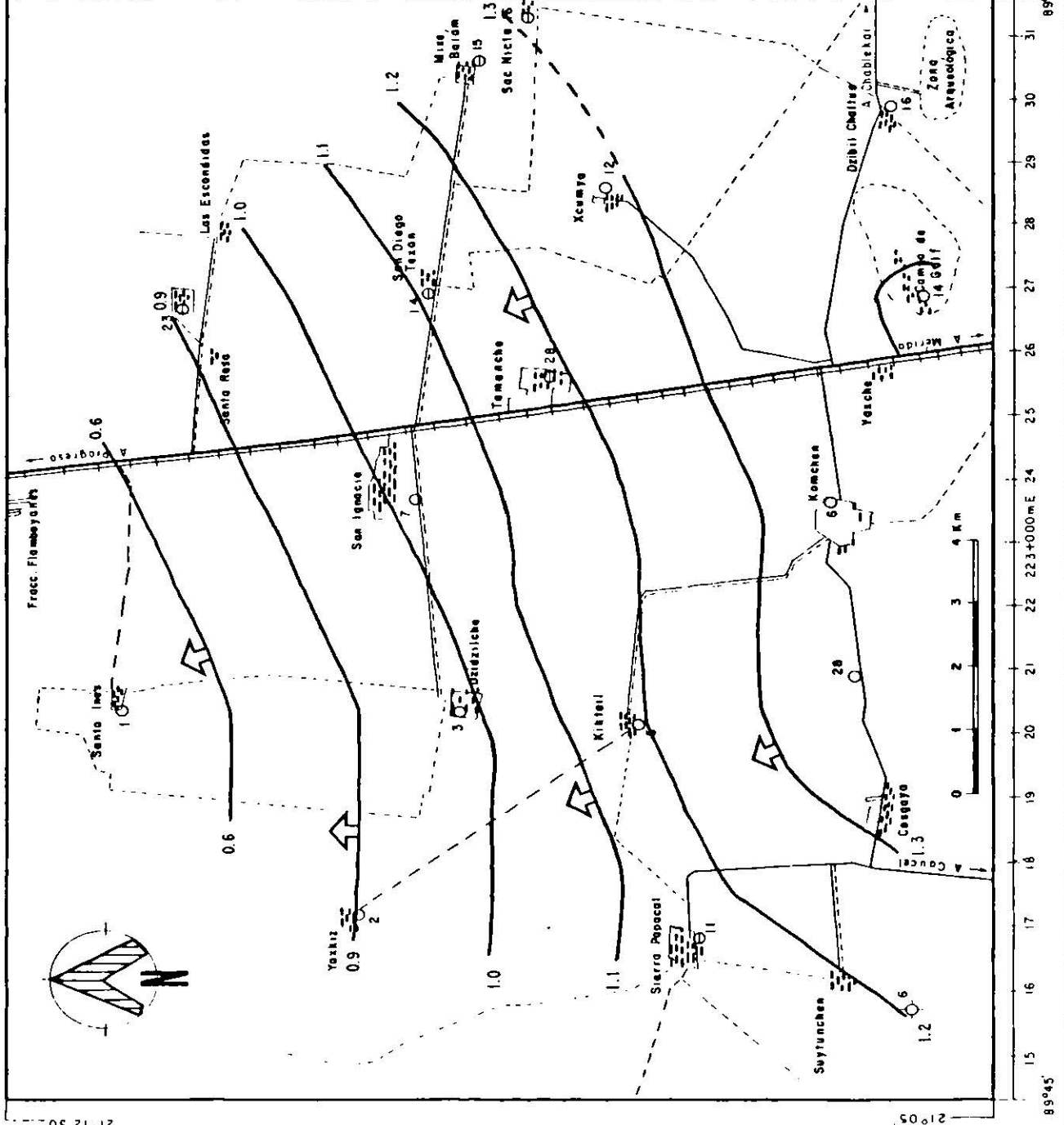
**SIMBOLOGIA**

○	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
- - -	CAMINO TERRACERIA
—	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA F.F.C.C
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
—	CURVA ISOPIEZA (m.s.n.m.)
—	DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOPIEZAS JUN/88	
TRABAJO RECCIONAL	
Alberto Ramirez Moya   1992   Fig 4.16	

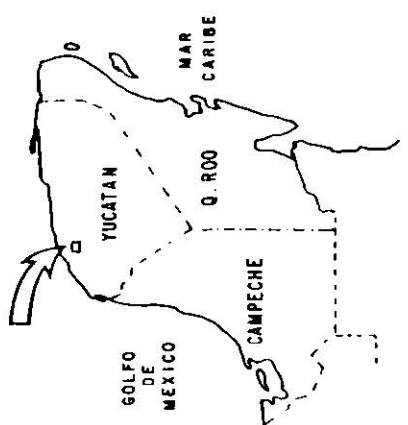


47 46 45 44 43 42 2341+000 m N 40 39 38 37 36 35 34



21°12'30" 89°45' 22 23+000m E 24 25 26 27 28 29 30 31 89°35'

**LOCALIZACION**



**SIMBOLOGIA**

- CENOTE
- POZO
- NORIA
- CARRETERA PAVIMENTADA
- CAMINO TERRACERIA
- BRECHA
- VEREDA
- VIA FFC C
- ZONA URBANA
- CASA AISLADA
- CURVA ISOPIEZA (m.s.n.m.)
- DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

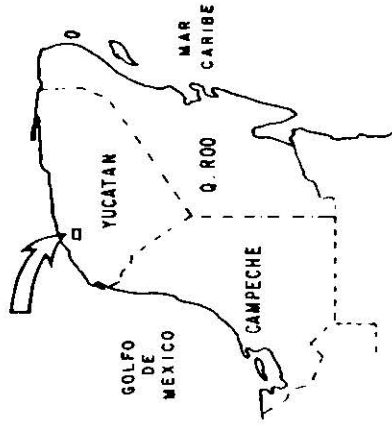
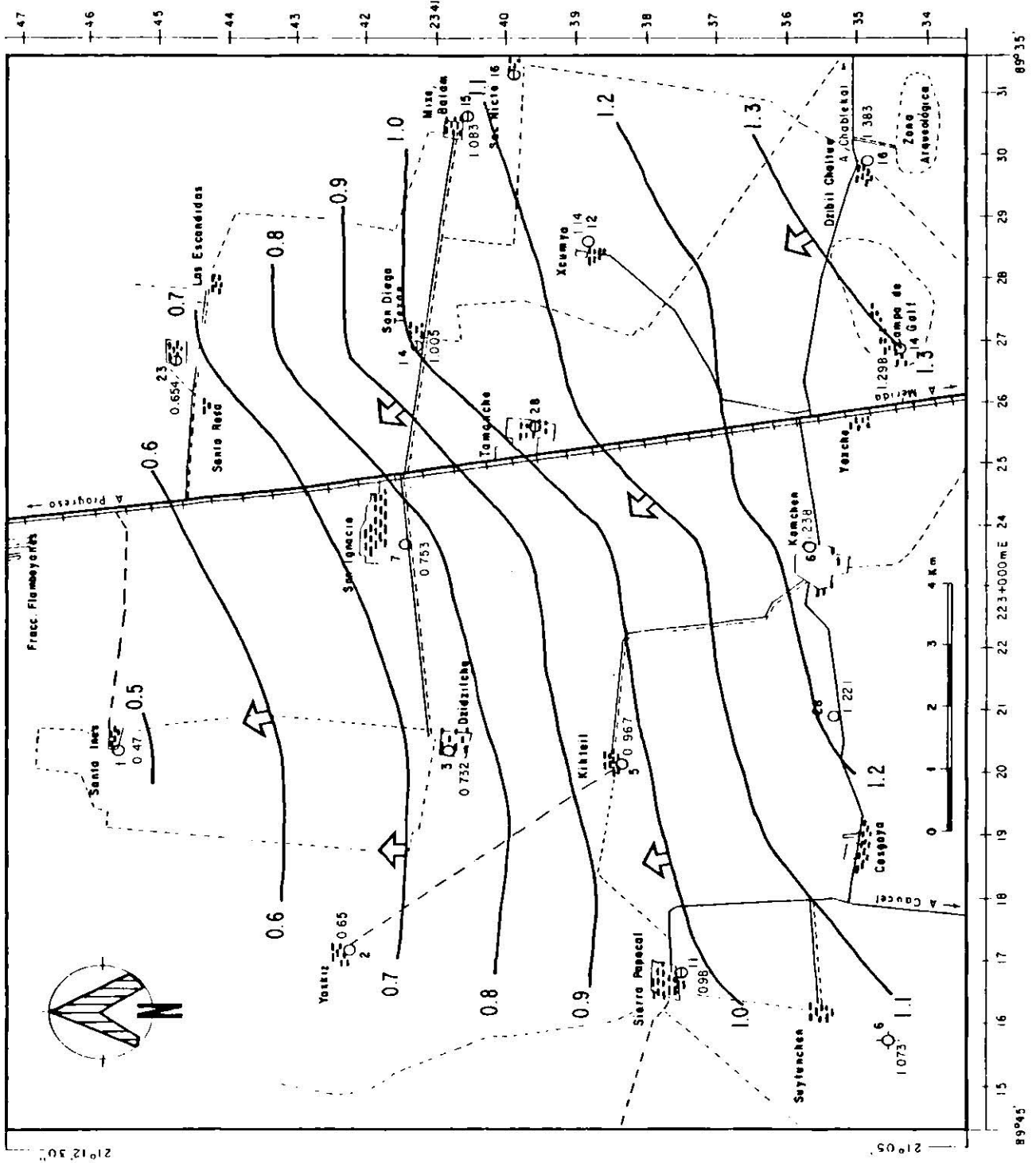
**UASLP**

AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

ISOPIEZAS JUL/88

TRABAJO RECEPTIONAL

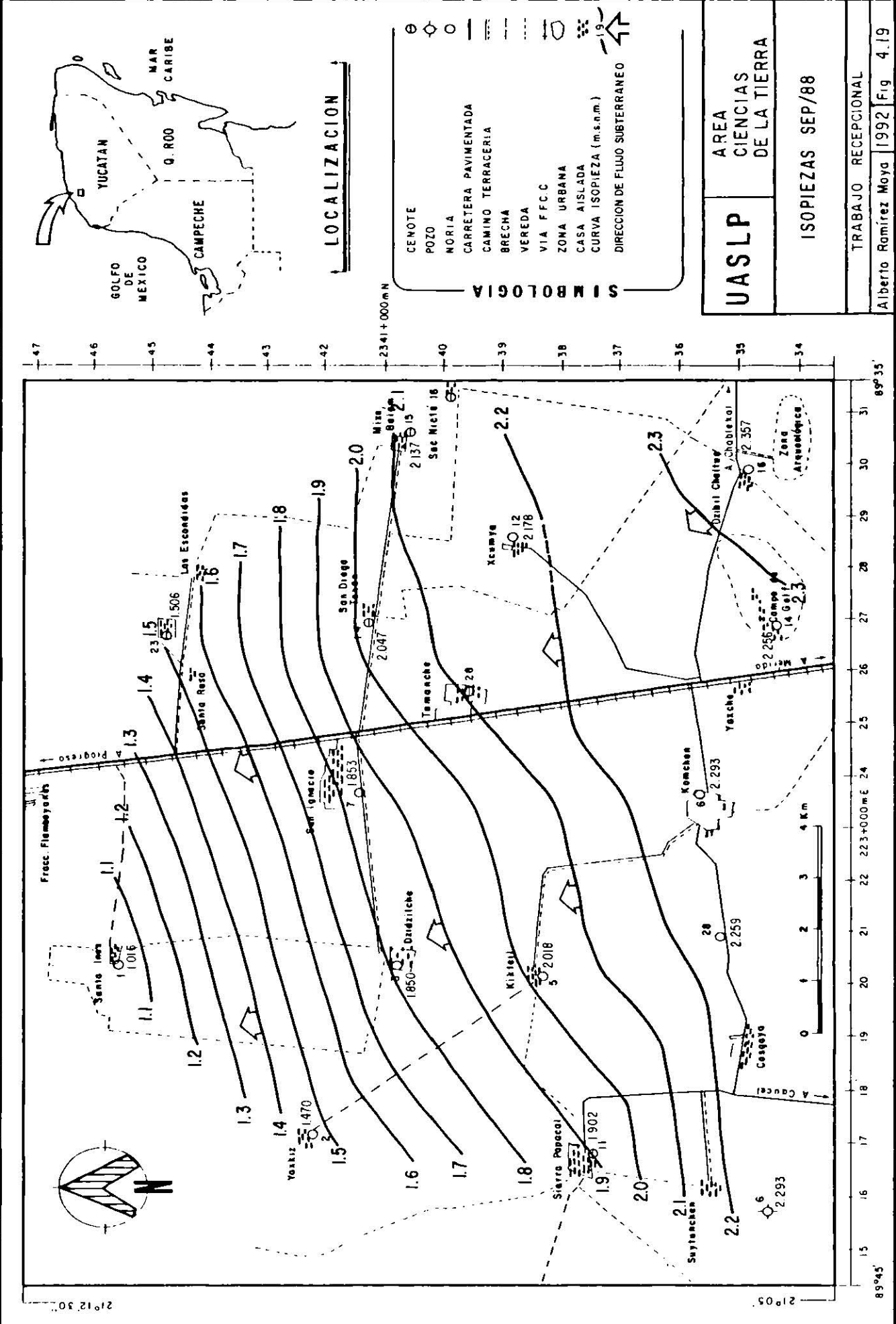
Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 4.17



LOCALIZACION

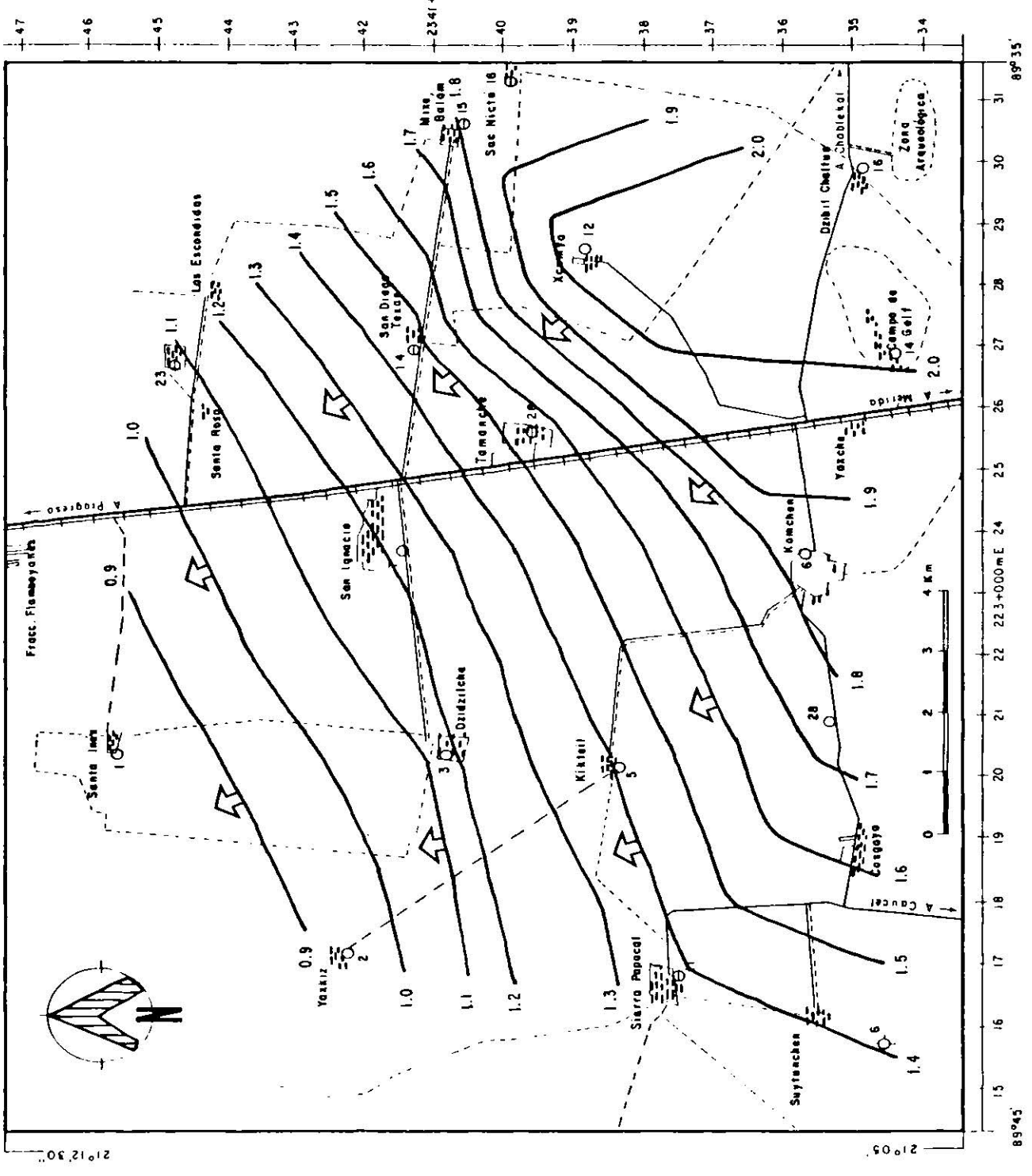
- SIMBOLIA**
- ⊖ CENOTE
  - POZO
  - NORIA
  - CARRETERA PAVIMENTADA
  - - - CAMINO TERRACERIA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - VIA F.F.C.C
  - ZONA URBANA
  - CASA AISLADA
  - CURVA ISOPIEZA (m s n m)
  - ↖ DIRECCION DE FUJO SUBTERRANEO

**UASLP**  
 AREA CIENCIAS DE LA TIERRA  
 ISOPIEZAS AGO/88  
 TRABAJO RECEPCIONAL  
 Alberto Ramirez Moya 1992 | Fig 4.18



**UASLP**  
**AREA CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**ISOPIEZAS SEP/88**

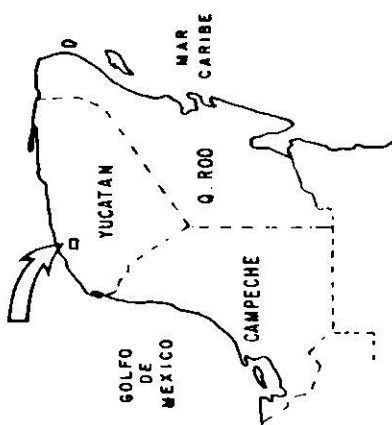
TRABAJO RECEPTACIONAL  
 Alberto Romérez Maya [1992] Fig 4.19



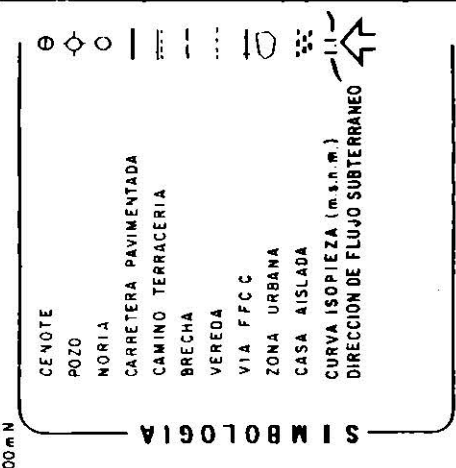
47  
46  
45  
44  
43  
42  
2541+000mN  
40  
39  
38  
37  
36  
35  
34

15 16 17 18 19 20 21 22 23+000mE 24 25 26 27 28 29 30 31

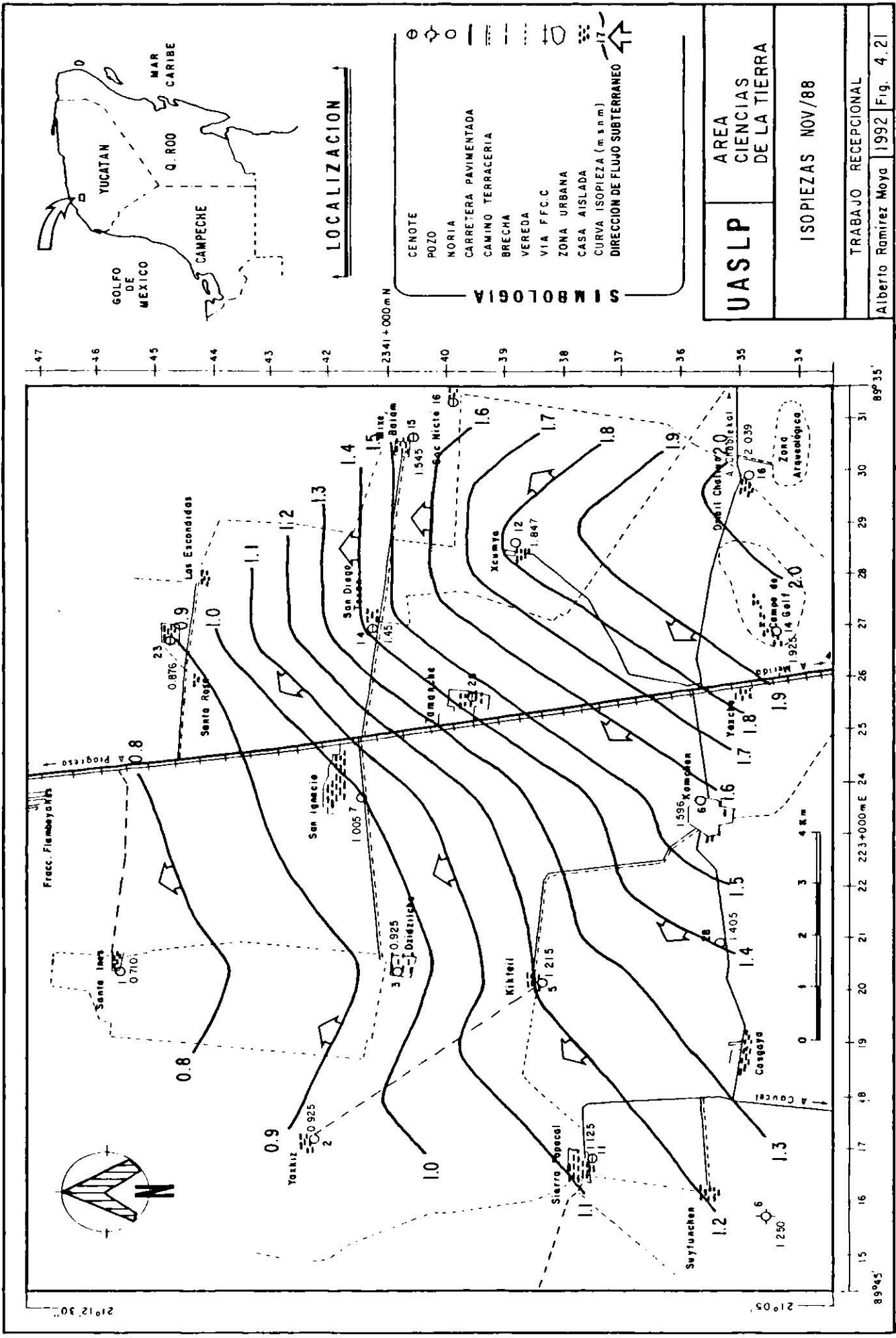
21°12'30"  
89°45'



LOCALIZACION

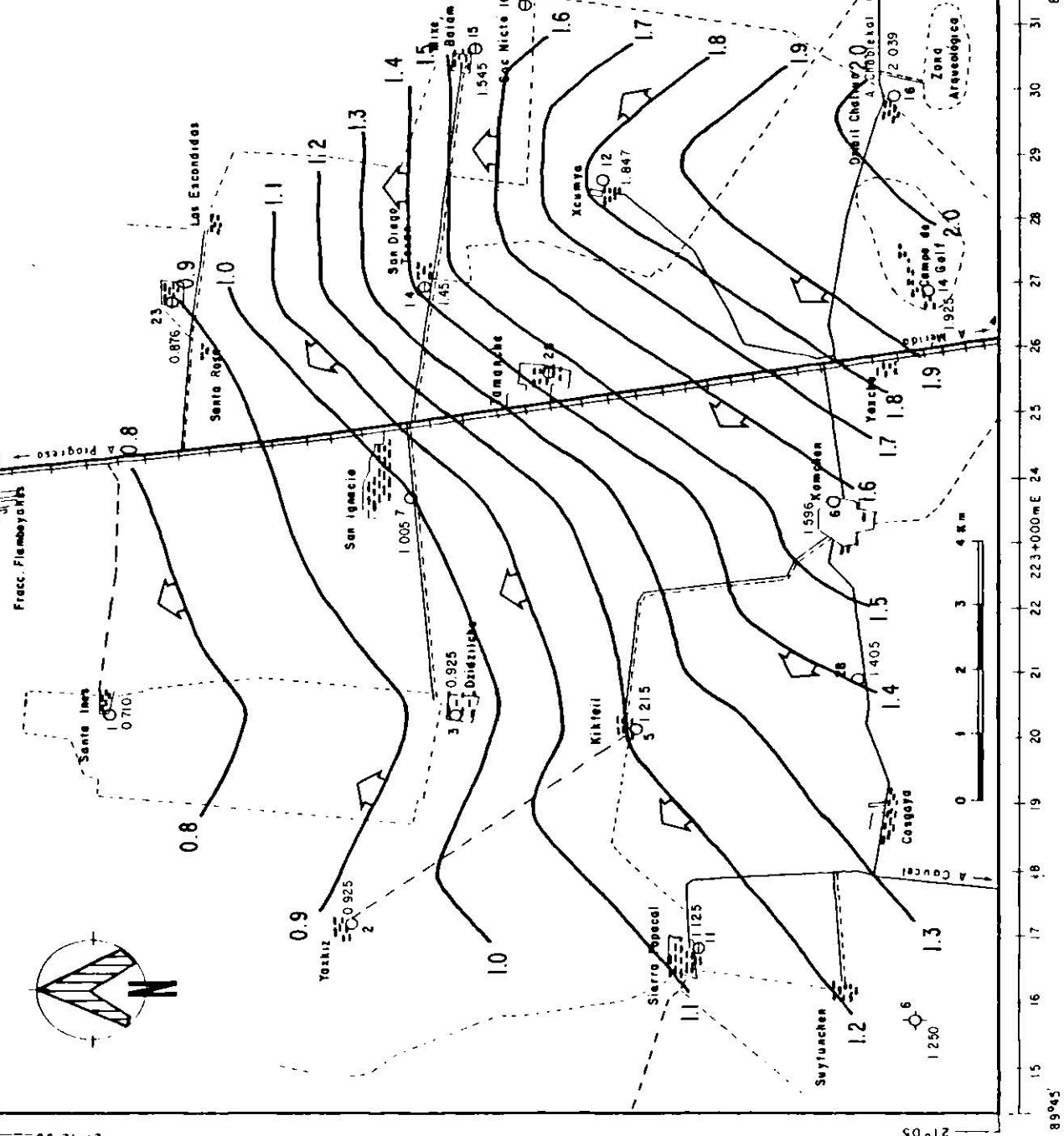


<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOPIEZAS OCT./88	
TRABAJO RECEPTIONAL	
Alberto Ramirez Moya   1992   Fig. 4.20	

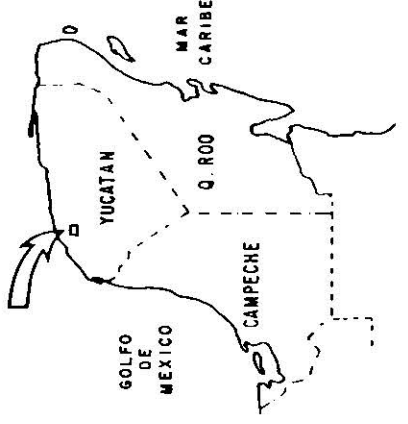


47 46 45 44 43 42 2341+000mN 40 39 38 37 36 35 34

21°12'30" 89°35'



LOCALIZACION



- SIMBOLOGIA**
- CENOTE
  - POZO
  - NORIA
  - CARRETERA PAVIMENTADA
  - CAMINO TERRACERIA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - VIA FF.CC
  - ZONA URBANA
  - CASA AISLADA
  - CURVA ISOPIEZA (m.s.n.m)
  - DIRECCION DE FLUJO SUBTERRANEO

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOPIEZAS NOV/88	
TRABAJO RECEPTIONAL	
Alberto Ramirez Moya   1992   Fig. 4.21	





# AFORO CENOTE-C6

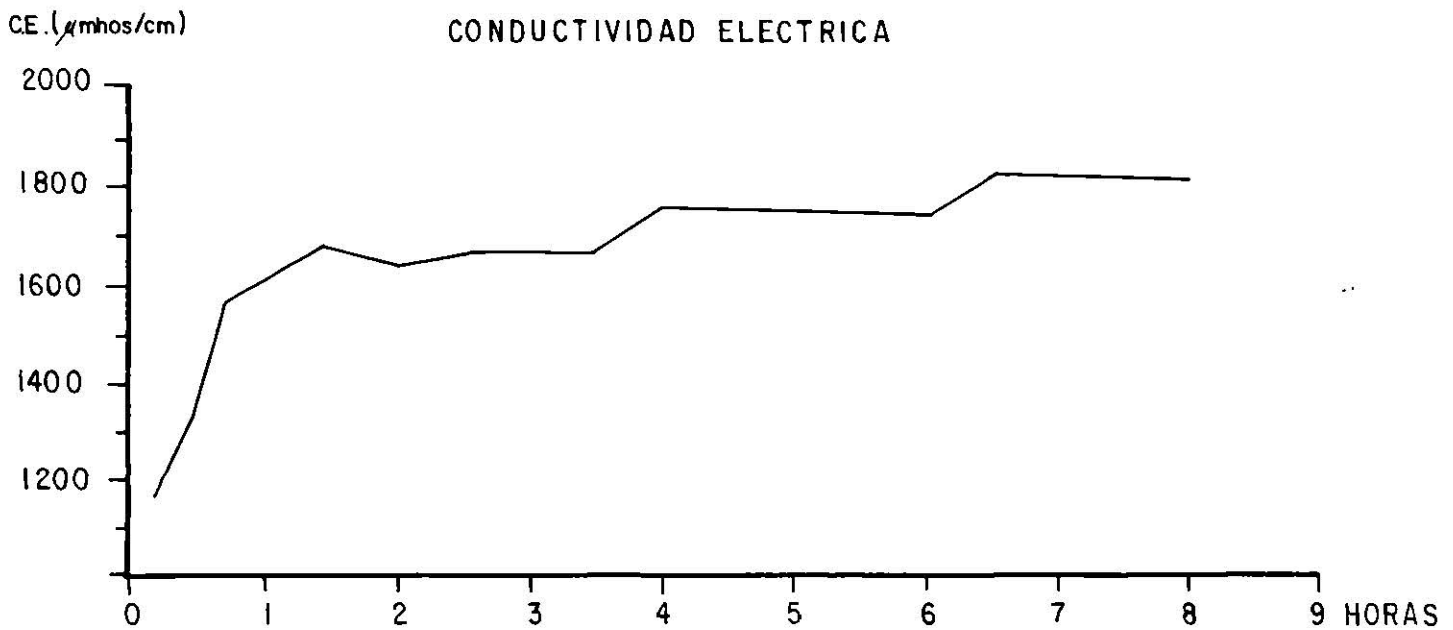
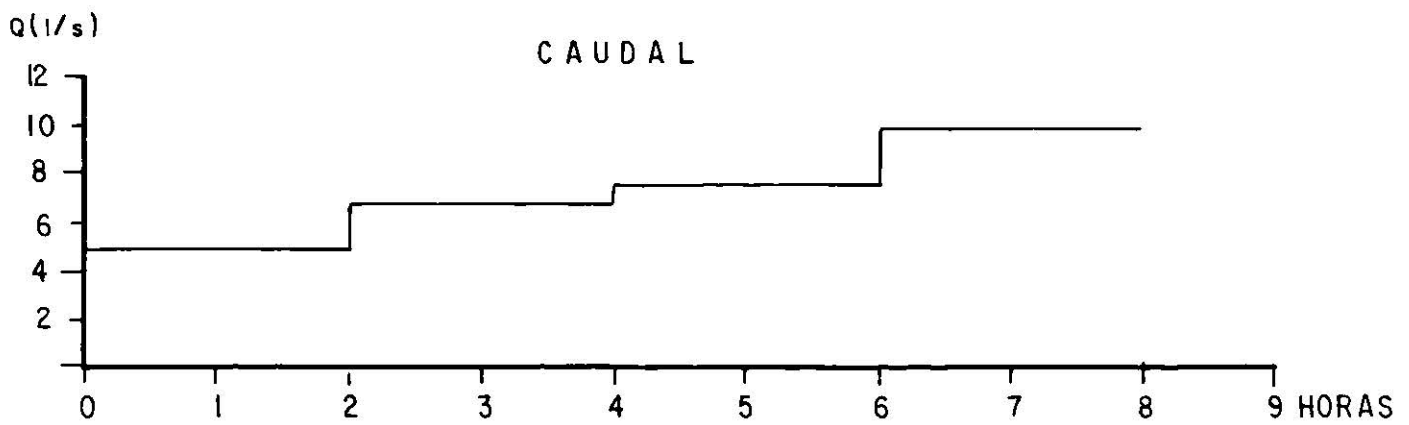
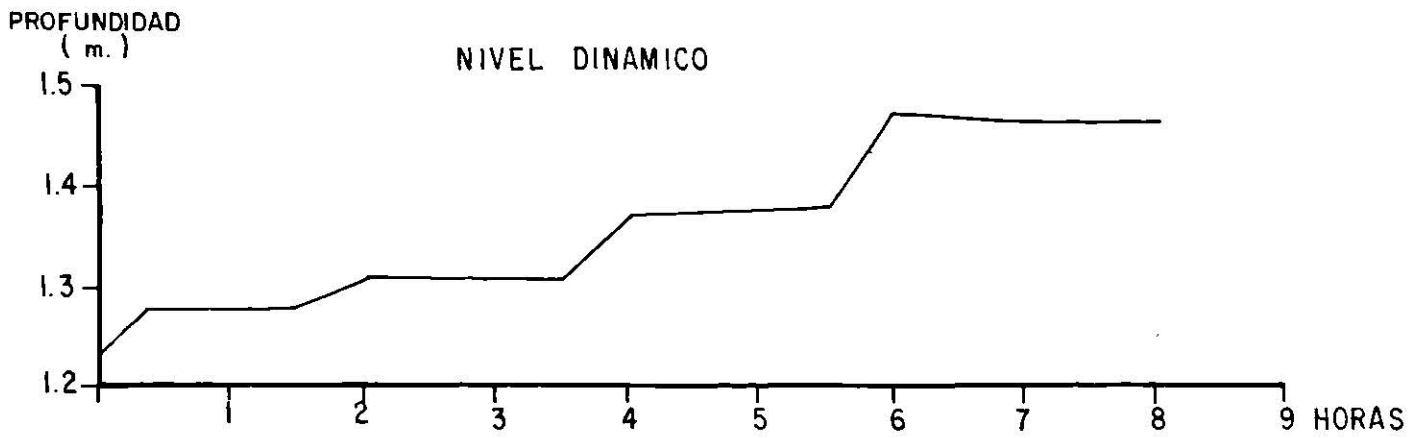
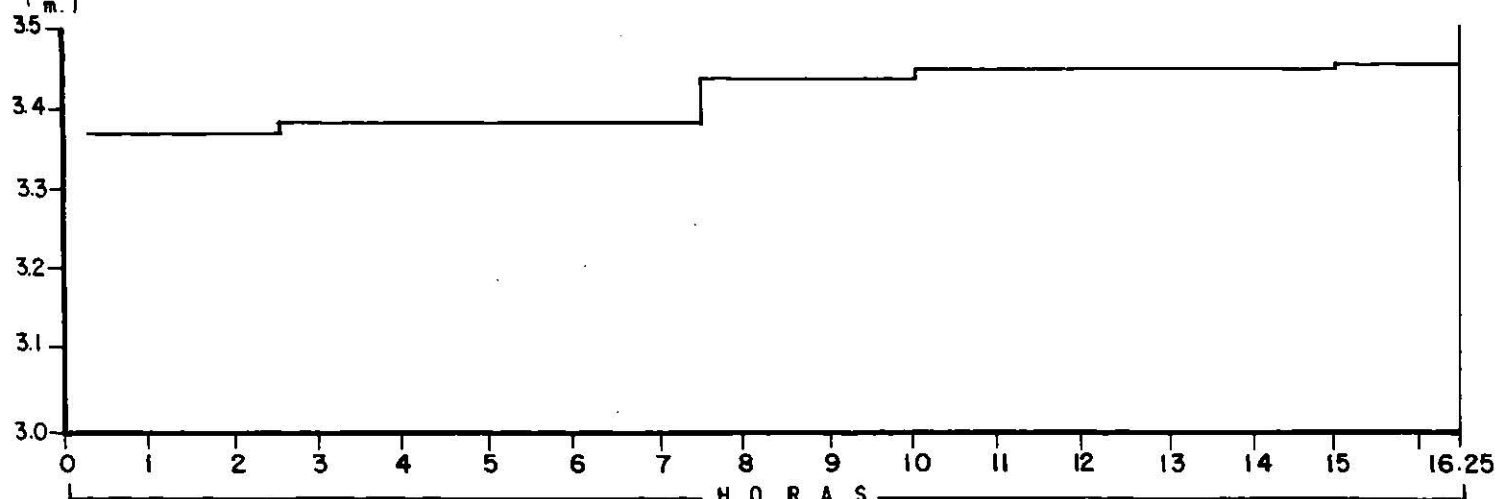


Fig. 4.22

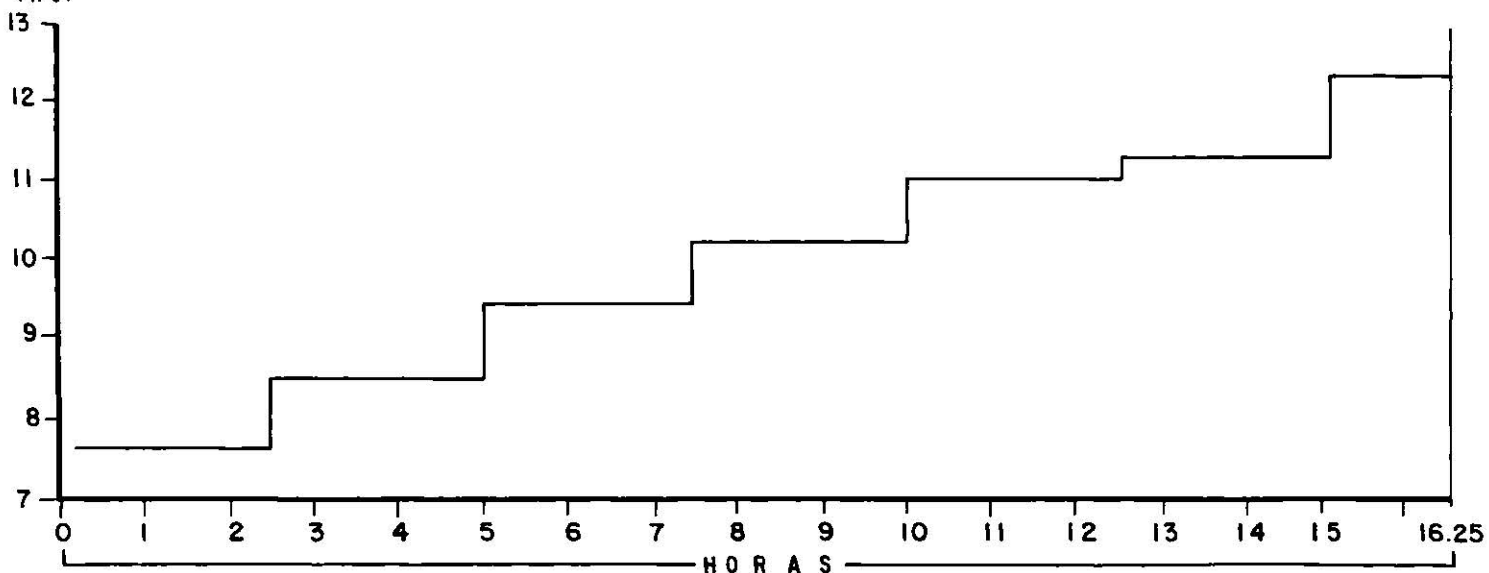


# A F O R O C E N O T E C - 2 3

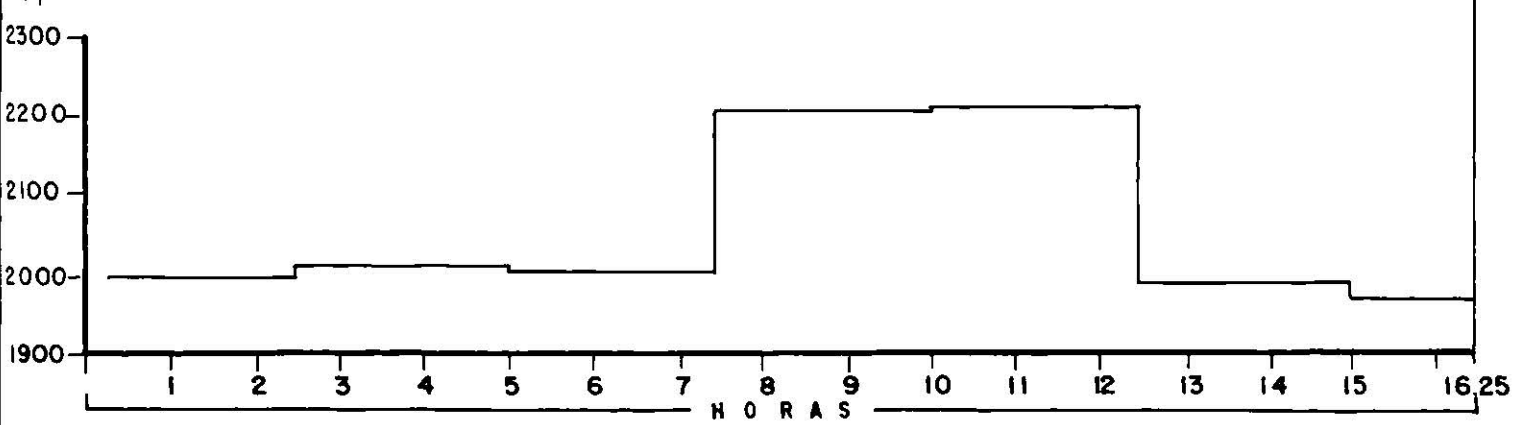
PROFUNDIDAD  
NIVEL DINAMICO  
(m.)



CAUDAL  
(l/s)



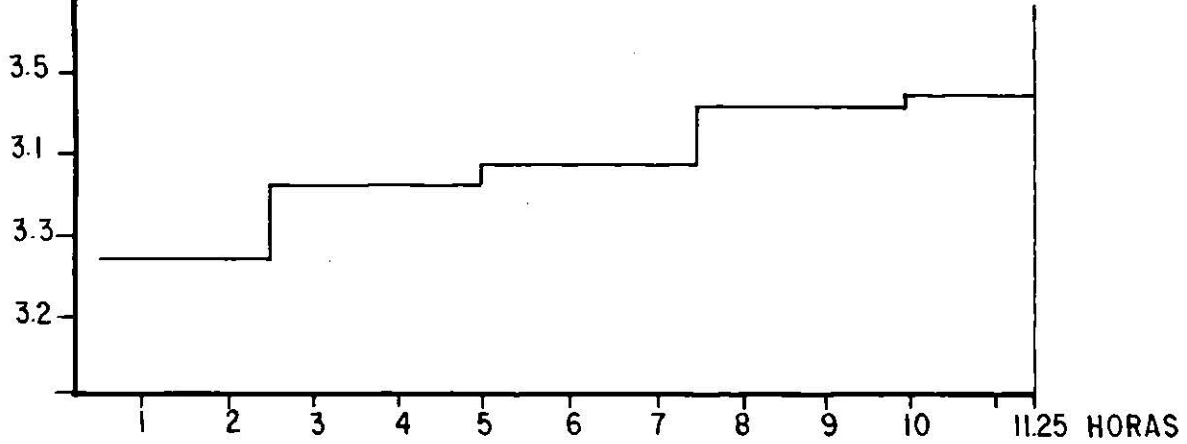
CONduc. ELEC.  
( $\mu$ /mhos/cm.)



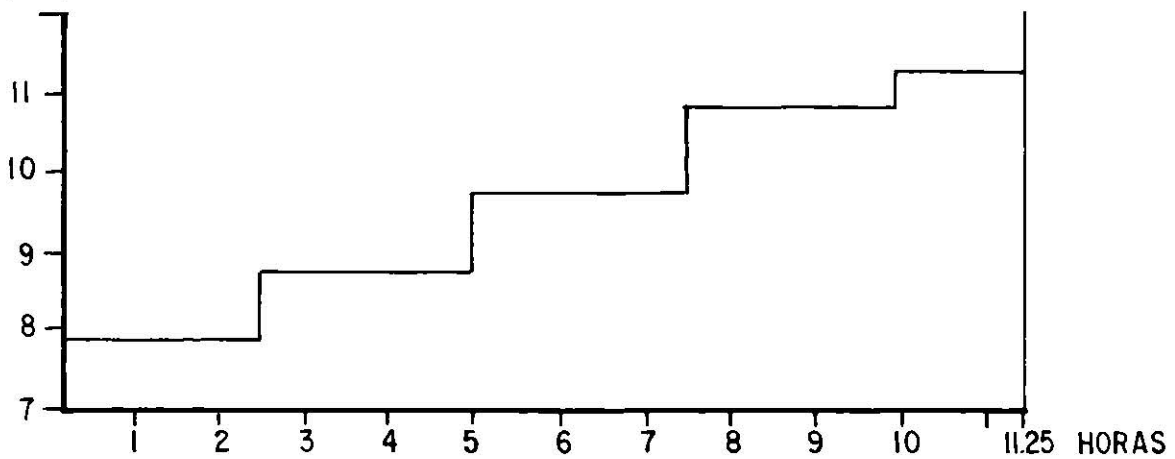


# A F O R O C E N O T E - 2 9

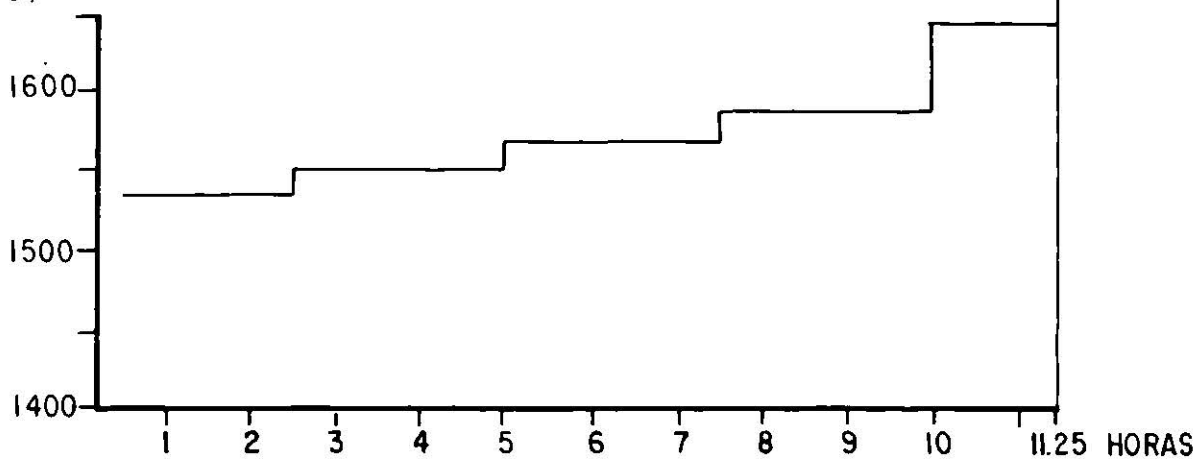
PROFUNDIDAD  
NIVEL DINAMICO  
( m. )



CAUDAL  
( l / s )



CONDUC. ELEC.  
(  $\mu$  mhos/cm )



# REGISTRO DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE

FECHA 28 JUNIO 1988 FUENTE C-6 PROFUNDIDAD 4.61 m  
 LOCALIZACION STA. INES MPIO. PROGRESO EDO. YUCATAN  
 Ø PERFORACION \_\_\_\_\_ Ø ADEME \_\_\_\_\_ m TUBERIA CIEGA \_\_\_\_\_ m RANURADA \_\_\_\_\_ m  
 BOMBA MARCA FAIRBANKS MORSE MODELO SRZA-02 Ø DESCARGA 5"  
 LONG. COLUMNA 4.5 TAZONES Ø 5" TPO SEMIABIERTO  
 HP MAXIMO 15.5 R.P.M. MAXIMO \_\_\_\_\_ CAUDAL 11.51 l/s  
 NE PRUEBA 1.23 m DISTANCIA PIEZOMETRO 2.0 m NE. PIEZOMETRO 1.515 m

FECHA	HORA	TIEMPO	NIVEL DINAMICO PRUEBA(m)	ABATIMIENTO PRUEBA (m)	NIVEL DINAMICO PIEZOMETRO(m)	ABATIMIENTO PIEZOMETRO (m)	T (°C)	C E (mhos/cm)	P.H.
28/JUN/88	02:30	00:00							
28/JUN/88	02:45	00:25	1.455	0.225	1.750	0.235		1850	
28/JUN/88	03:00	00:50	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	03:30	01:00	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	04:00	01:50	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	04:30	02:00	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	05:00	02:50	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	05:30	03:00	1.455	0.225	1.780	0.265		1850	
28/JUN/88	06:00	05:50	1.505	0.275	1.750	0.235		1890	
28/JUN/88	06:30	04:00	1.505	0.275	1.750	0.235		1890	
28/JUN/88	07:00	04:50	1.505	0.275	1.750	0.235		2010	
28/JUN/88	07:30	05:00	1.505	0.275	1.750	0.235		2010	
28/JUN/88	08:00	05:50	1.525	0.295	1.730	0.215		2030	
28/JUN/88	08:30	06:00	1.525	0.295	1.730	0.215		2030	
28/JUN/88	09:00	06:50	1.540	0.310	1.780	0.265		3040	
28/JUN/88	09:30	07:00	1.540	0.310	1.780	0.265		2040	
28/JUN/88	10:00	07:50	1.490	0.260	1.740	0.225		2000	
28/JUN/88	10:30	08:00	1.490	0.260	1.740	0.225		2000	
28/JUN/88	11:00	08:50	1.480	0.250	1.730	0.215		2040	
28/JUN/88	11:30	09:00	1.480	0.250	1.730	0.215		2040	
28/JUN/88	12:00	09:50	1.470	0.240	1.740	0.225		2020	
28/JUN/88	12:30	10:00	1.470	0.240	1.740	0.225		2020	
28/JUN/88	13:00	10:50	1.500	0.270	1.750	0.235		2070	

RESERVACIONES \_\_\_\_\_



# BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE CENOTE C-6

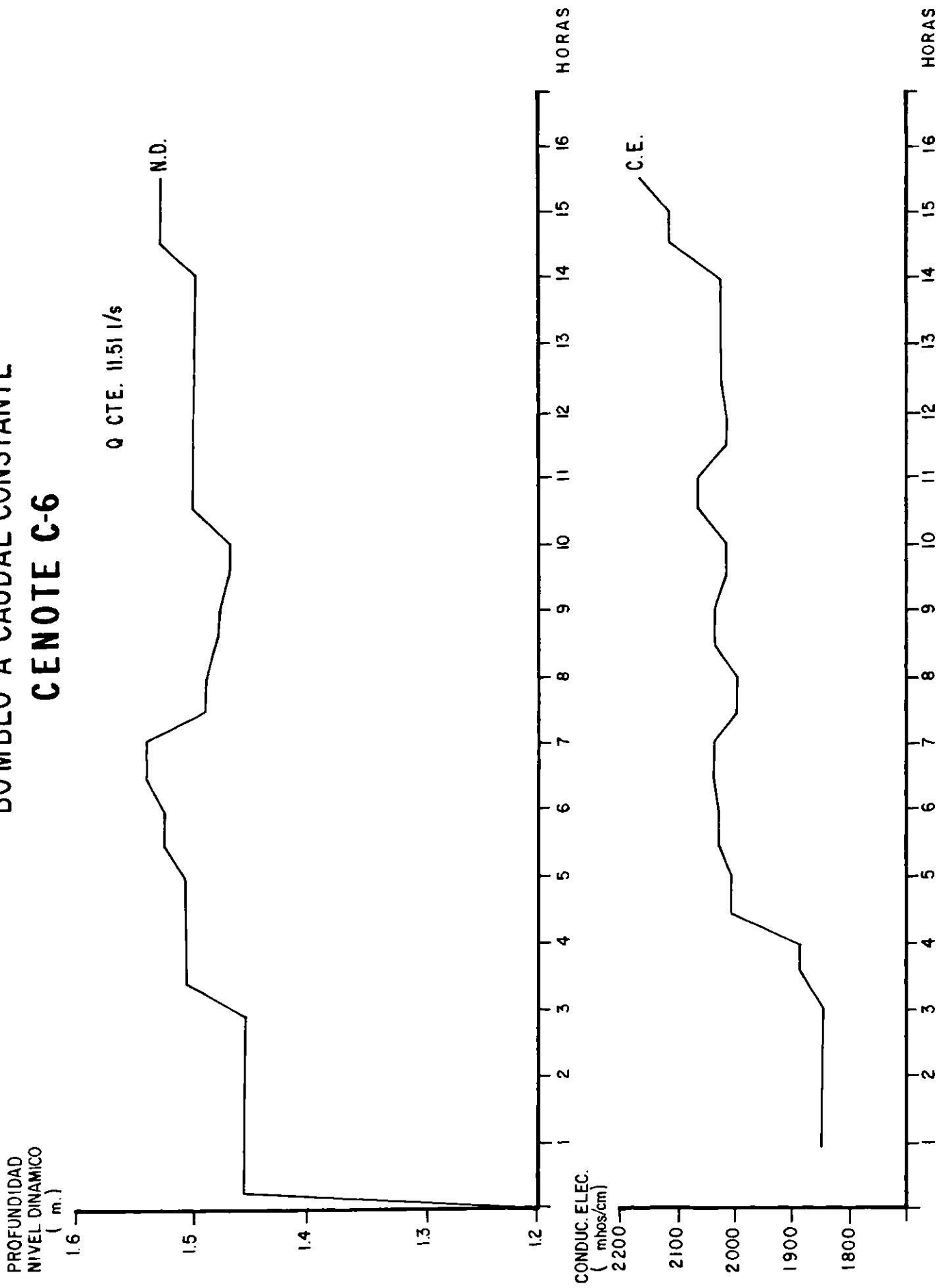


Fig. 4.25



# REGISTRO DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE

FECHA 17 AGOSTO 1988 FUENTE CENOTE C-23 PROFUNDIDAD 4.5 m  
 LOCALIZACION HDA. SANTA ROSA MUNICIPIO PROGRESO EDO. YUCATAN  
 PERFORACION ØADEME m TUBERIA CIEGA Ø m RANURADA Ø m  
 BOMBA MARCA FAIRBANKS MORSE MODELO Ø DESCARGA 5"  
 LONG. COLUMNA 4.5 TAZONES Ø 5" TPO SEMIABIERTO  
 HP MAXIMO Ø R.P.M. MAXIMO Ø CAUDAL 13.01 l/s  
 N.E. PRUEBA 3.370 m DISTANCIA PIEZOMETRO 4.0 m N.E. PIEZOMETRO 3.365 m

FECHA	HORA	TIEMPO	NIVEL DINAMICO PRUEBA(m)	ABATIMIENTO PRUEBA (m)	NIVEL DINAMICO PIEZOMETRO(m)	ABATIMIENTO PIEZOMETRO (m)	T (°C)	C E (mhos/cm)	P.H.
17/AGO/88	04:15	00.00							
17/AGO/88	04:30	00.25	3.450	0.080	3.435	0.070		1470	6.98
17/AGO/88	07:15	03:00	3.460	0.090	3.430	0.065		1450	6.92
17/AGO/88	10:15	06.00	3.450	0.080	3.440	0.075		1450	6.82
17/AGO/88	13:15	09.00	3.450	0.080	3.440	0.075		1414	6.85
17/AGO/88	16:15	12.00	3.450	0.080	3.435	0.070		1402	6.85
17/AGO/88	19:15	15.00	3.450	0.080	3.430	0.065		1460	6.95
17/AGO/88	22:15	18.00	3.450	0.080	3.440	0.075		1488	6.96
18/AGO/88	01:15	21.00	3.460	0.090	3.425	0.060		1475	6.99
18/AGO/88	04:15	24.00	3.445	0.075	3.425	0.060		1481	6.91
18/AGO/88	07:15	27.00	3.430	0.060	3.430	0.065		1453	6.91
18/AGO/88	10:15	30.00	3.460	0.090	3.465	0.100		1496	6.87
18/AGO/88	13:15	33.00	3.465	0.095	3.455	0.090		1460	6.87

RESERVACIONES \_\_\_\_\_

# BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE CENOTE C-23

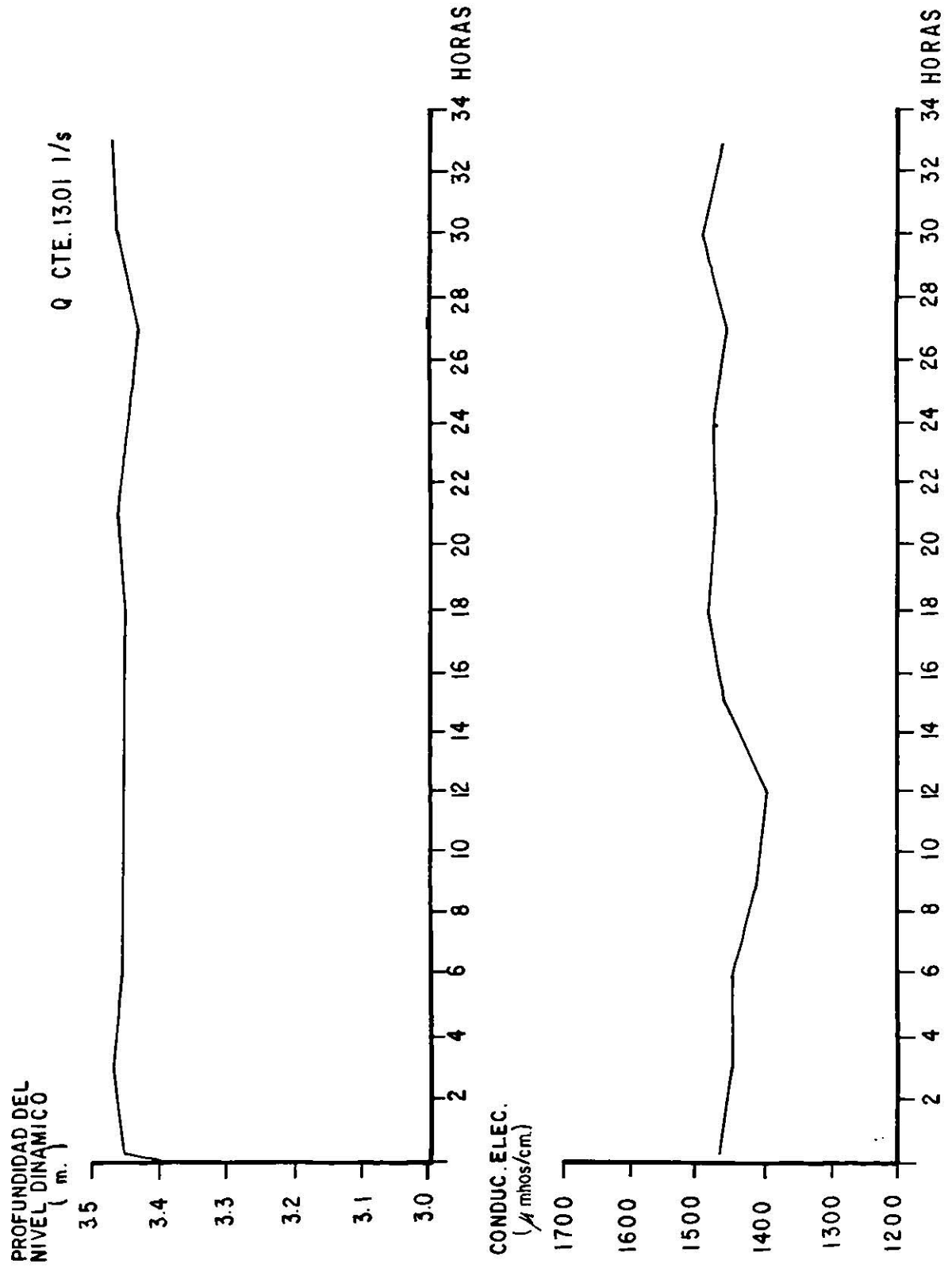


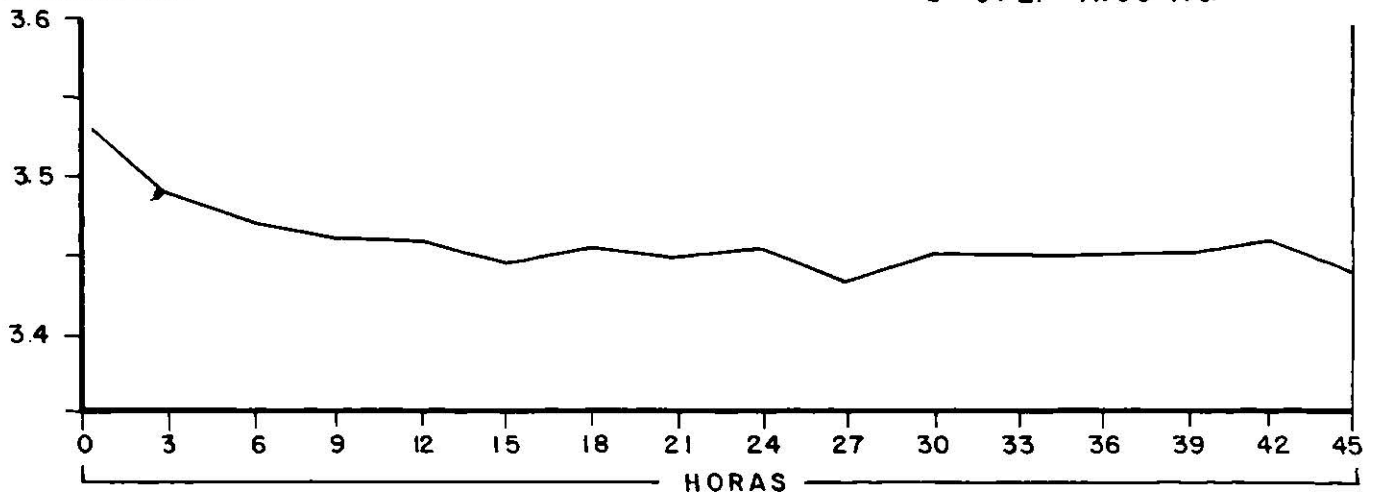
Fig. 4.26



# BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE CENOTE C-29

Nivel Dinámico  
(Profundidad en m.)

Q CTE. 11.03 l/s.



Conduc. Elec.  
( $\mu$  mhos/cm.)

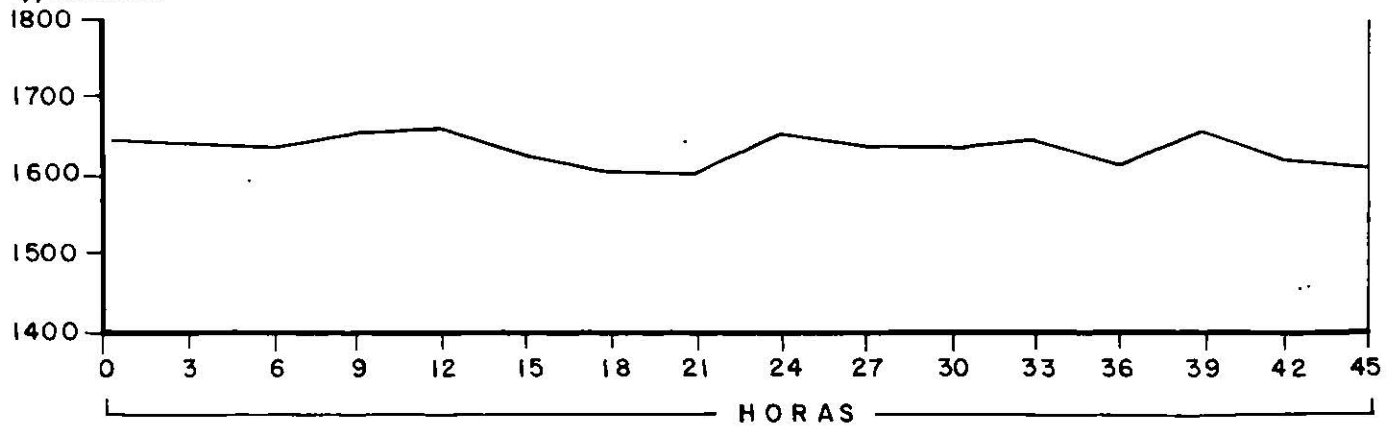
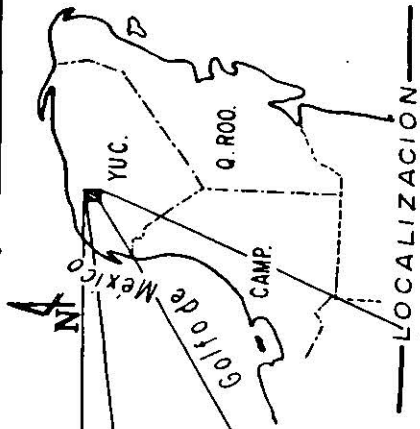
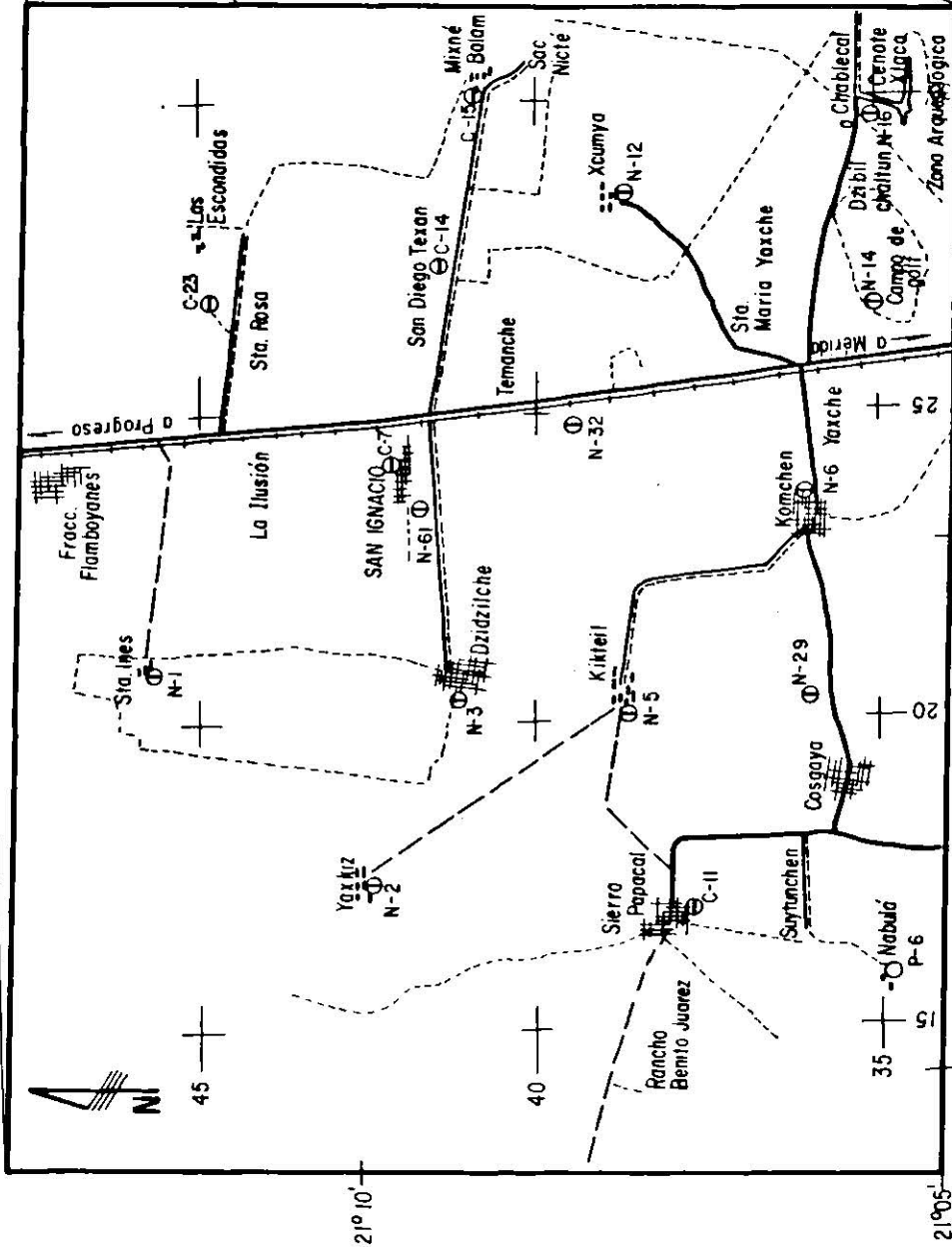


Fig. 4.27



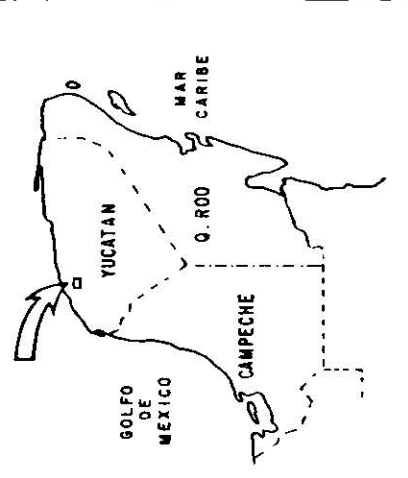
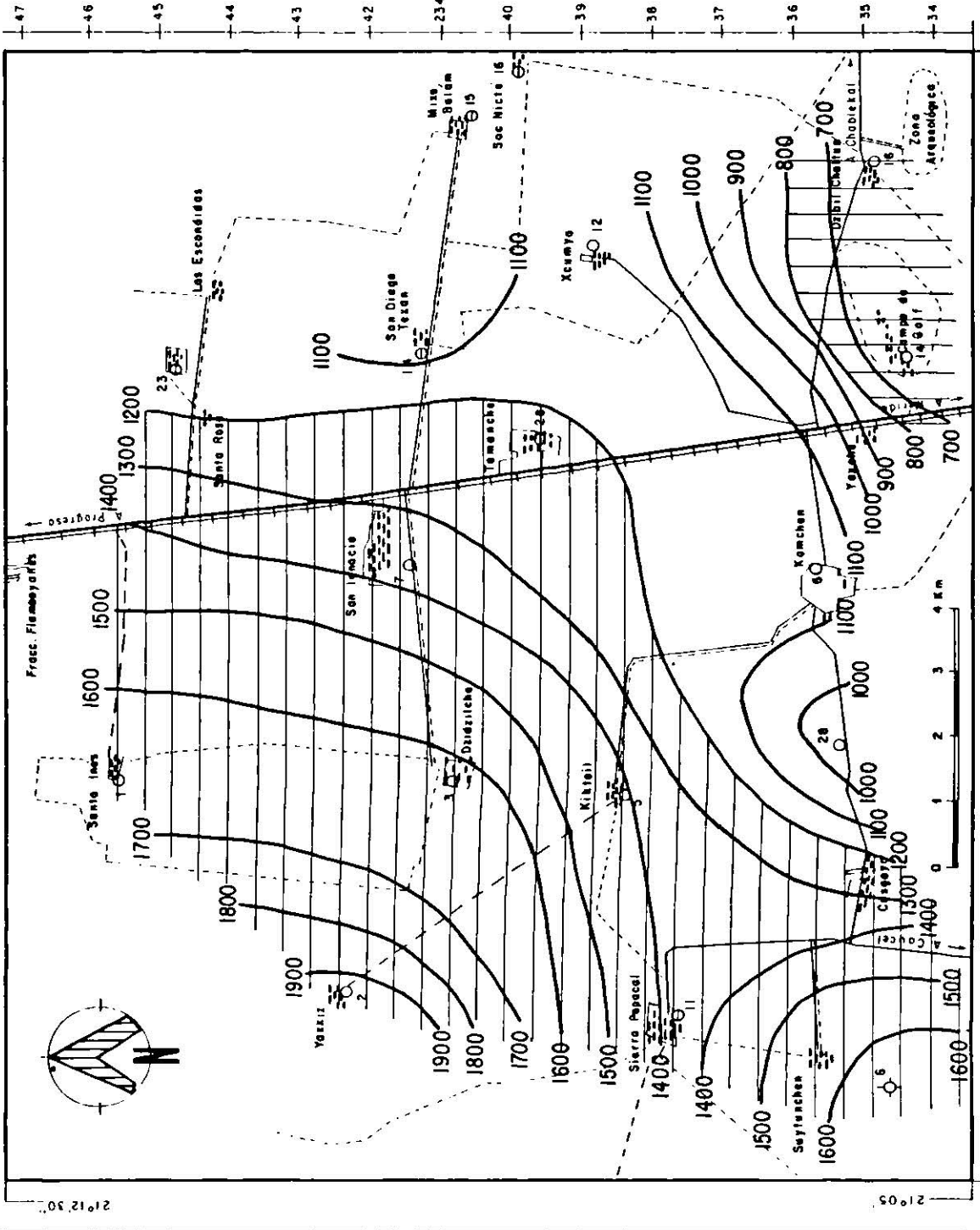
### SIMBOLOGIA

- CARRETERA PAVIMENTADA
- - - BRECHA
- TERRACERIA
- VIA F.F.C.C.
- ZONA URBANA
- CASA AISLADA
- VEREDA
- ⊙ CENOTE PILOTO
- ⊕ NORIA PILOTO
- POZO PILOTO

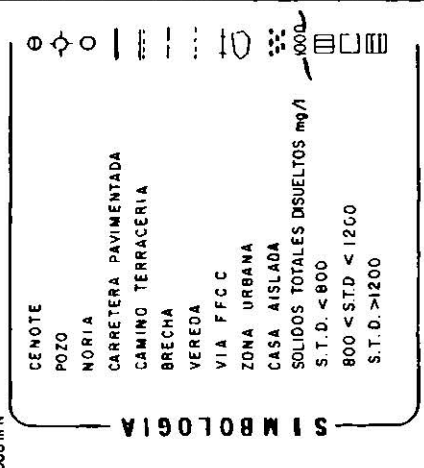


UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
LOCALIZACION DE APROVECHA- MIENTOS MUESTREADOS.	
TRABAJO RECEPTACIONAL	
Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.1	

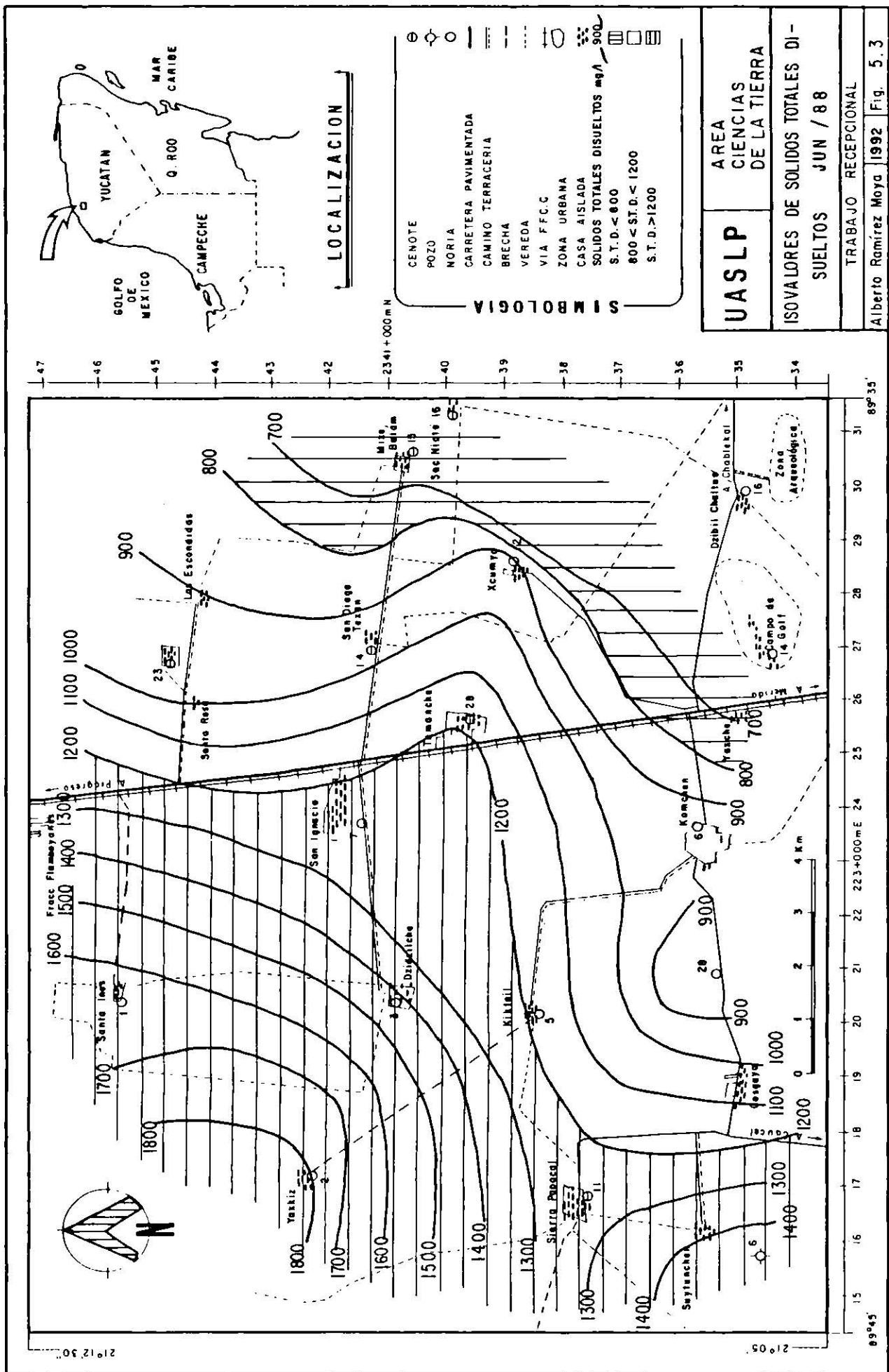




LOCALIZACION



<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS FEB / 88	
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya   1992   Fig. 5.2	



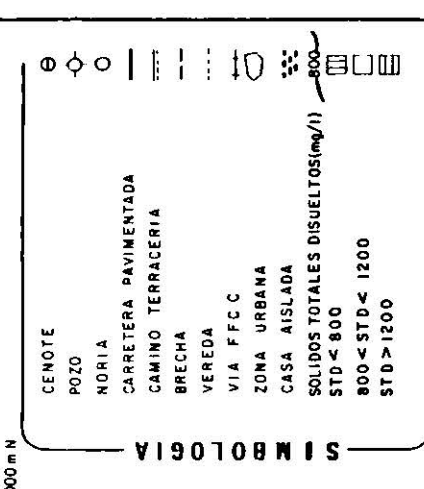
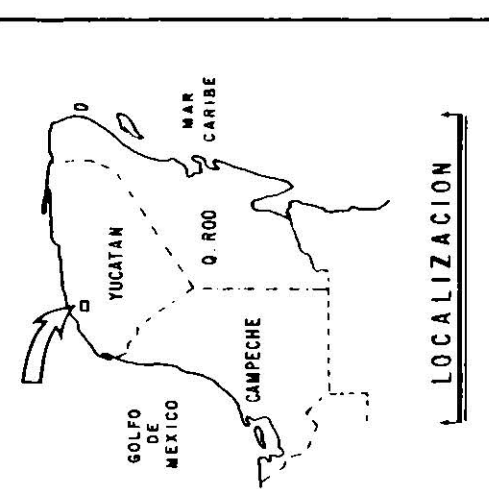
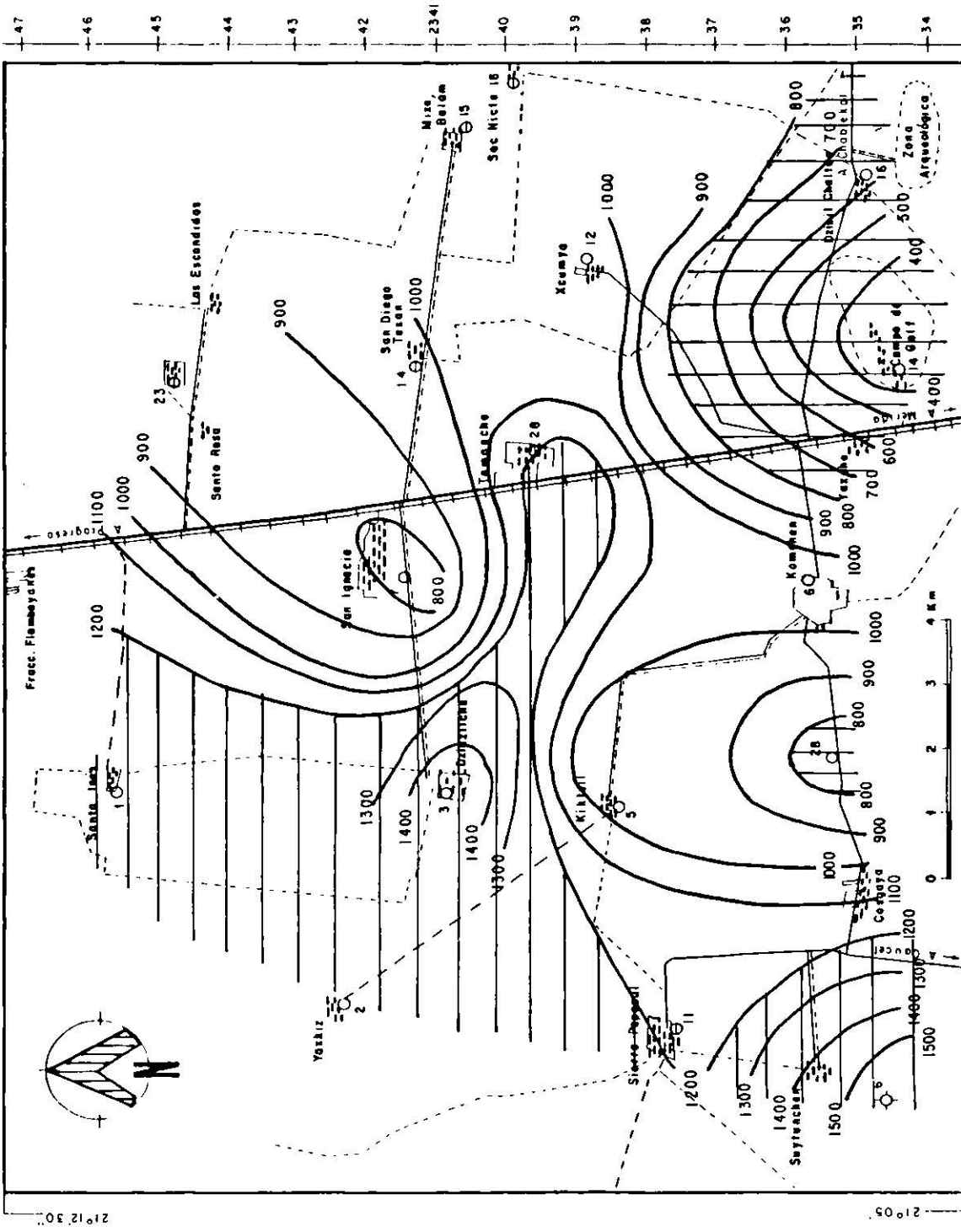
**UASLP**

AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

ISOVALORES DE SOLIDOS TOTALES DI-  
SUELTOS JUN / 88

TRABAJO RECEPCIONAL

Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.3



<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE SOLIDOS TOTALES DISUELTOS AGO/88	
TRABAJO	RECEPCIONAL
Alberto Ramírez Moya	1992 Fig. 5.4

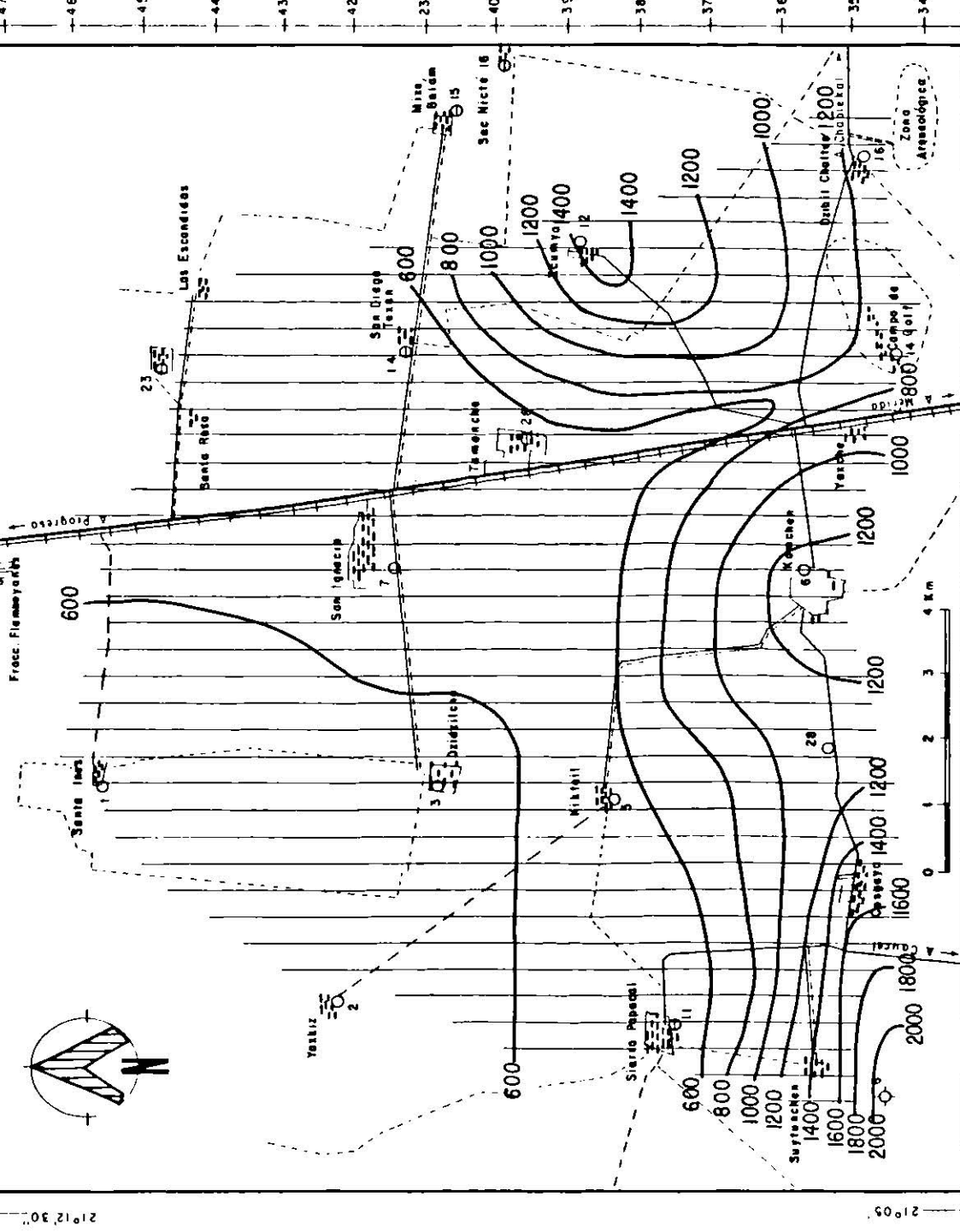
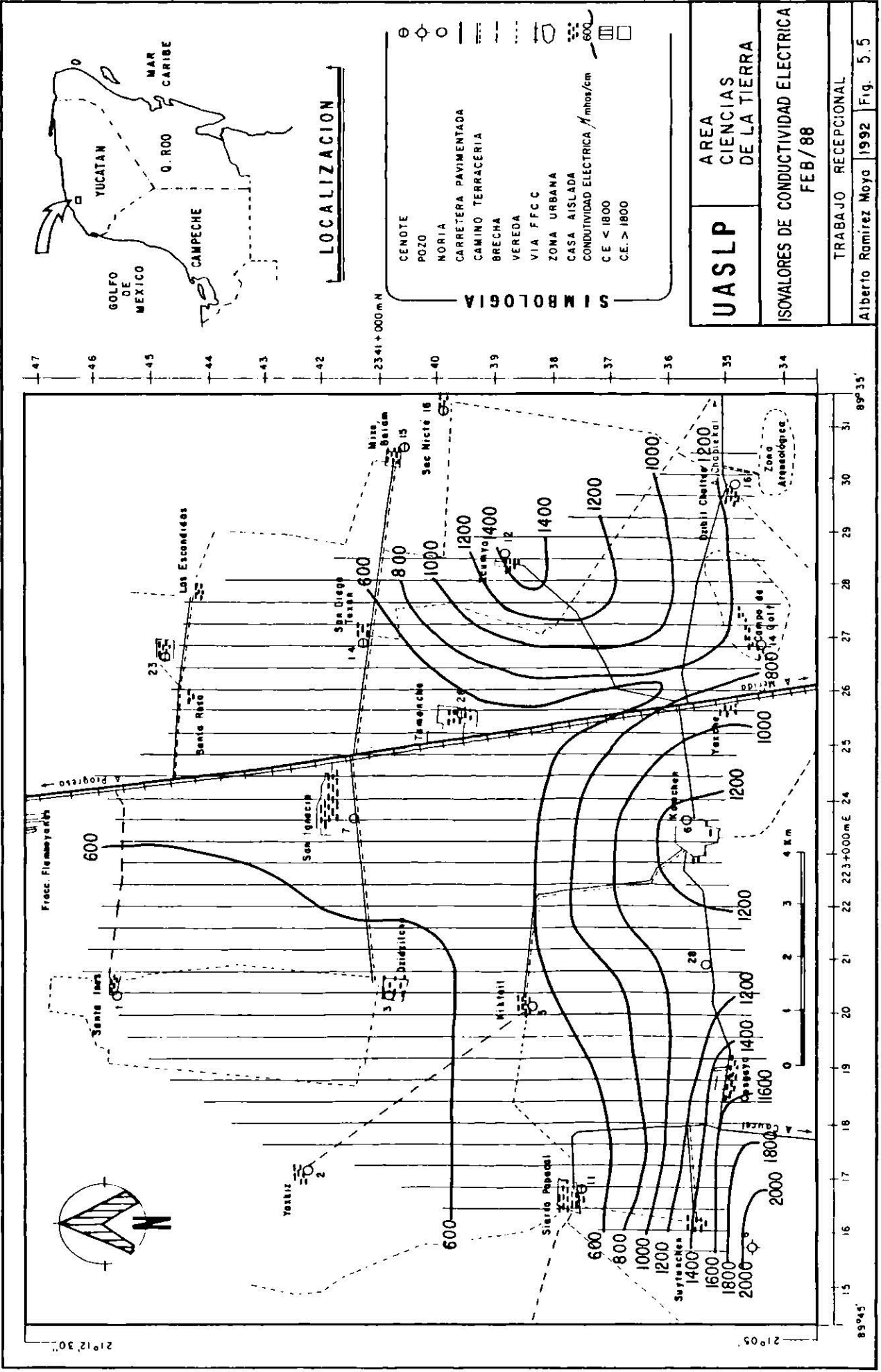
21° 12' 30"

21° 05'

89° 45'

89° 35'





- SIMBOLOGIA**
- CENOTE
  - POZO
  - MORIA
  - CARRETERA PAVIMENTADA
  - CAMINO TERRACERIA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - VIA FFCC
  - ZONA URBANA
  - CASA AISLADA
  - CONDUCTIVIDAD ELECTRICA / mhos/cm
  - 600
  - CE < 1800
  - CE > 1800

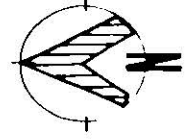
**UASLP**  
 AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

ISOVALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA  
 FEB/88

TRABAJO RECEPTACIONAL  
 Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.5

47 46 45 44 43 42 23 41+000 m N 40 39 38 37 36 35 34

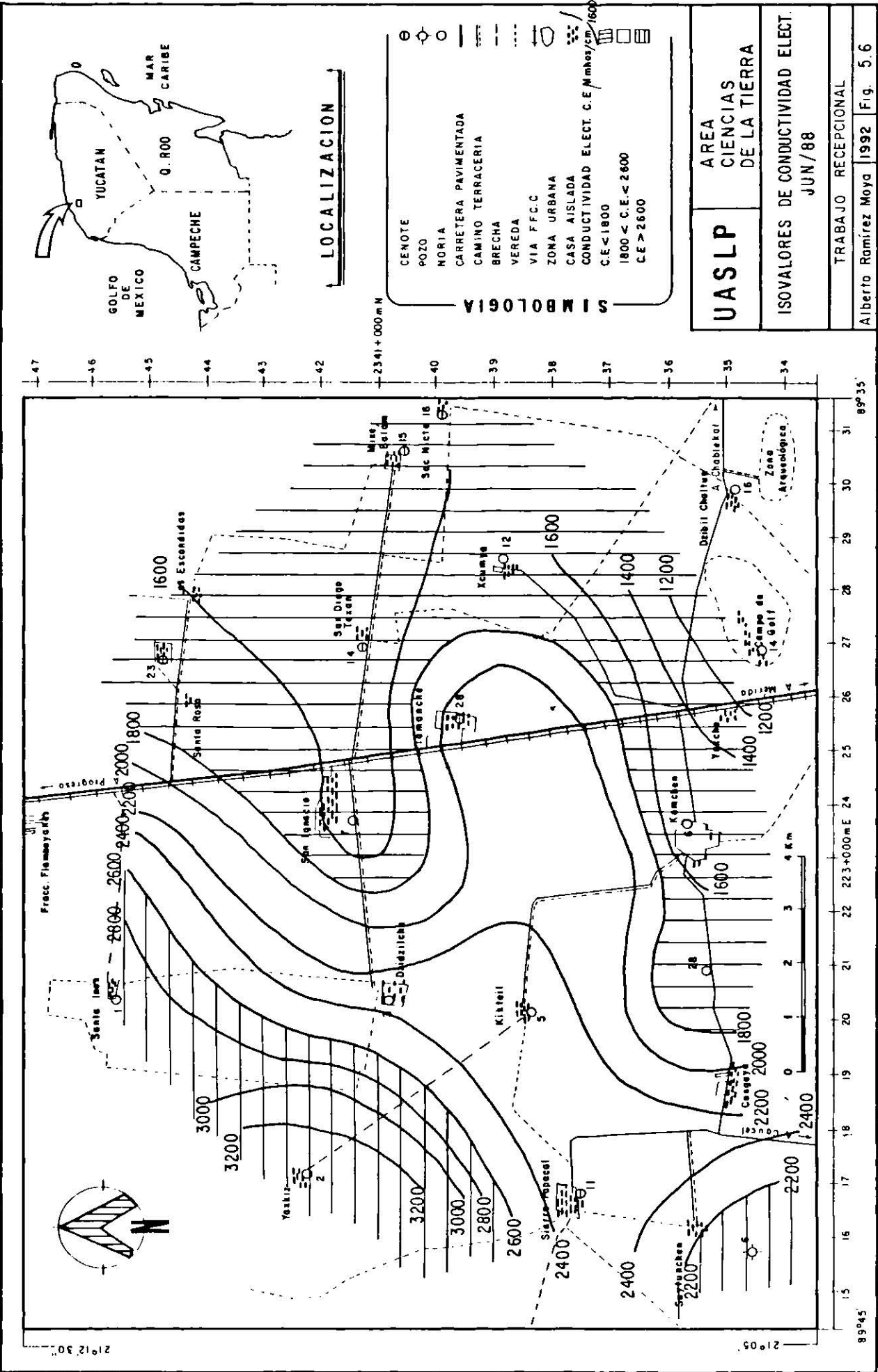
15 16 17 18 19 20 21 22 23+000 m E 24 25 26 27 28 29 30 31 90° 35'



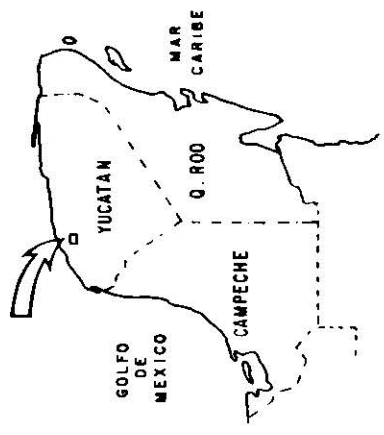
0 1 2 3 4 km

21°12' 30"

21°05'



**LOCALIZACION**



- SIMBOLOGIA**
- CENOTE
  - POZO
  - NORIA
  - CARRETERA PAVIMENTADA
  - CAMINO TERRACERA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - VIA FFCC
  - ZONA URBANA
  - CASA AISLADA
  - CONDUCTIVIDAD ELECT. C.E.M mhos/cm/1600
  - C.E. < 1800
  - 1800 < C.E. < 2600
  - C.E. > 2600

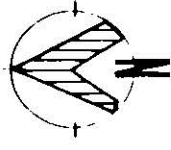
**UASLP**

**AREA CIENCIAS DE LA TIERRA**

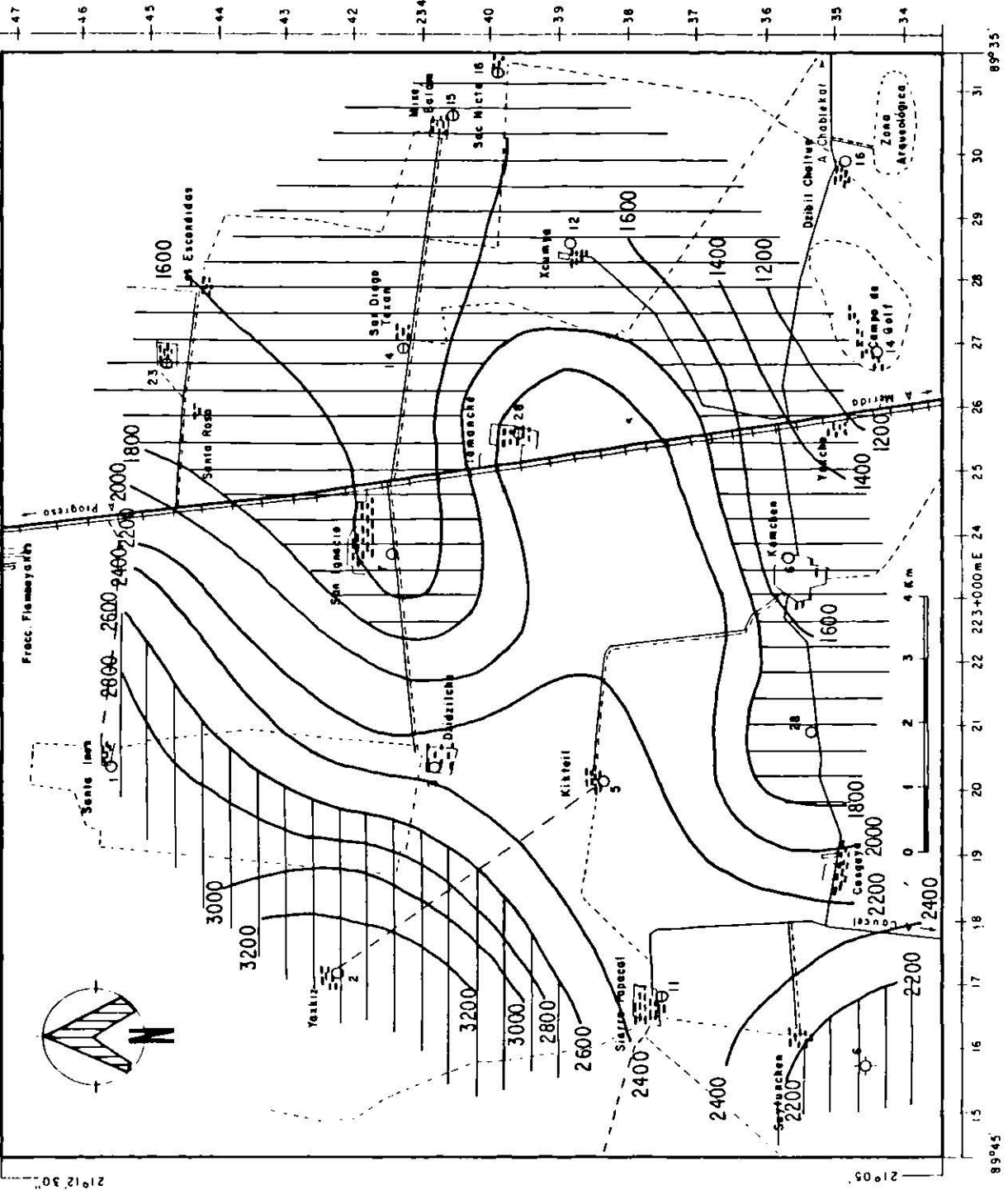
**ISOVALORES DE CONDUCTIVIDAD ELECT. JUN/88**

TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberto Ramírez Moya 1992 Fig. 5.6

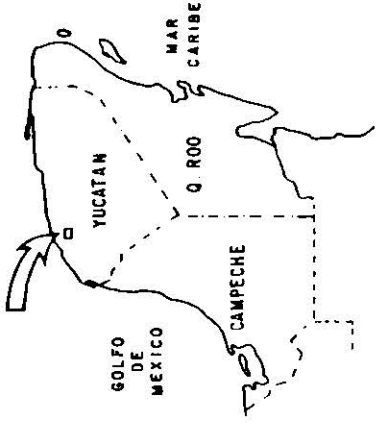
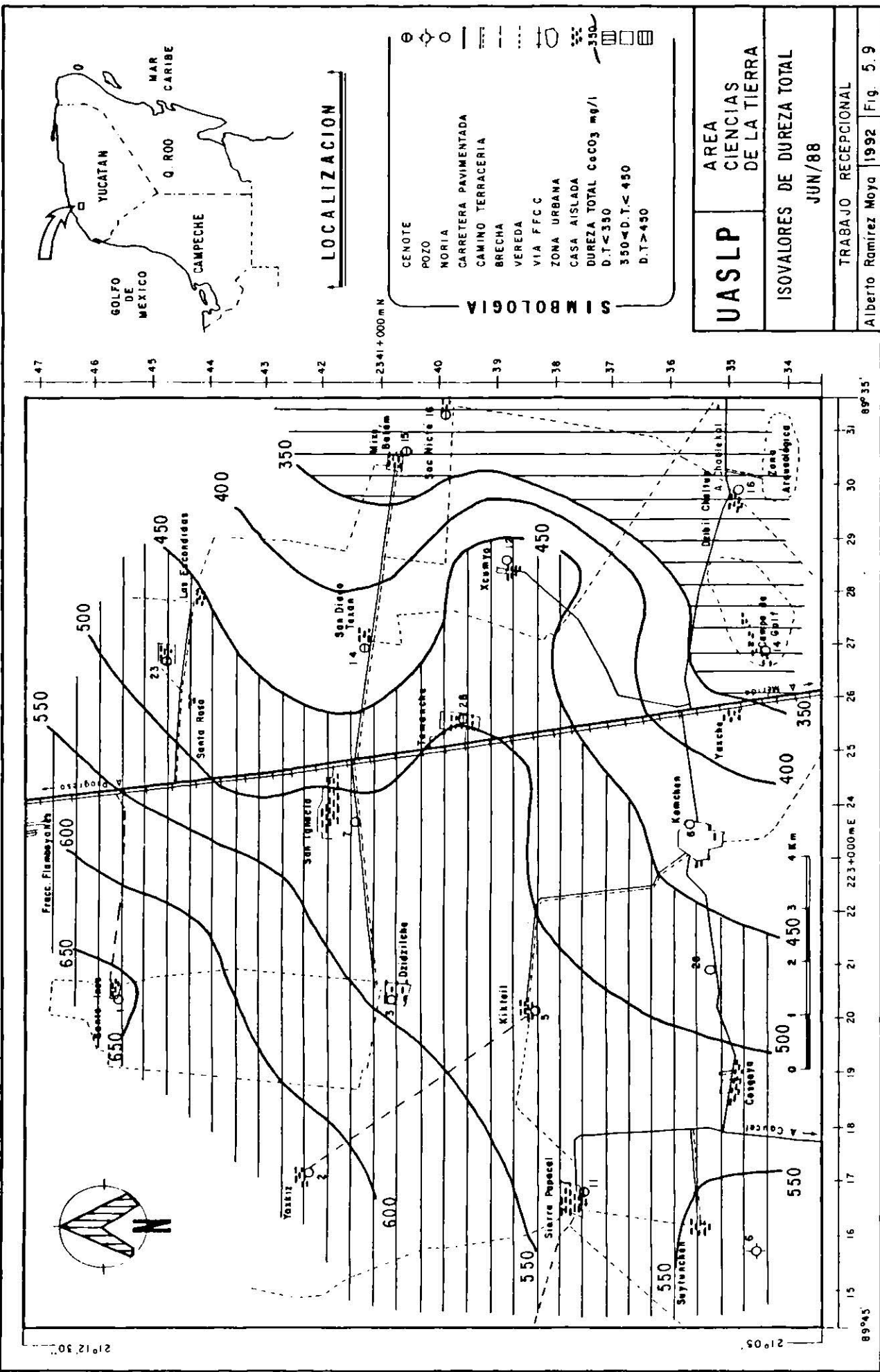


0 1 2 3 4 km









LOCALIZACION

**SIMBOLOGIA**

○	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRERA PAVIMENTADA
—	CAMINO TERRACERA
—	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA FFCG
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
—	DUREZA TOTAL CaCO <sub>3</sub> mg/l
—	D.T < 350
—	350 < D.T < 450
—	D.T > 450

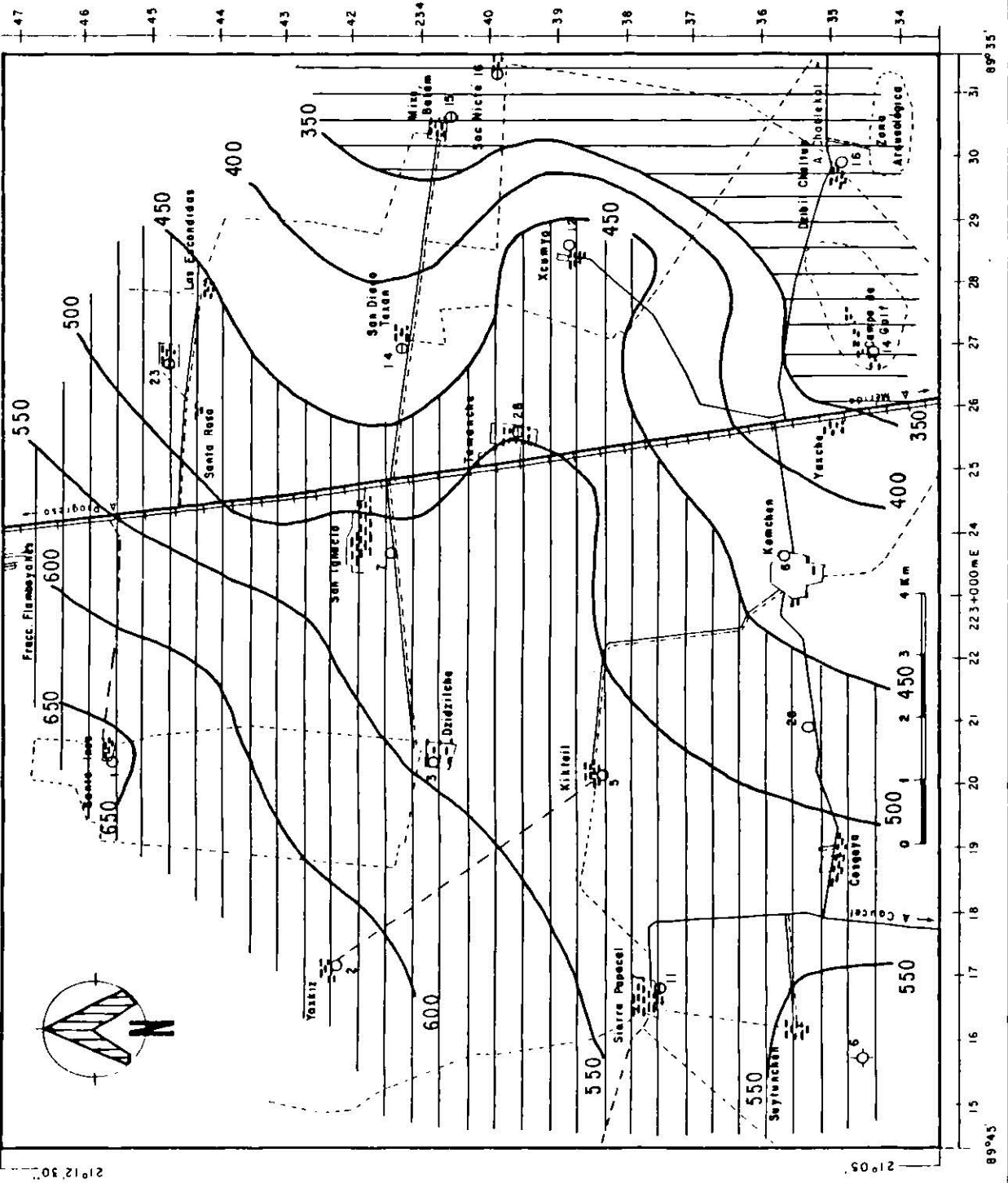
**UASLP**

AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

ISOVALORES DE DUREZA TOTAL  
JUN/88

TRABAJO RECEPTIONAL

Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.9



550

500

450

400

350

650

600

550

500

450

400

350

550

500

450

400

350

650

600

550

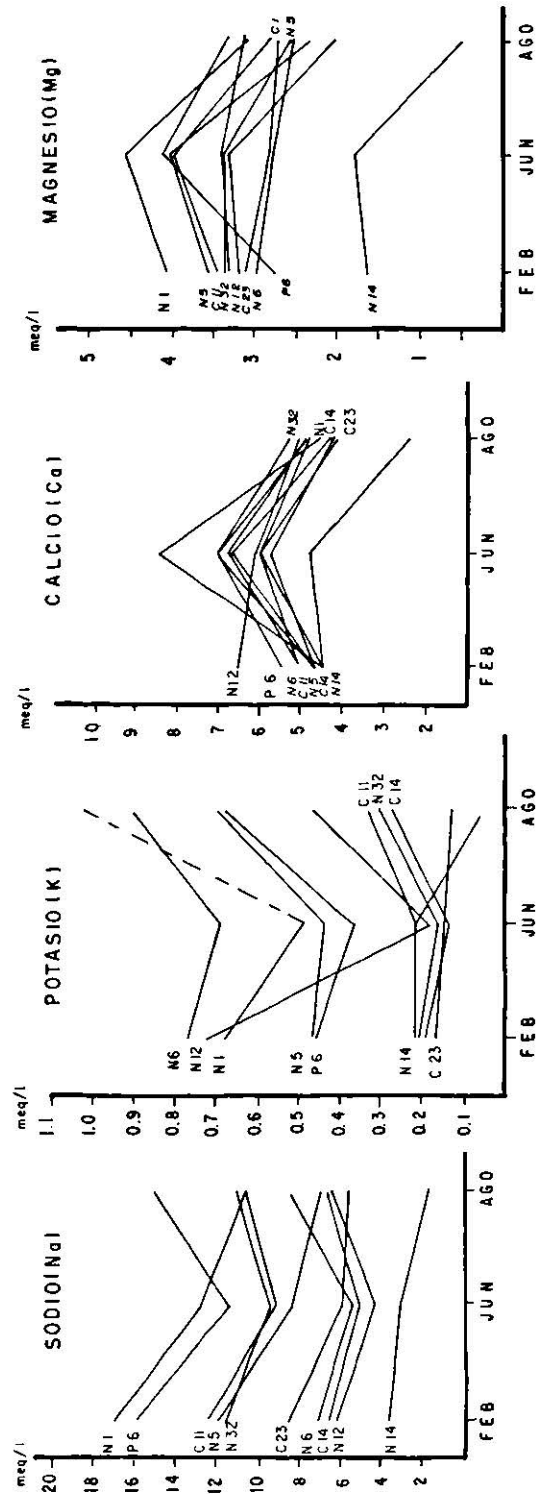
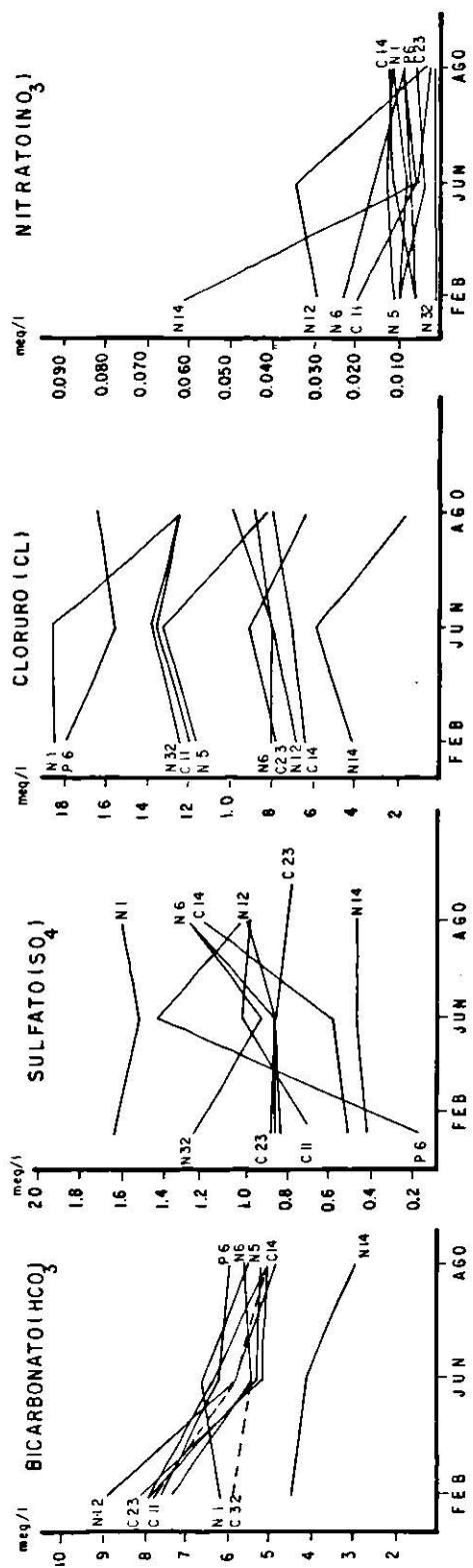
500

450

400

350

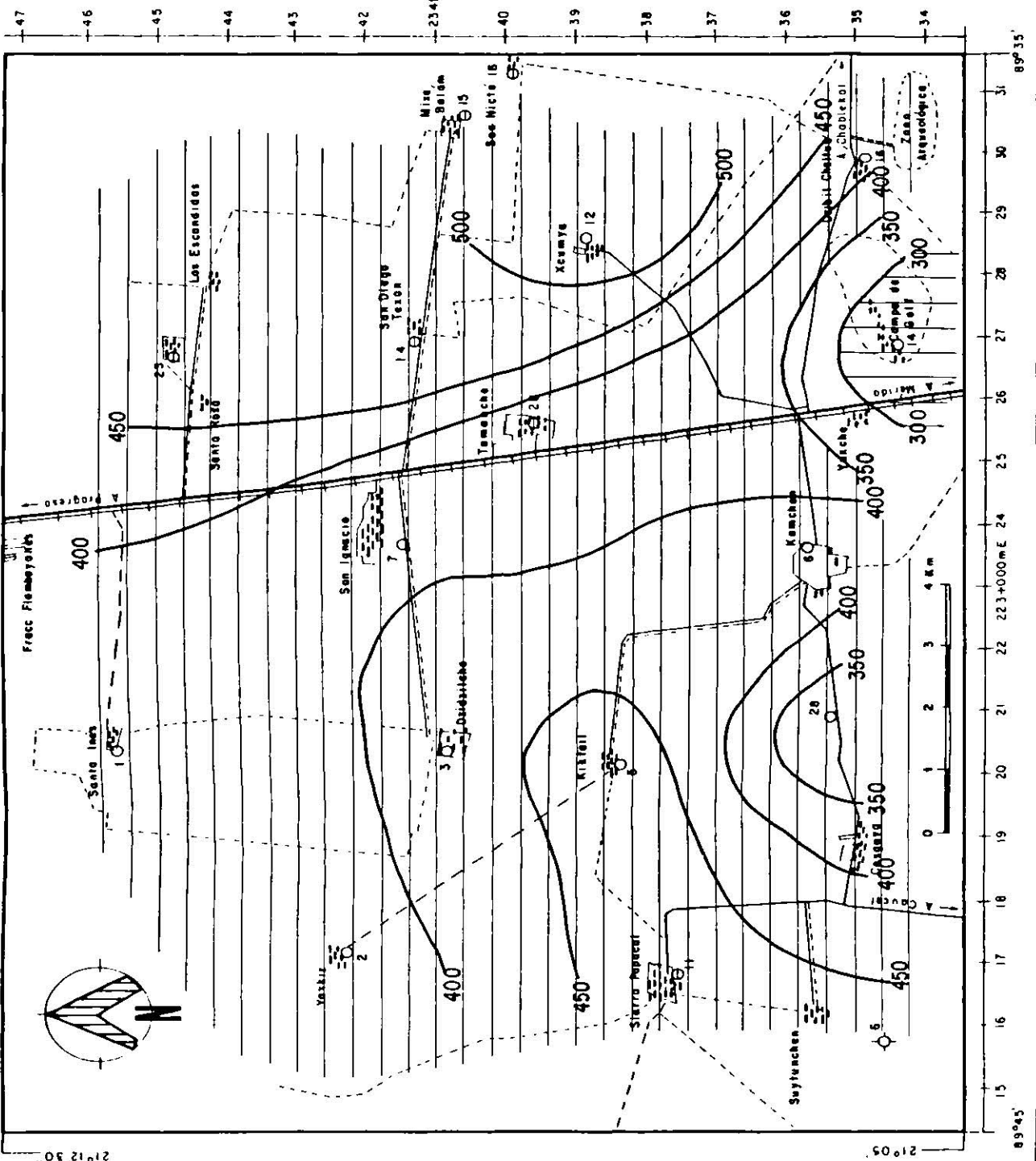
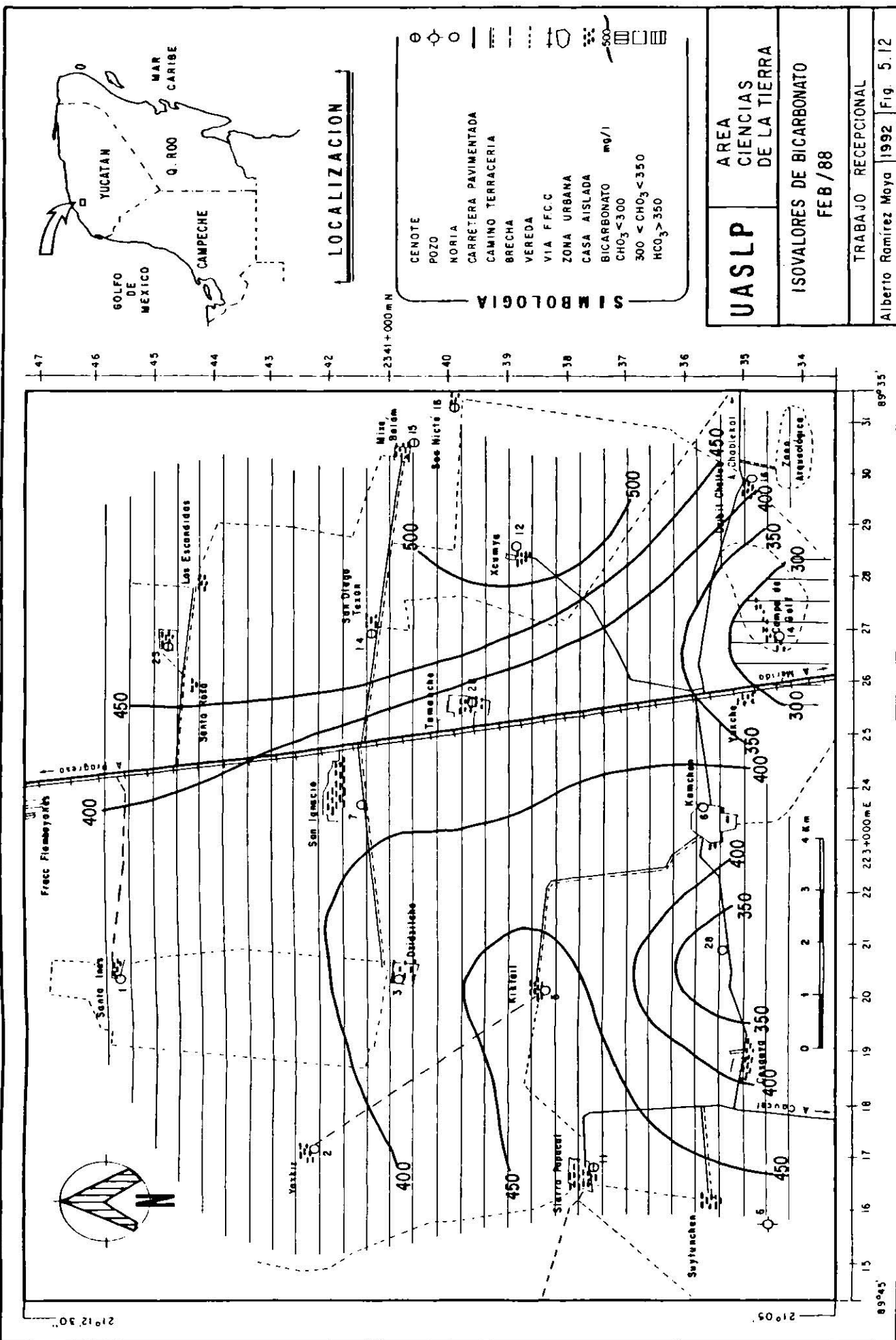




**UASLP**  
AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

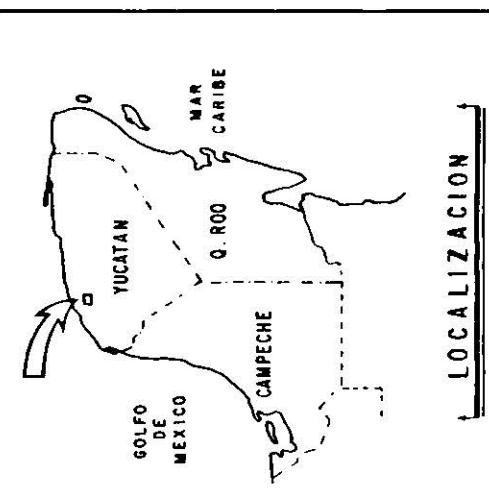
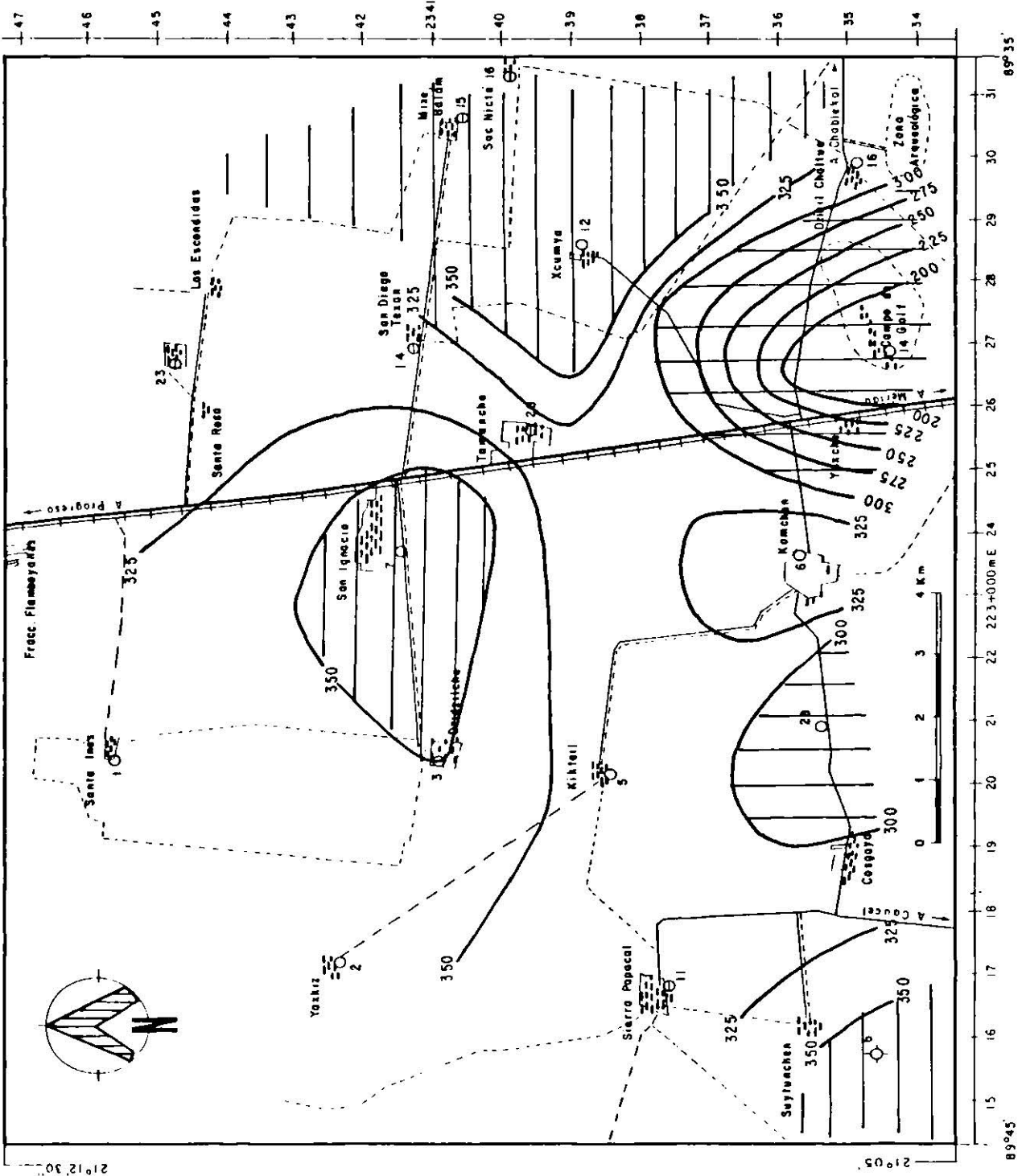
GRAFICA DE CONCENTRACION  
IONICA EN FUNCION AL TIEMPO

TRABAJO RESEPCIONAL  
Alberto Ramirez Moya | 1992 | Fig. 5.11









**SIMBOLOGIA**

⊙	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
—	CAMINO TERRACERIA
—	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA F.F.C.C.
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
—	BICARBONATO (mg/l)
—	$\text{HCO}_3^- < 300$
—	$300 < \text{HCO}_3^- < 350$
—	$\text{HCO}_3^- > 350$
3	

**UASLP**

AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

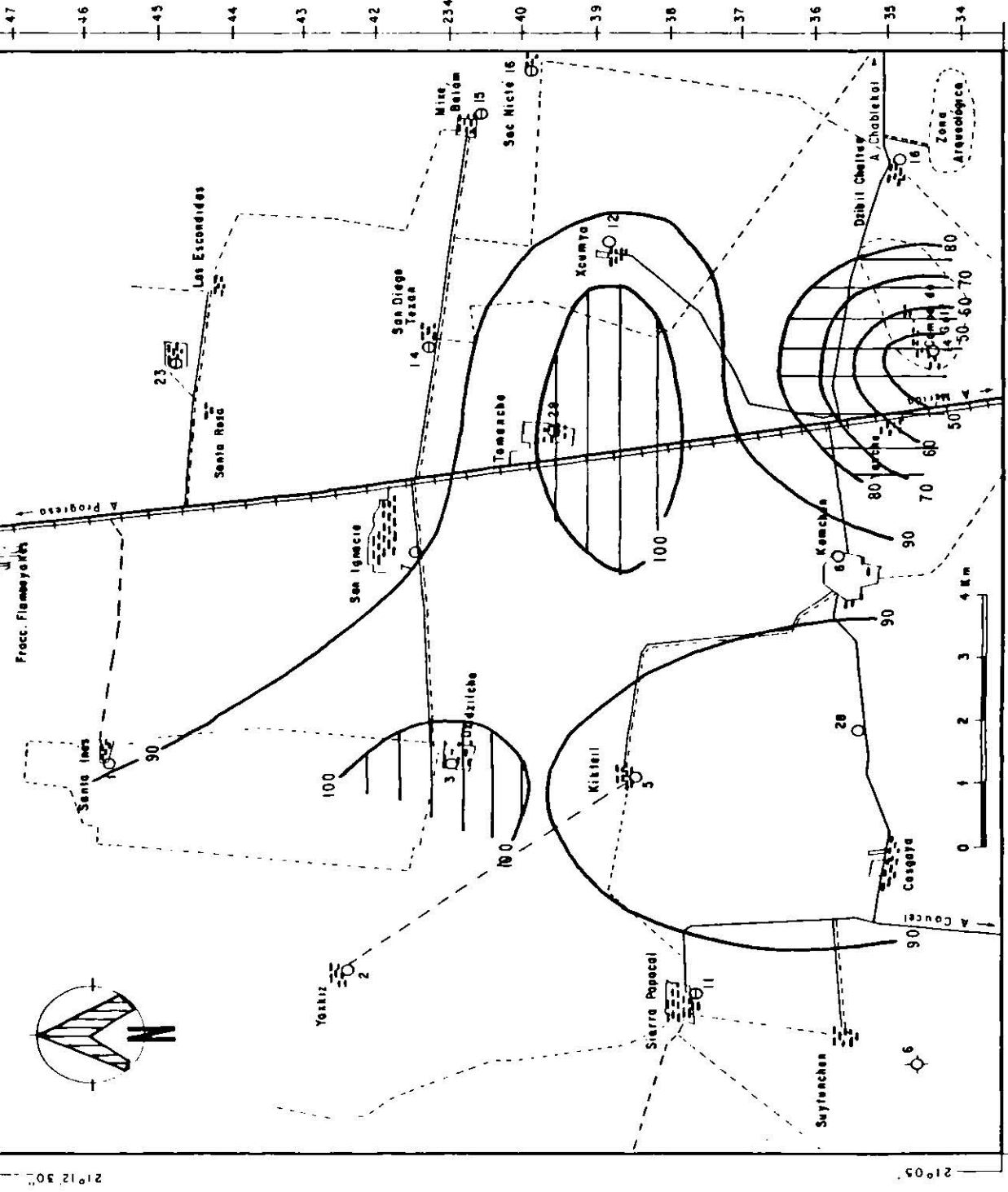
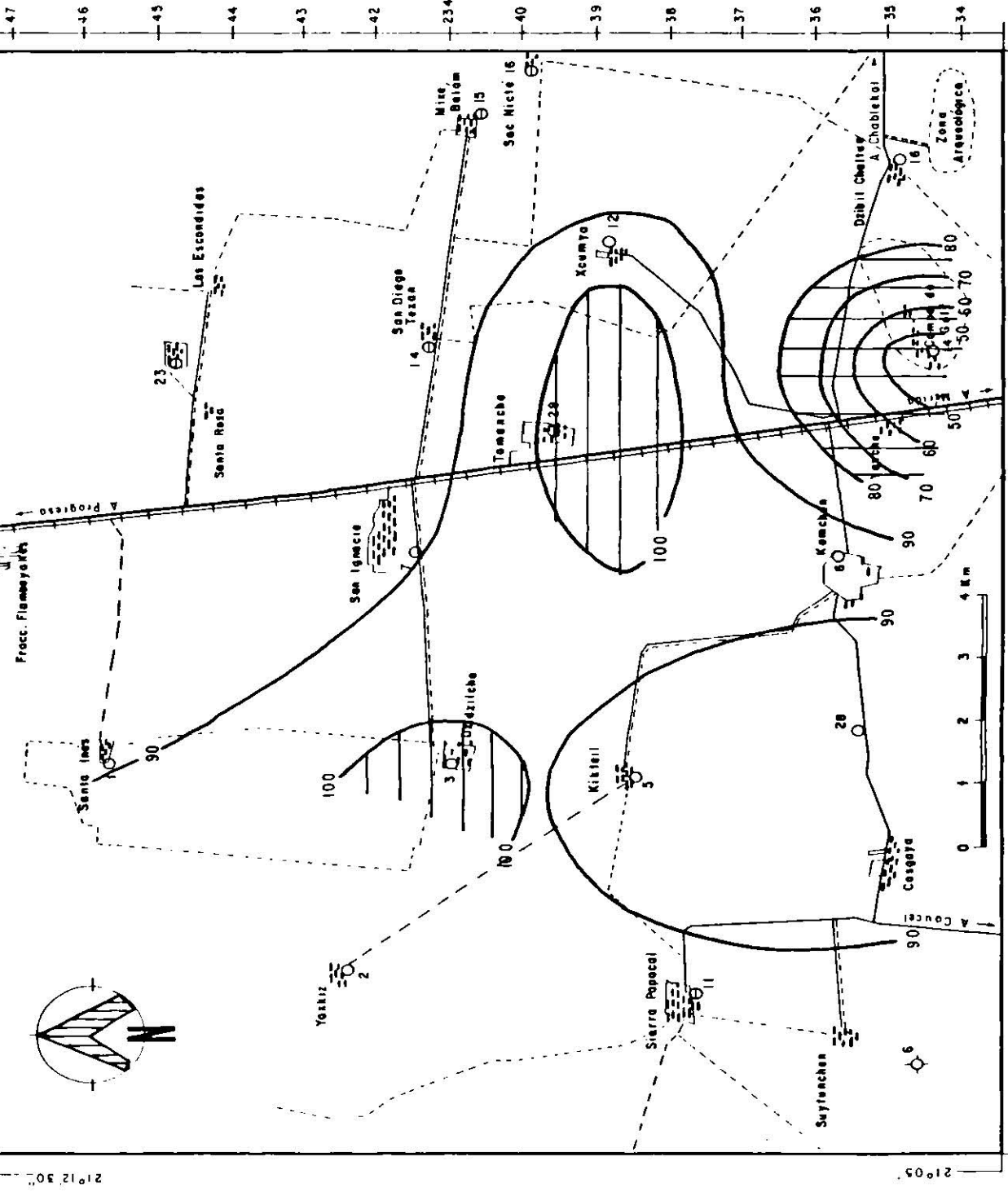
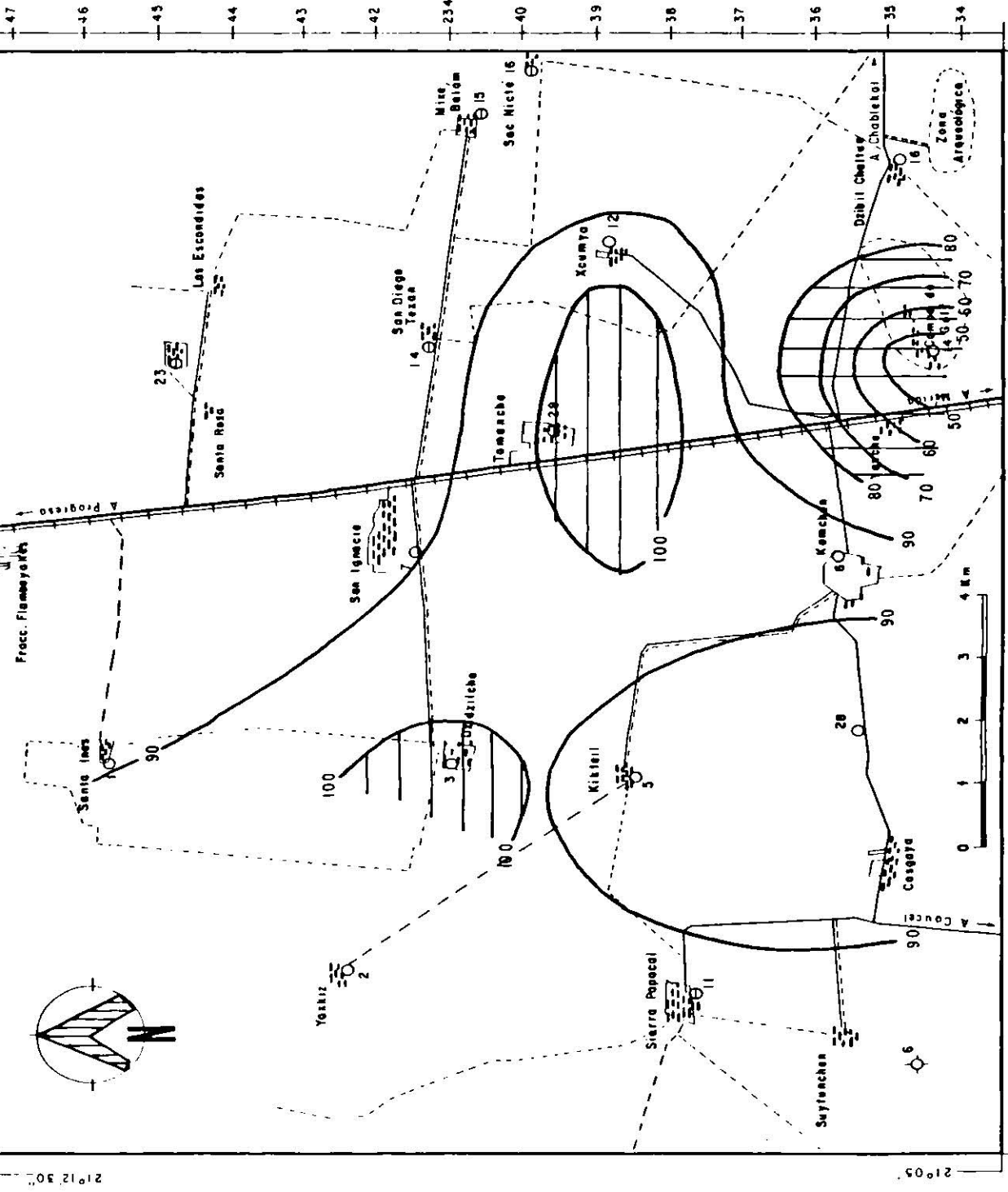
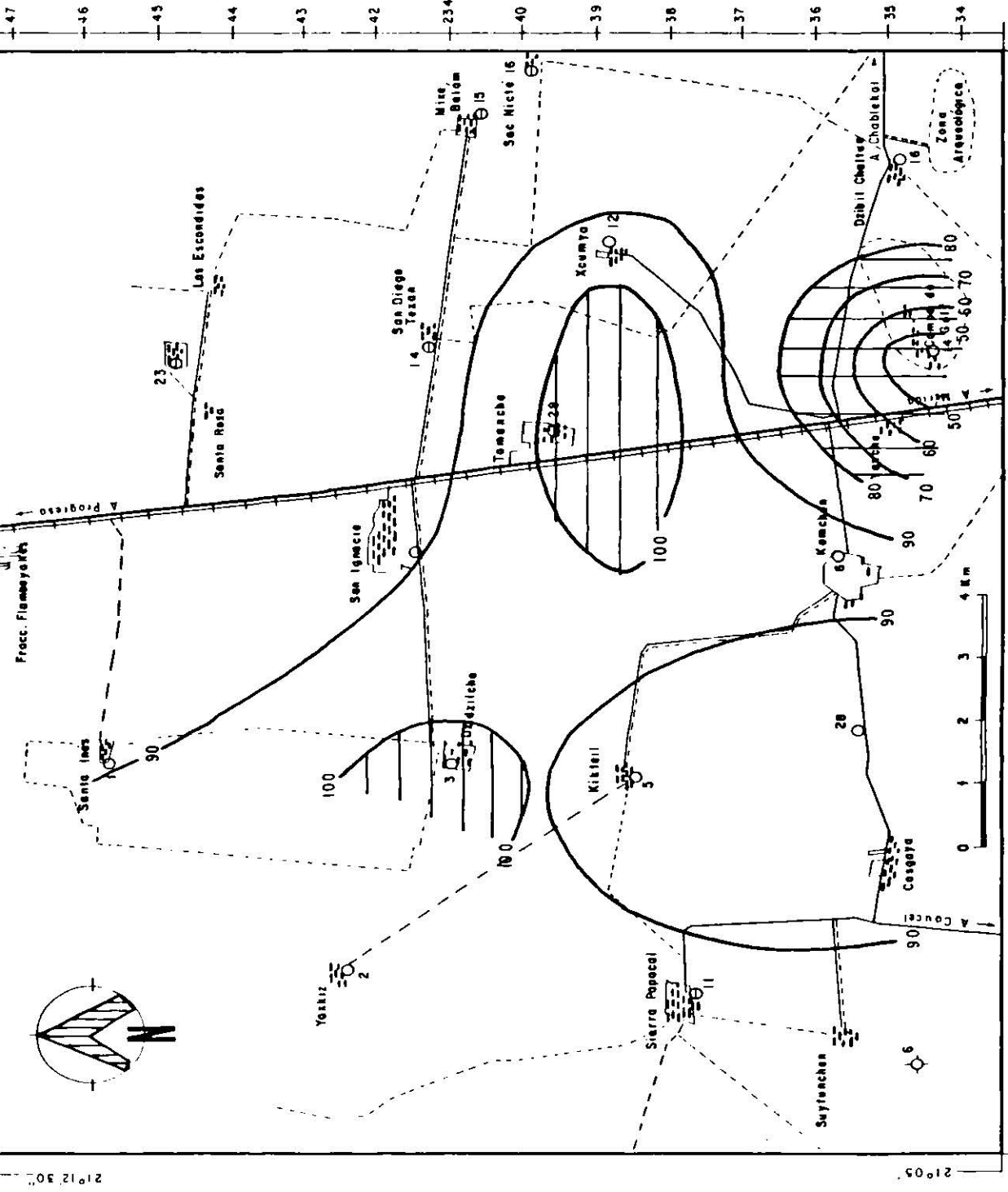
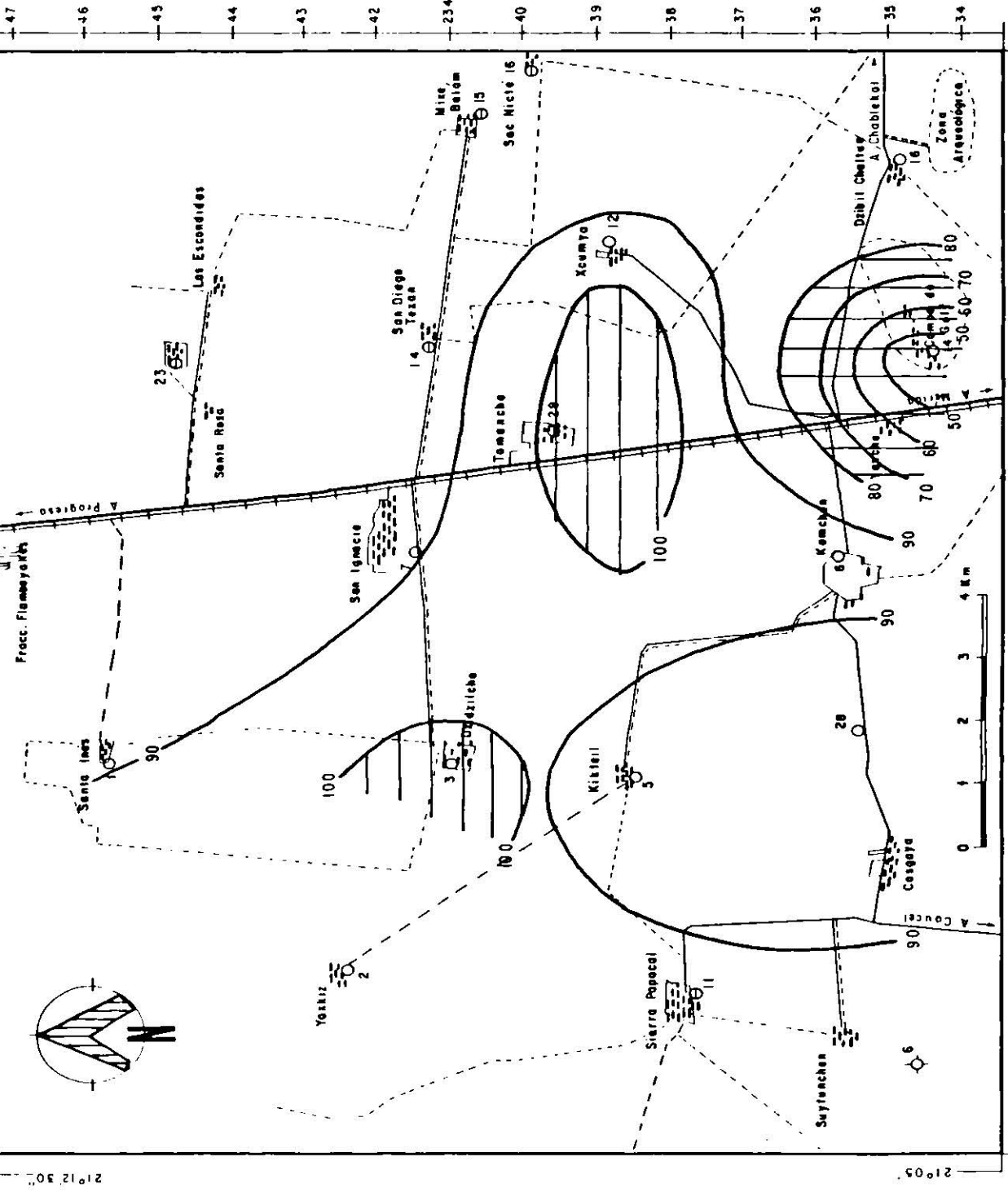
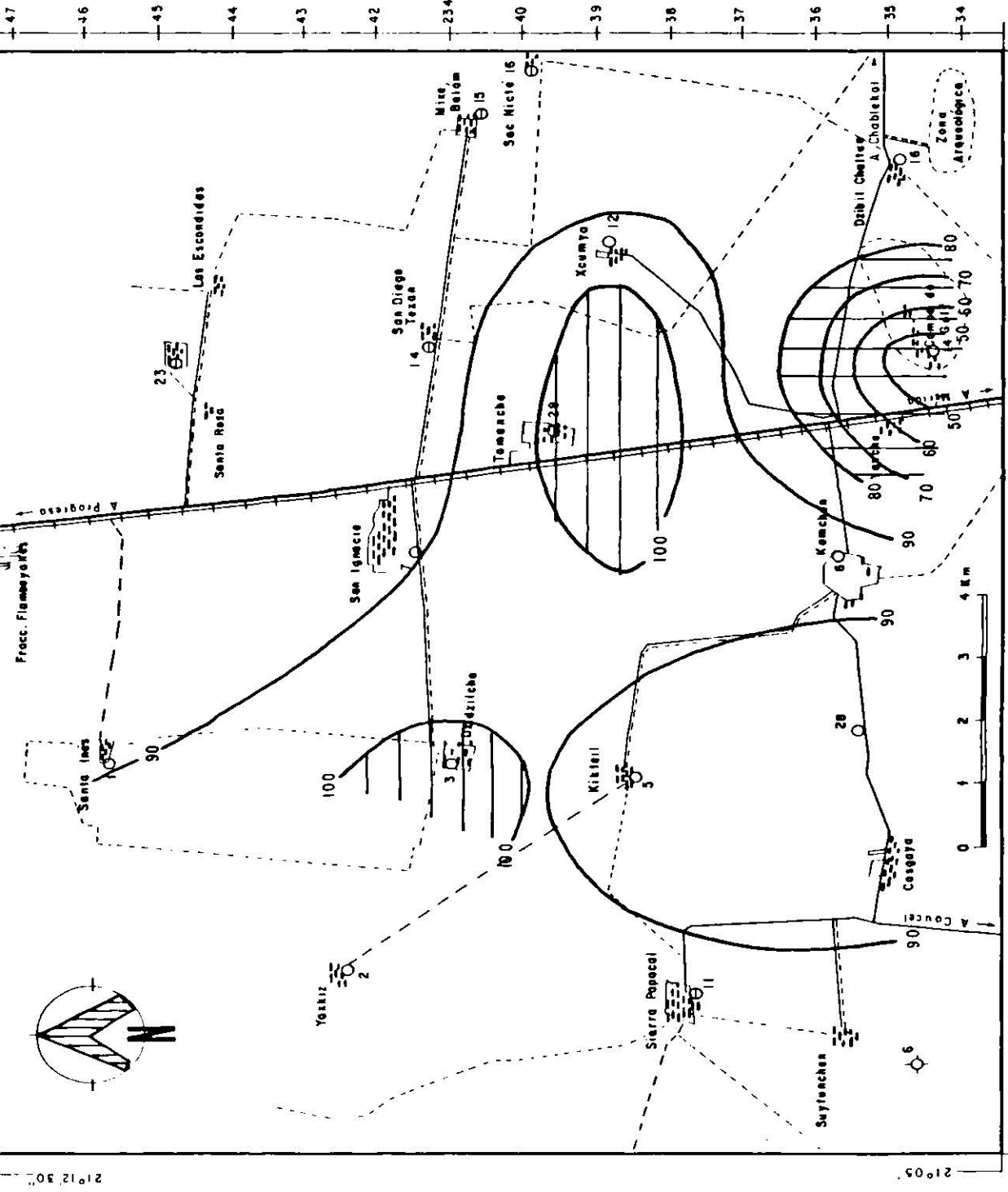
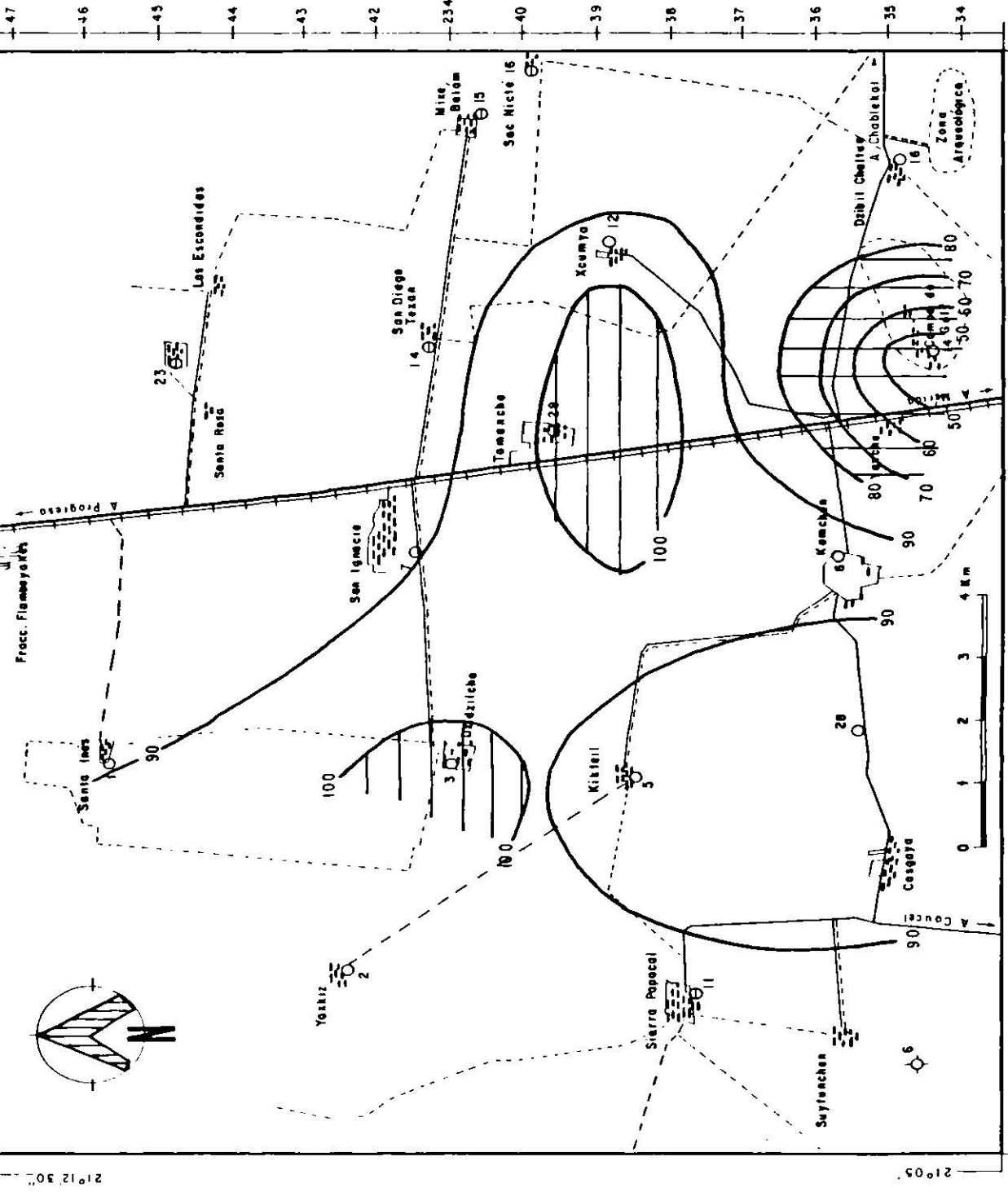
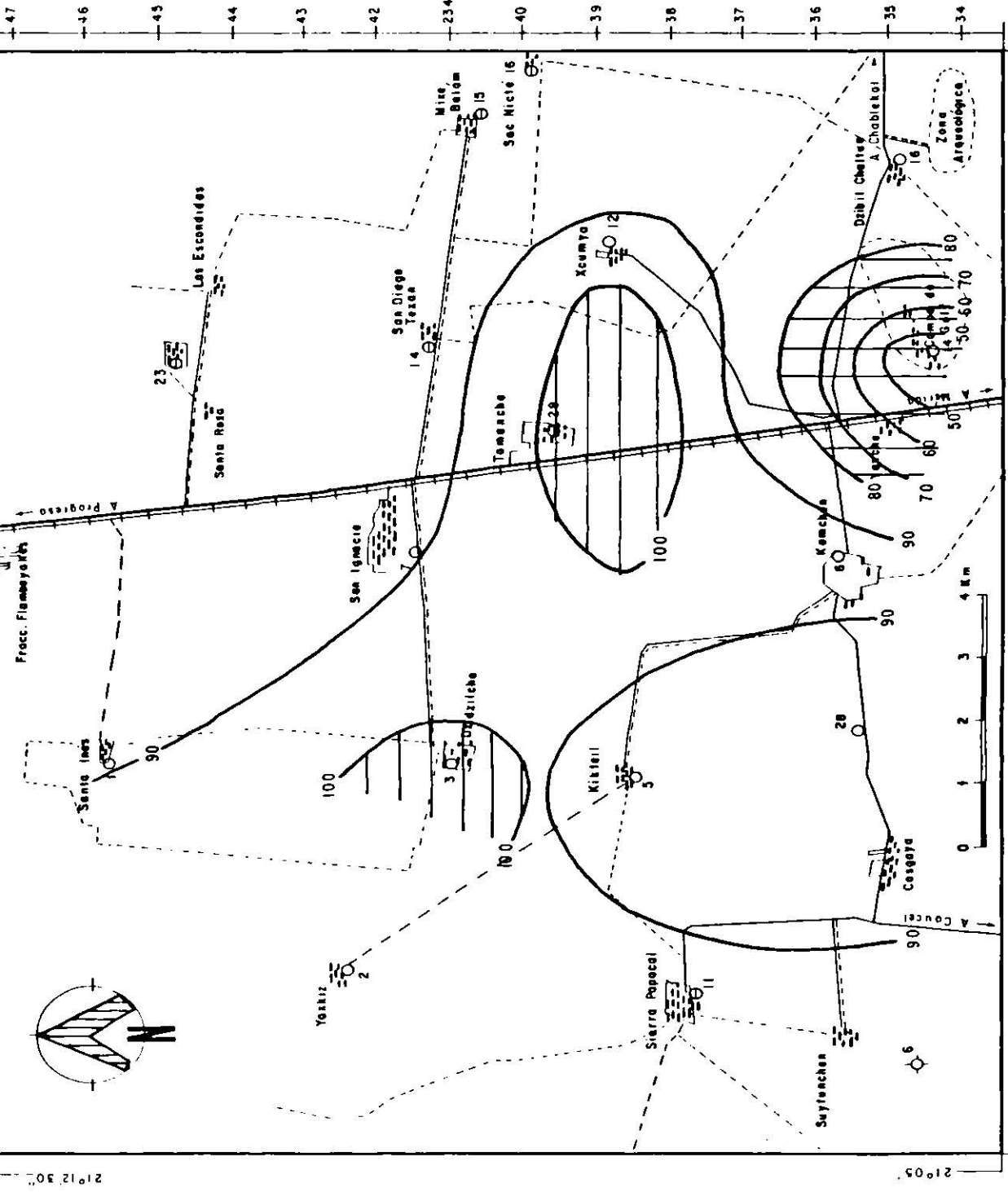
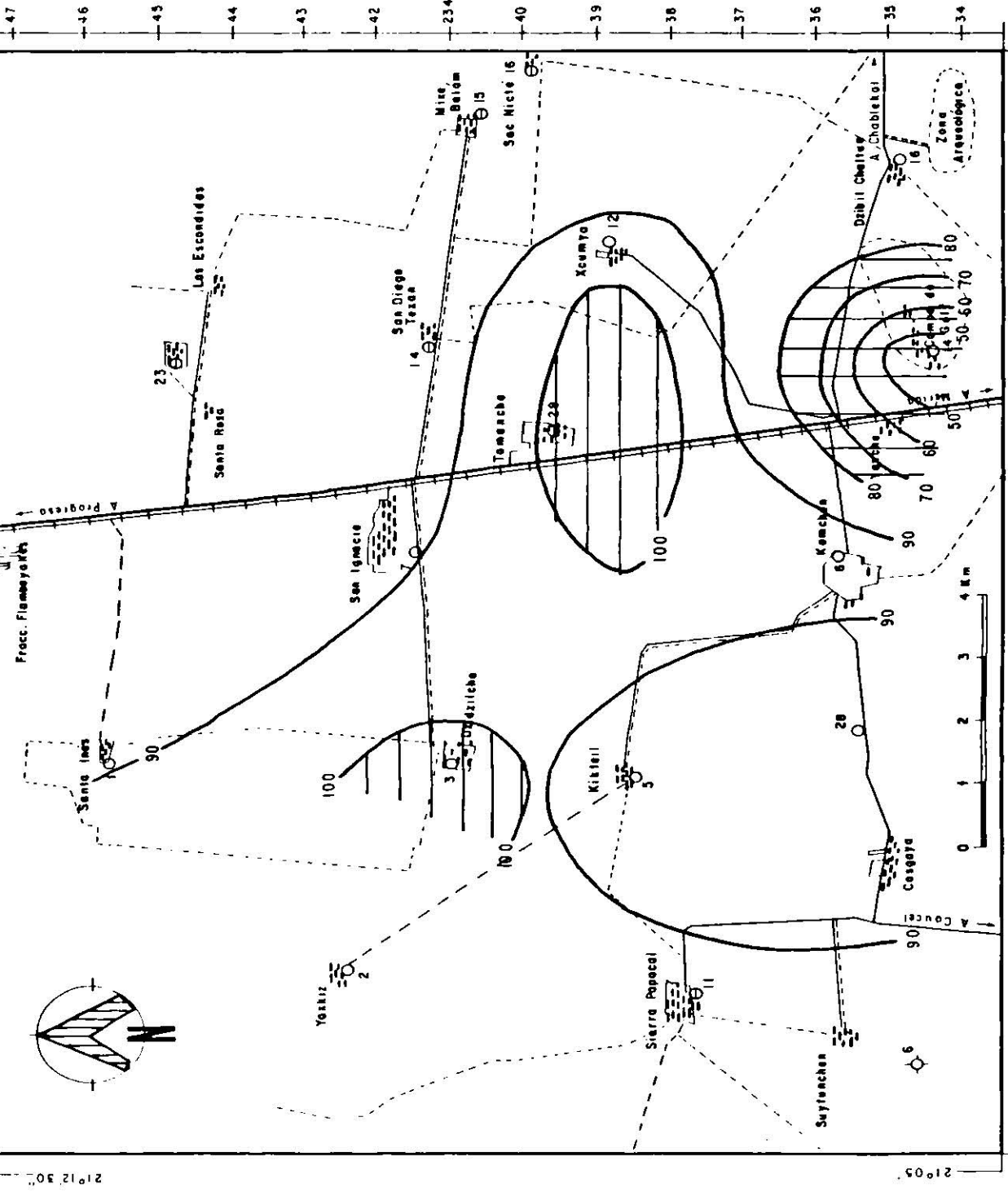
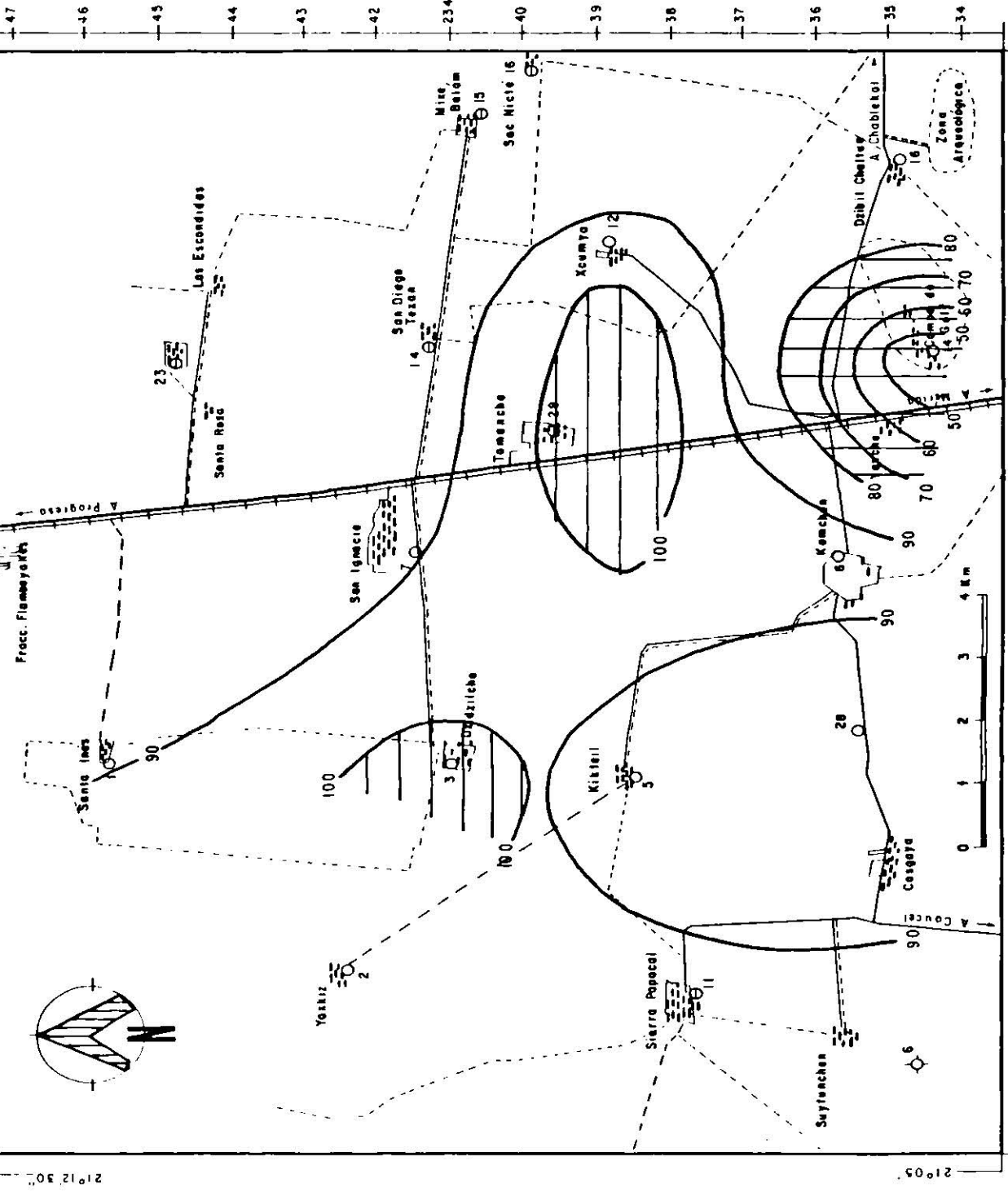
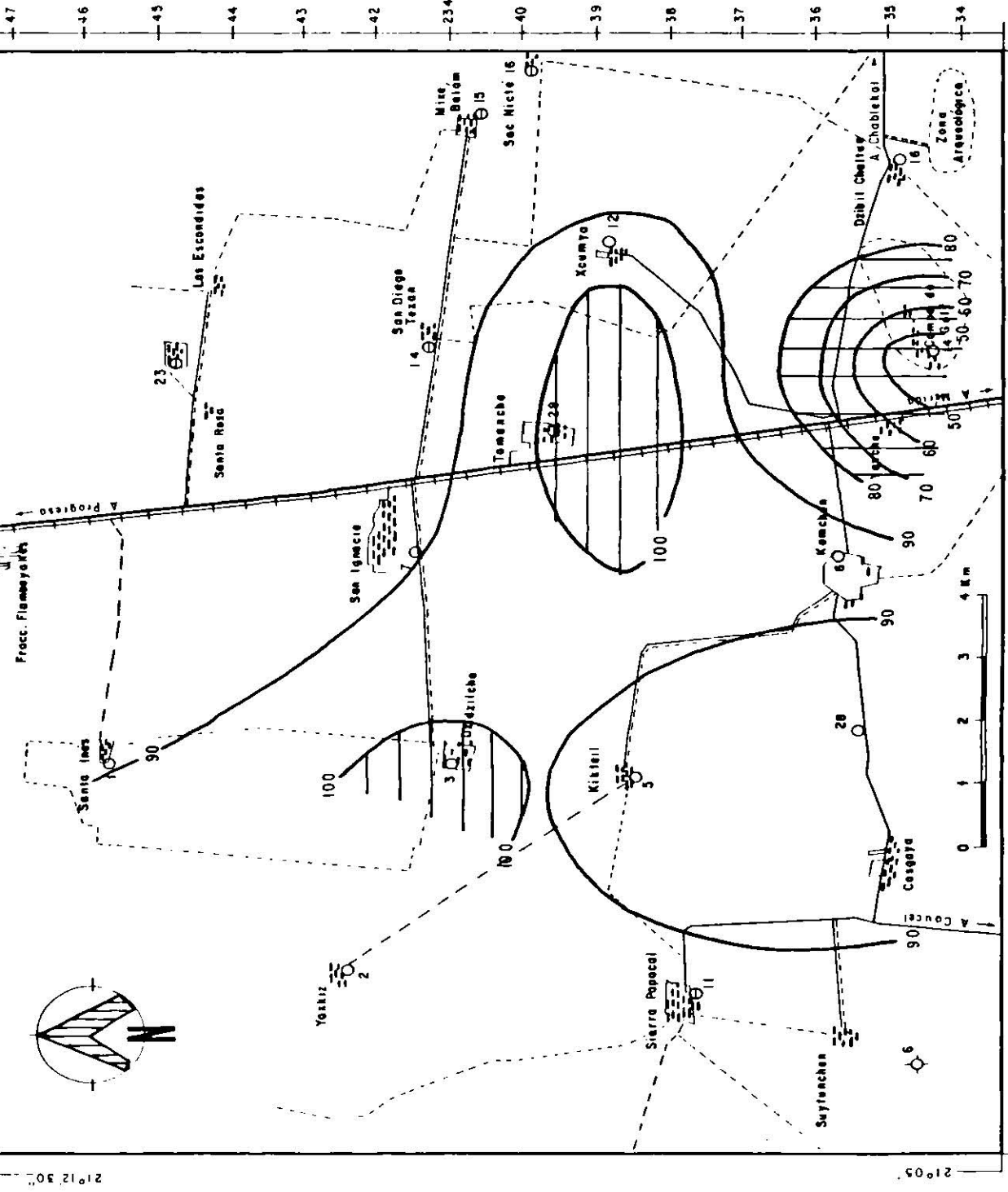
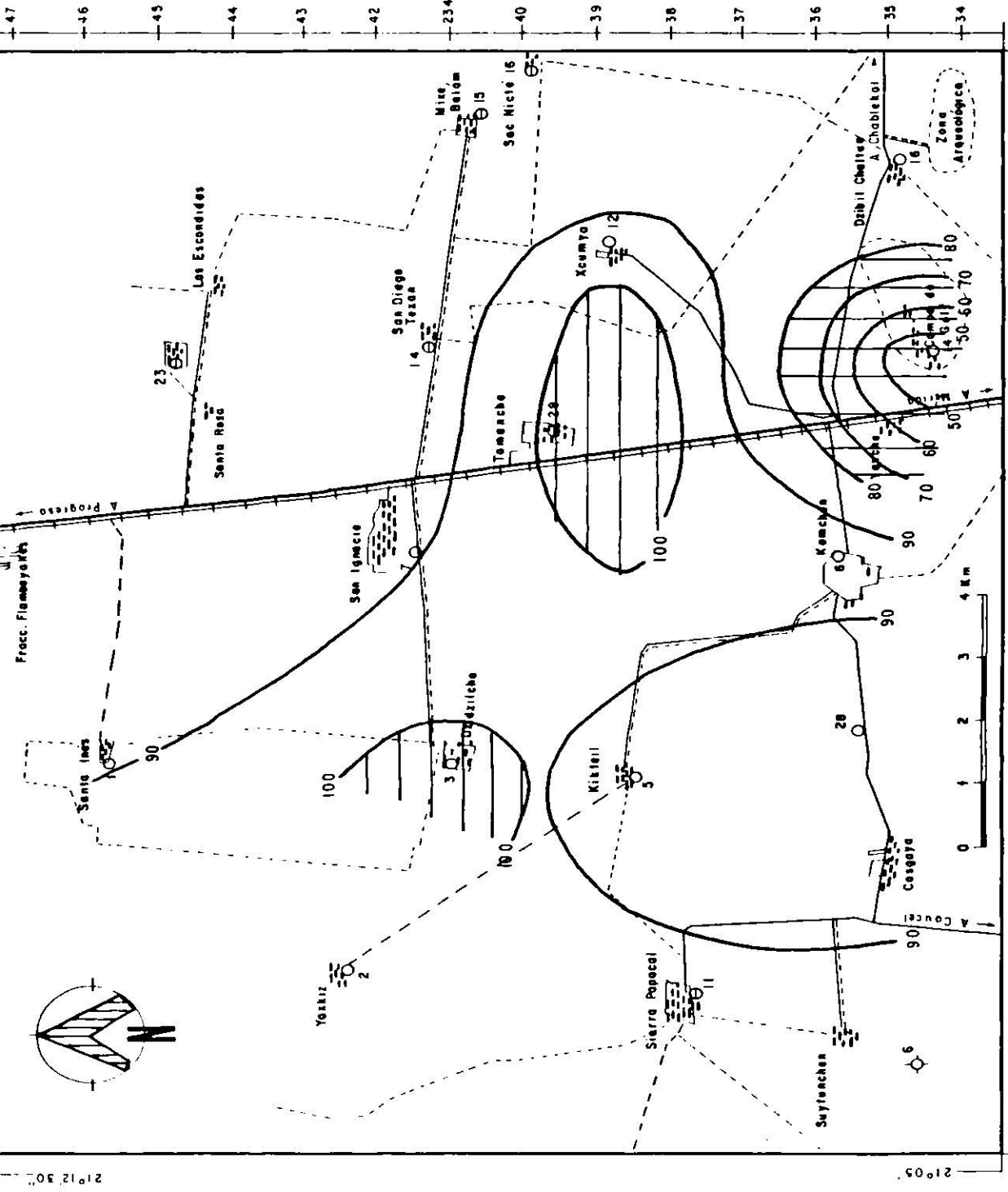
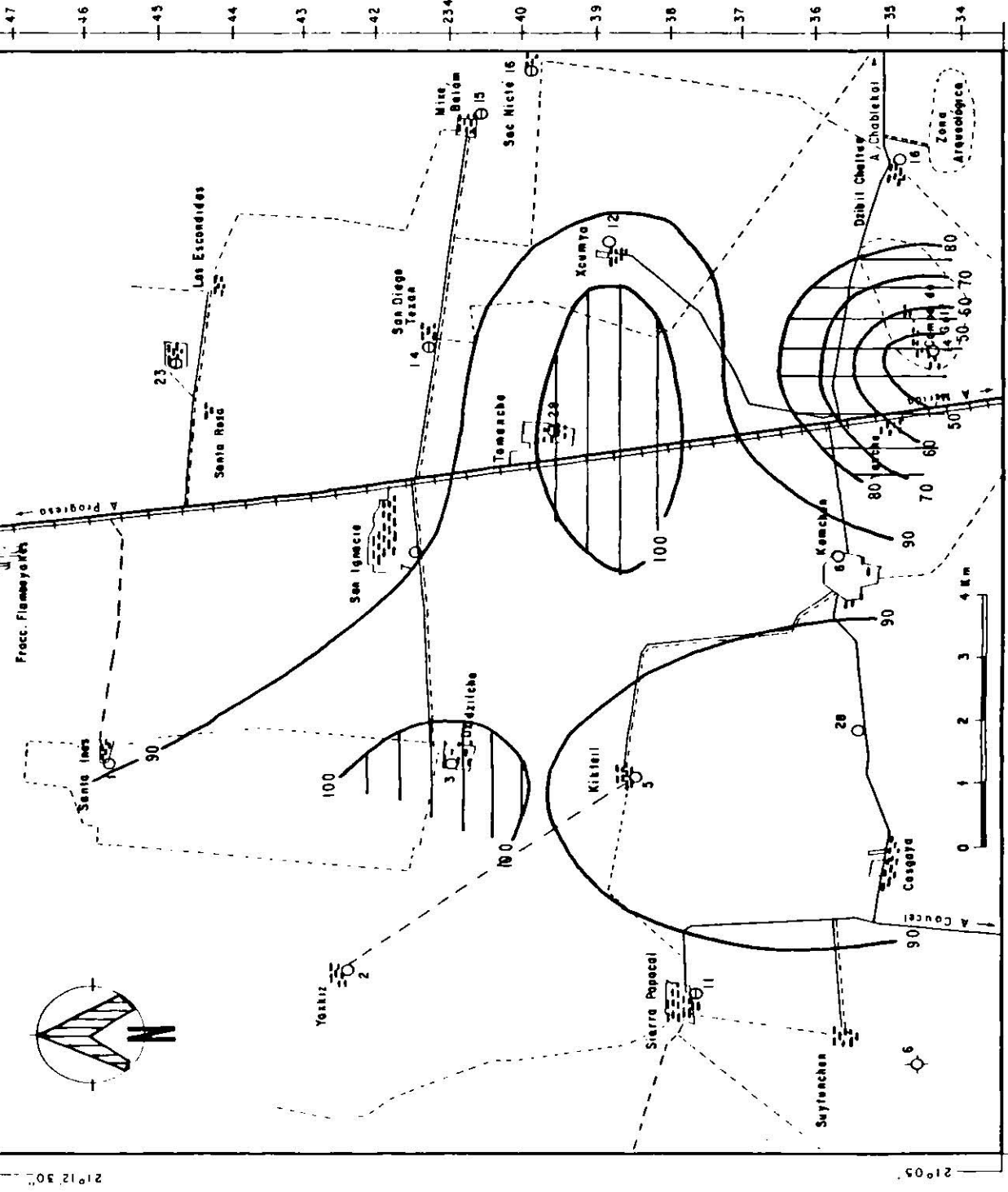
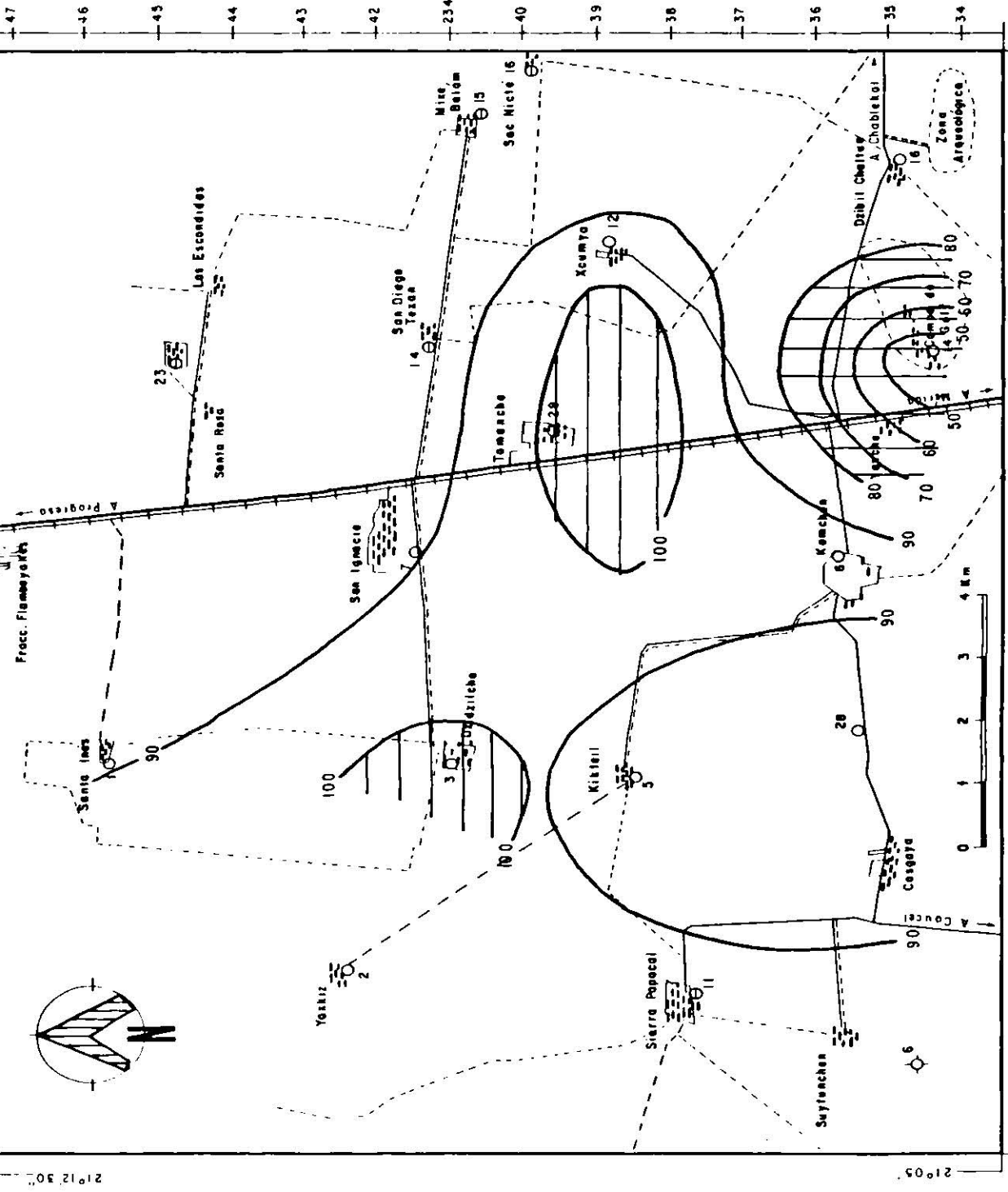
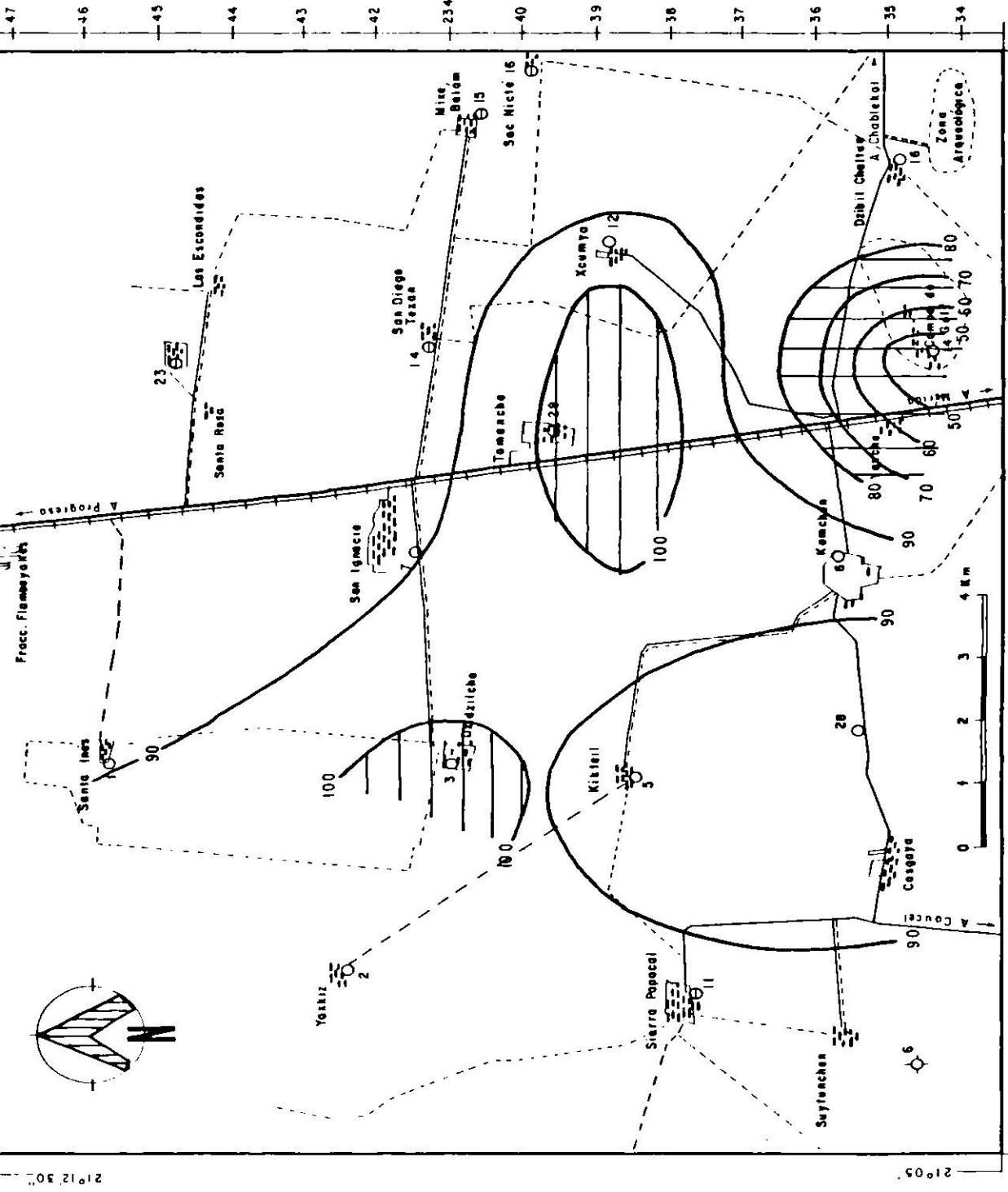
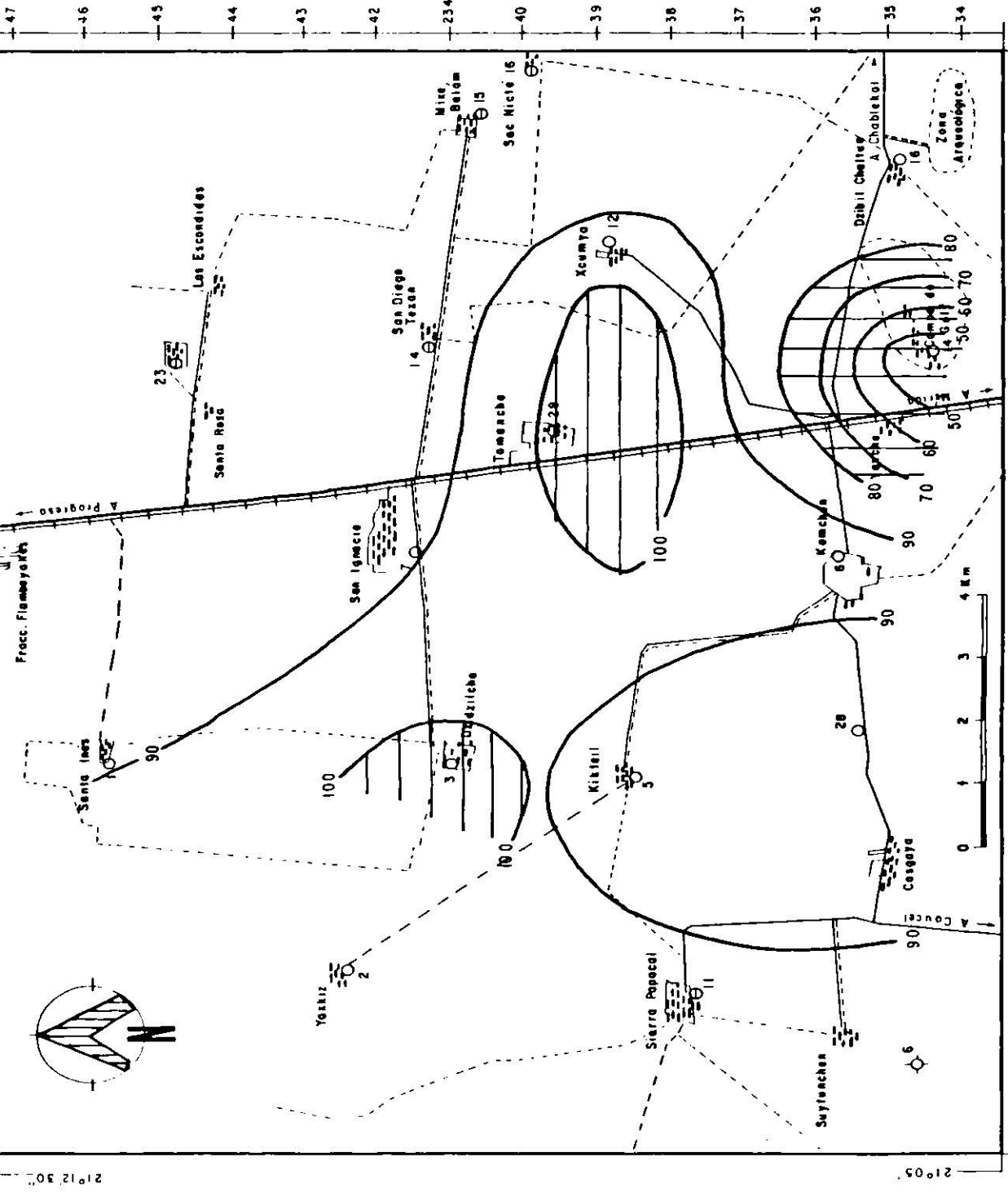
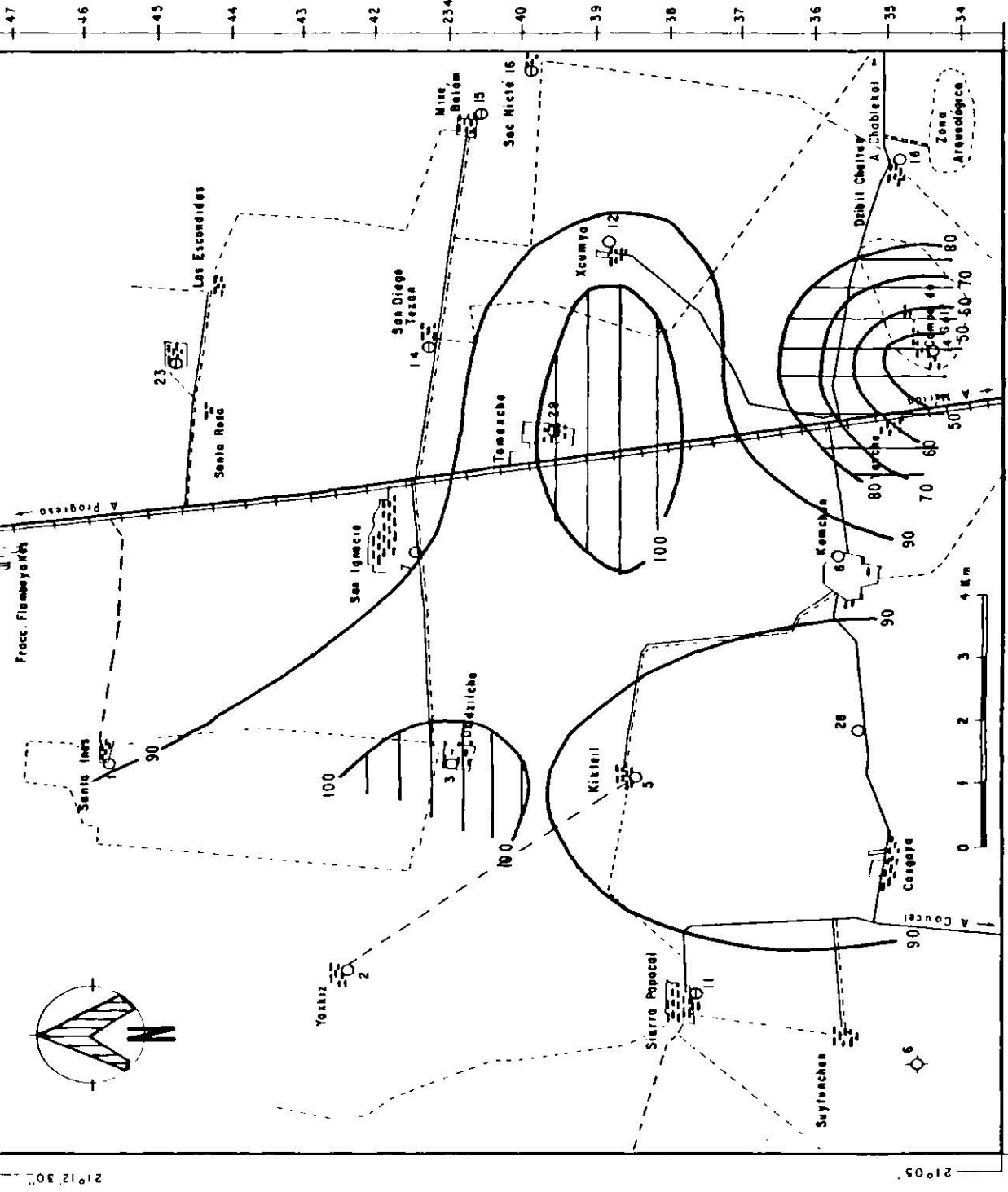
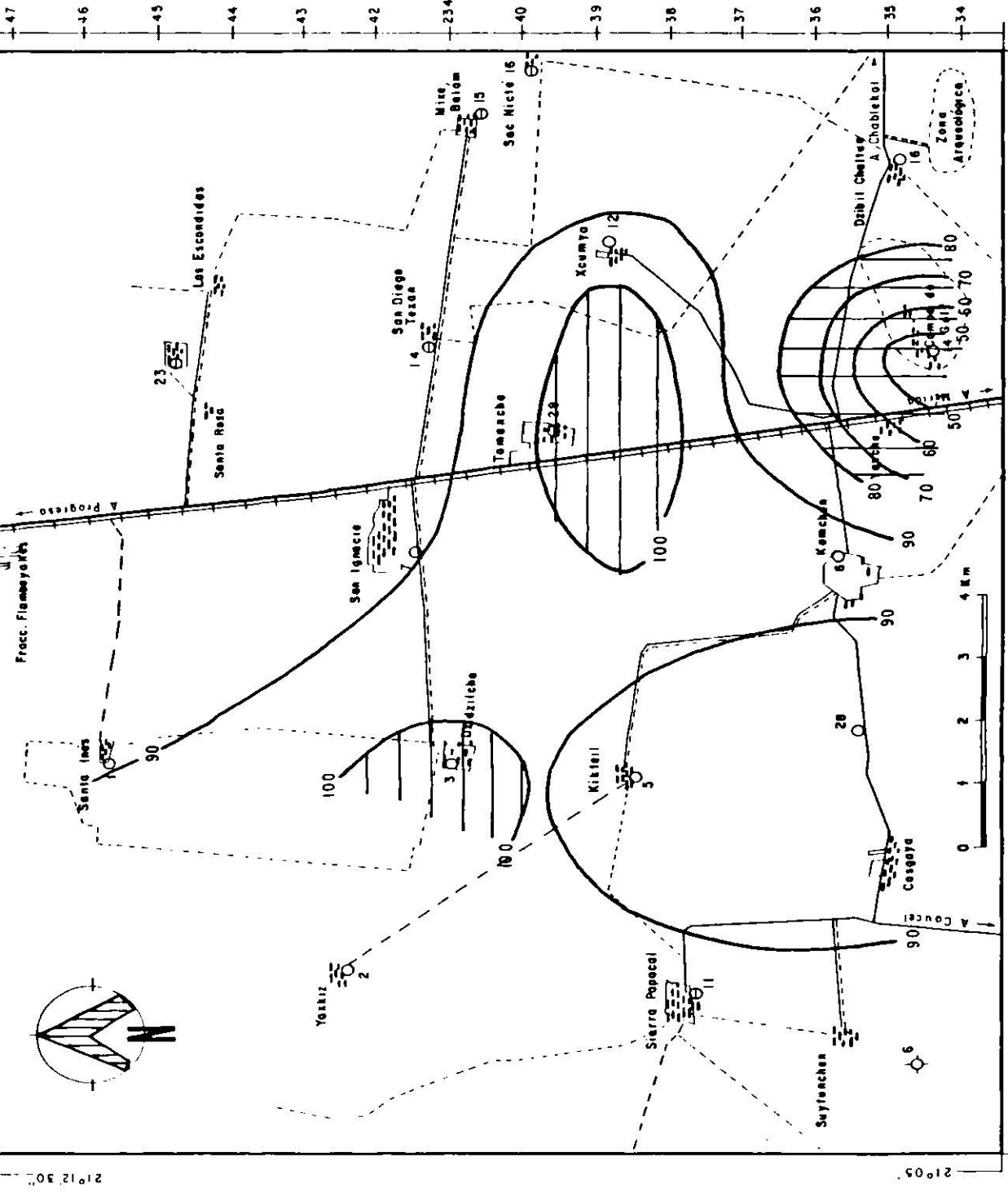
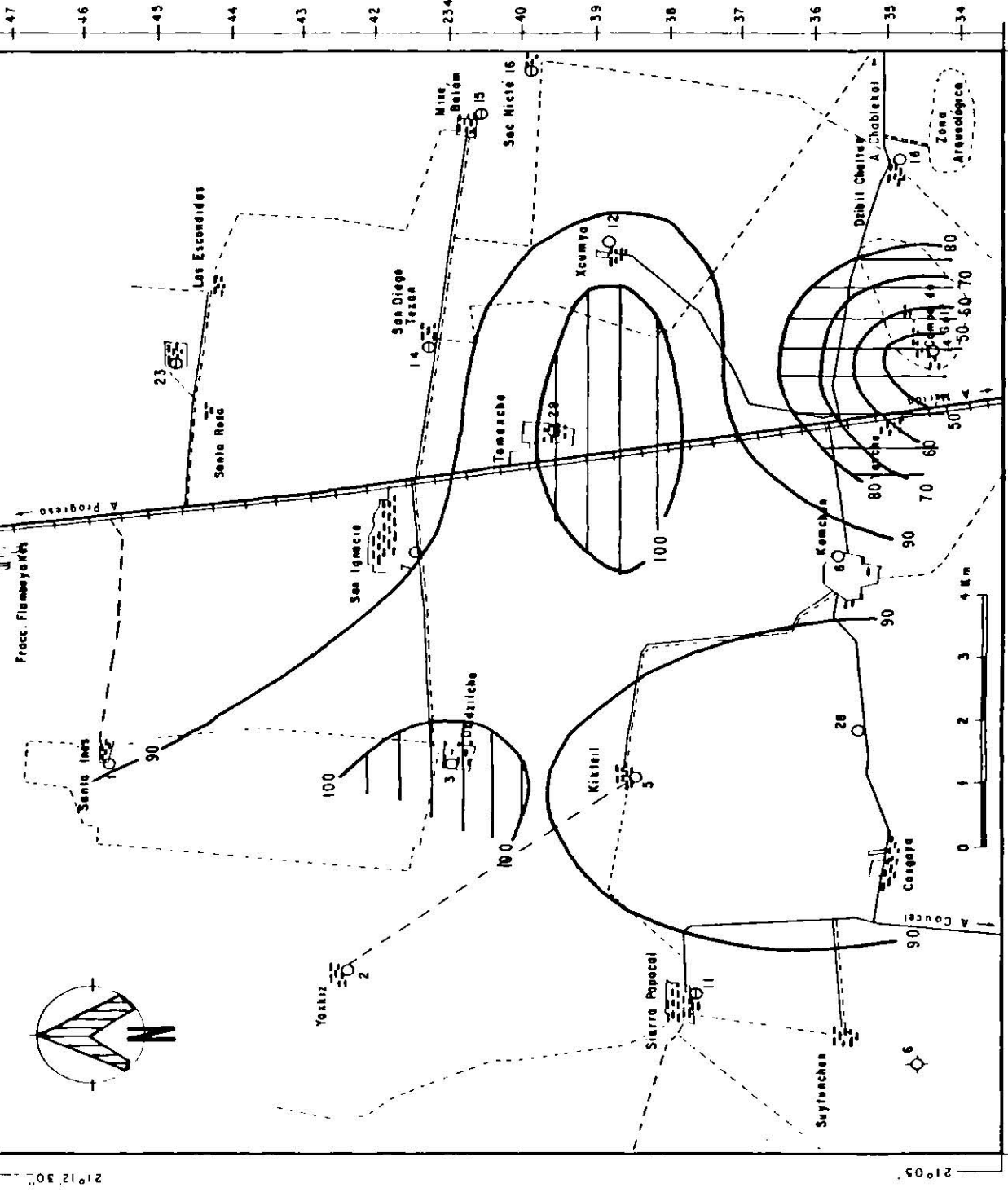
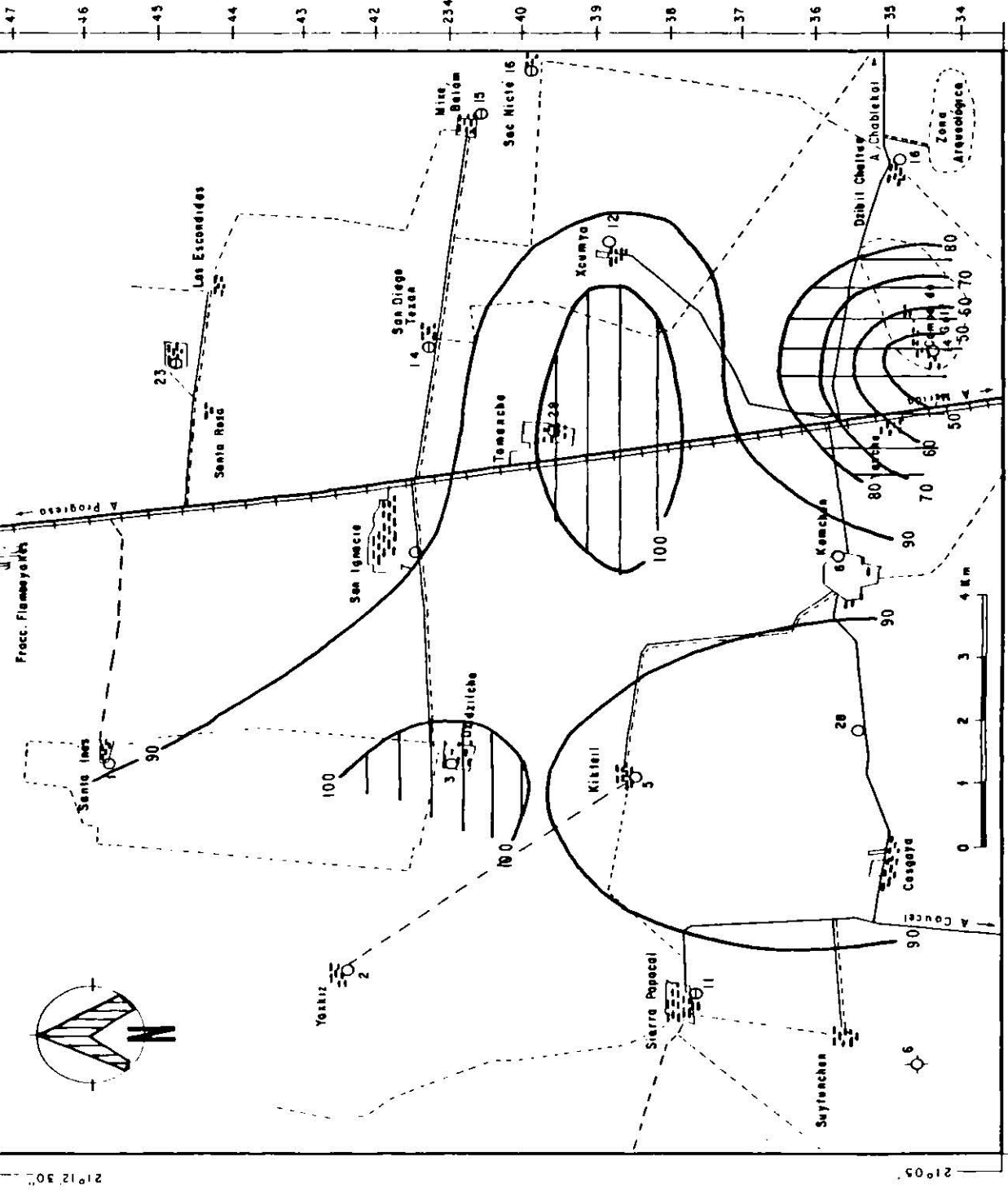
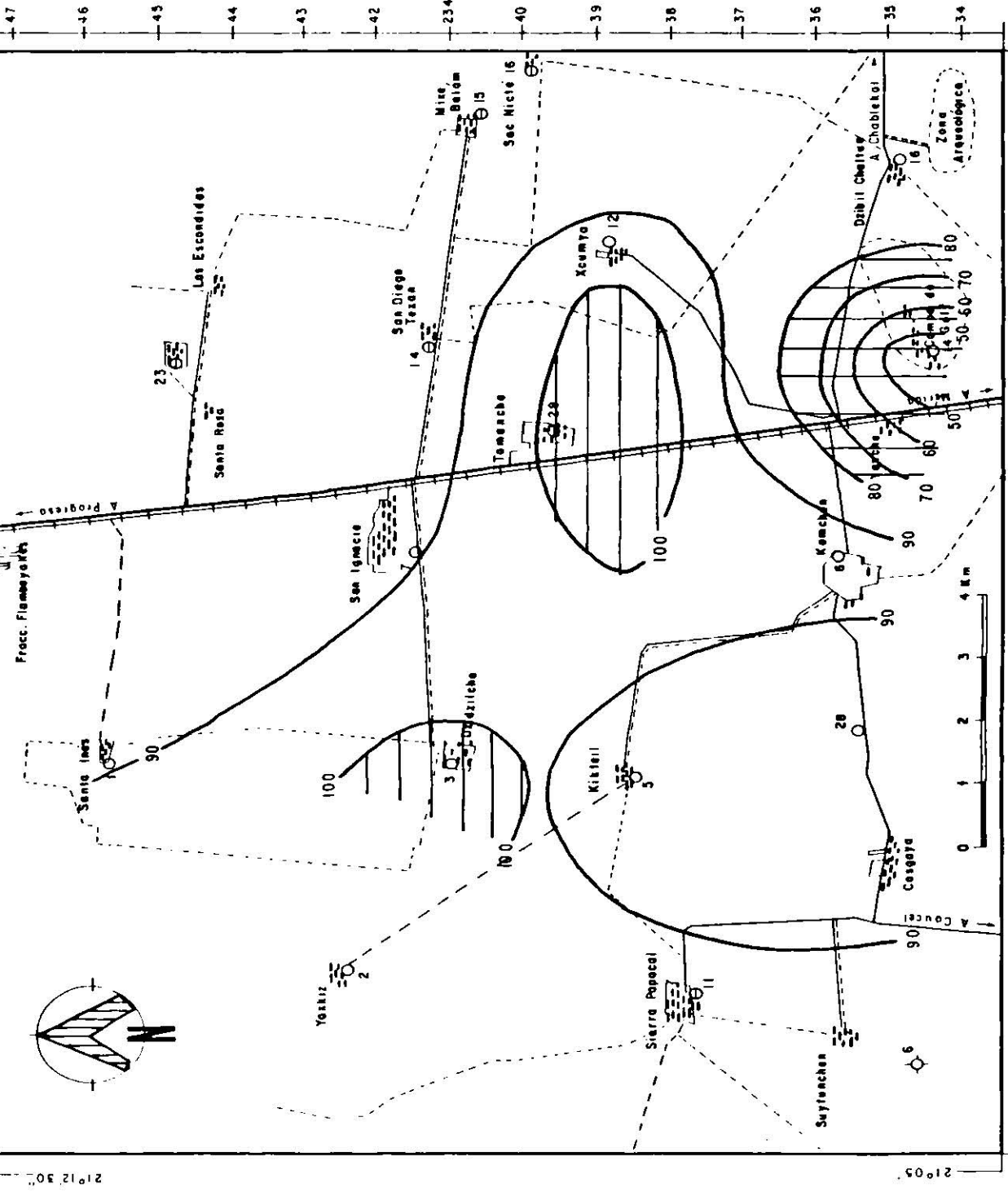
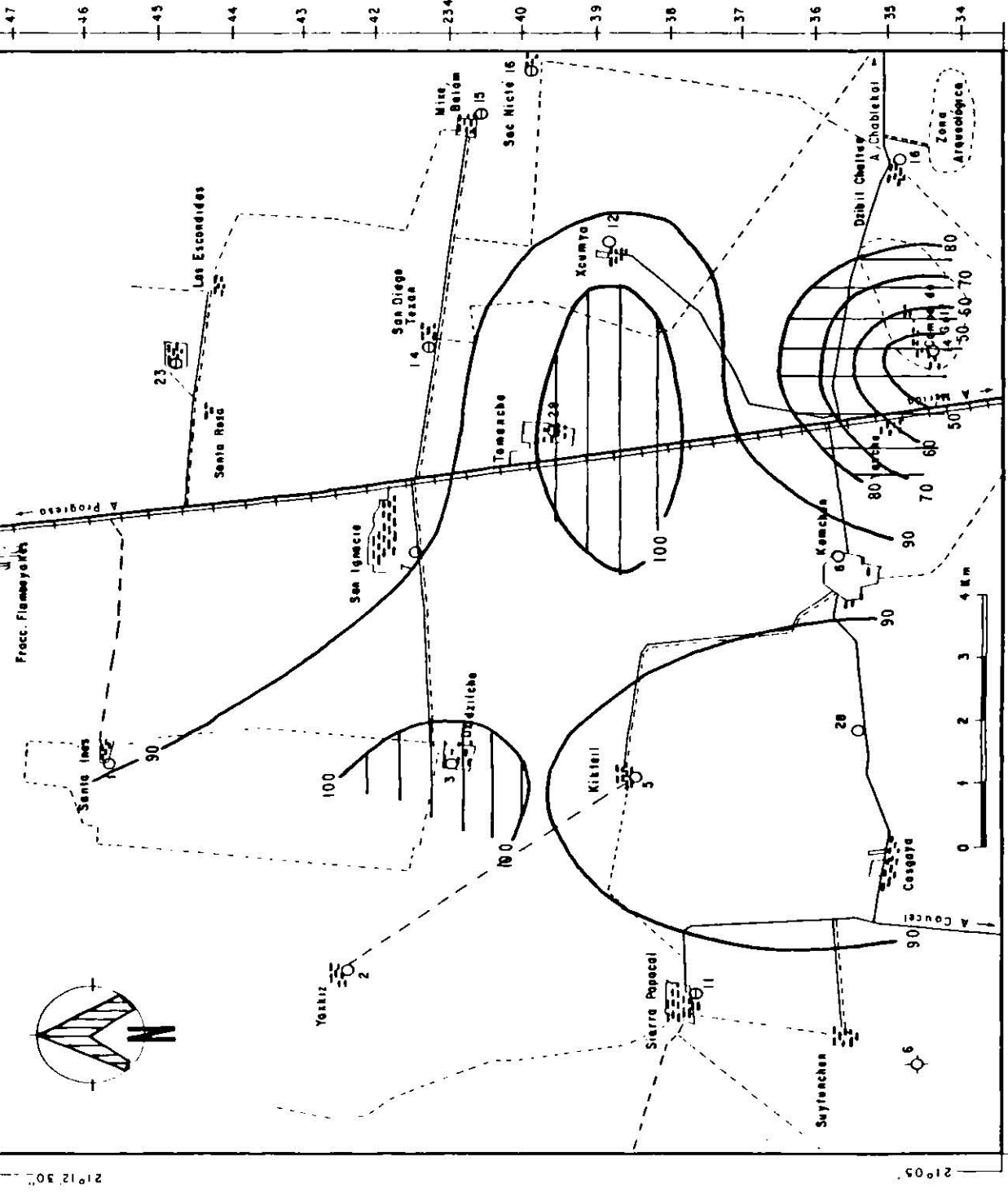
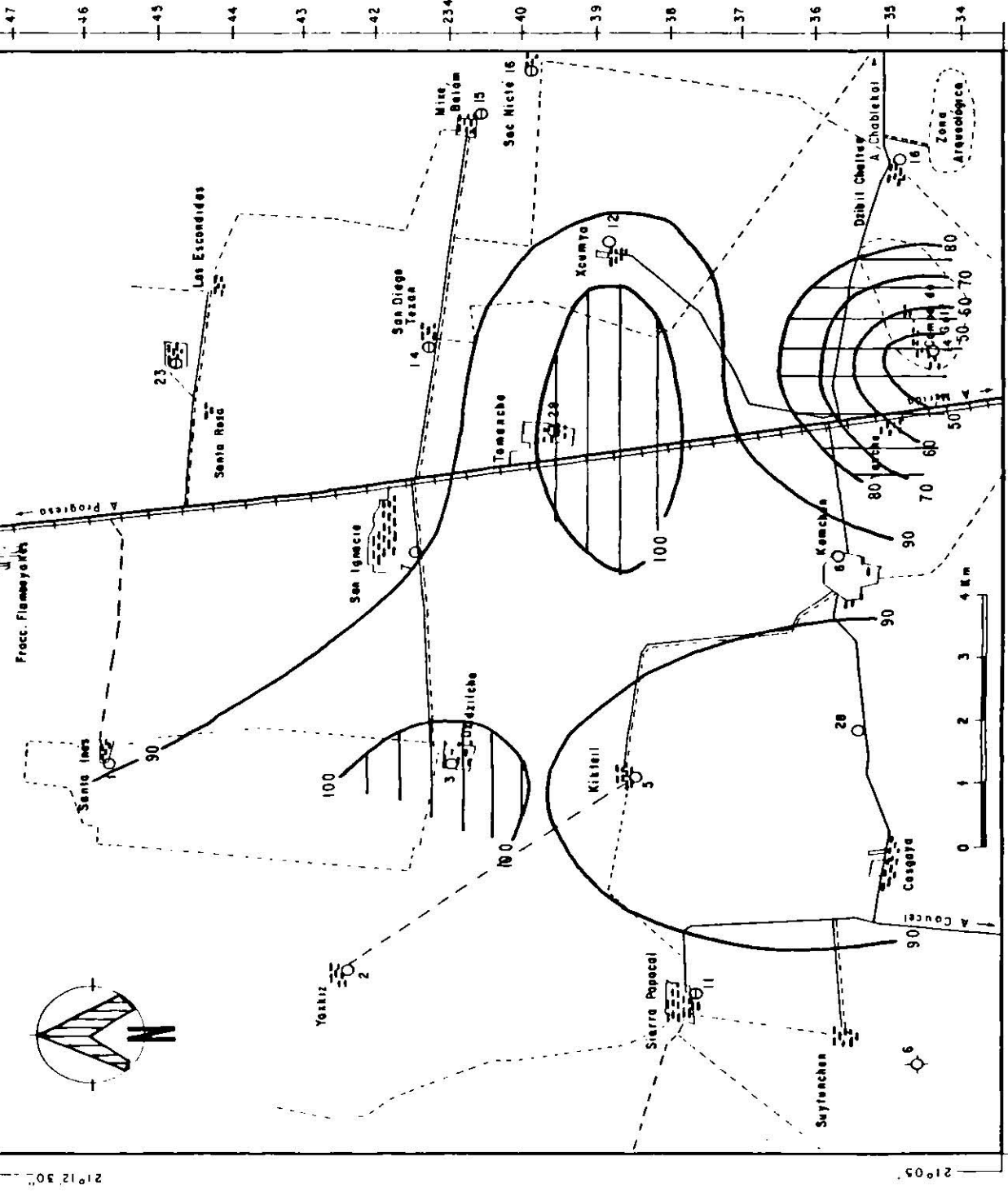
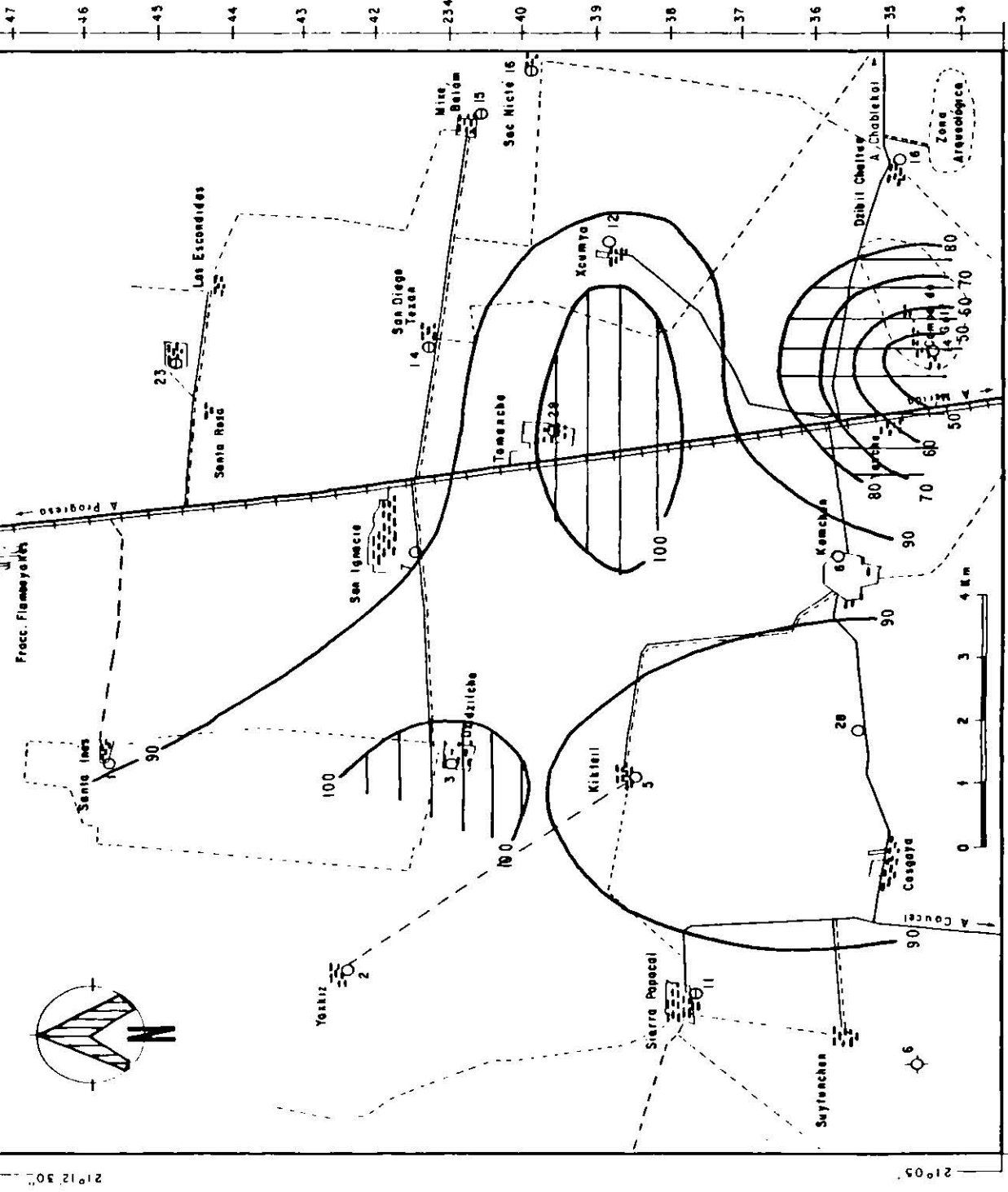
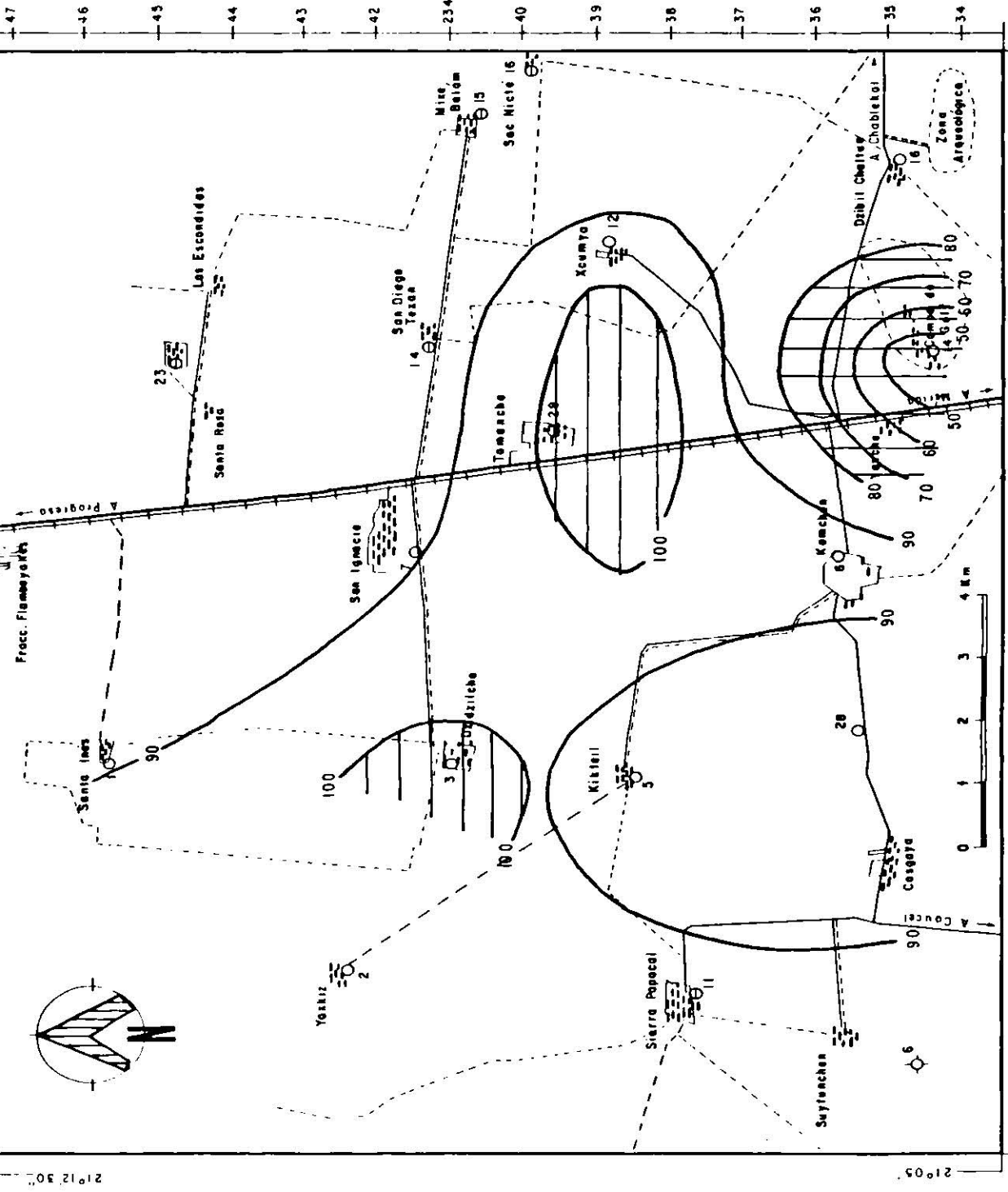
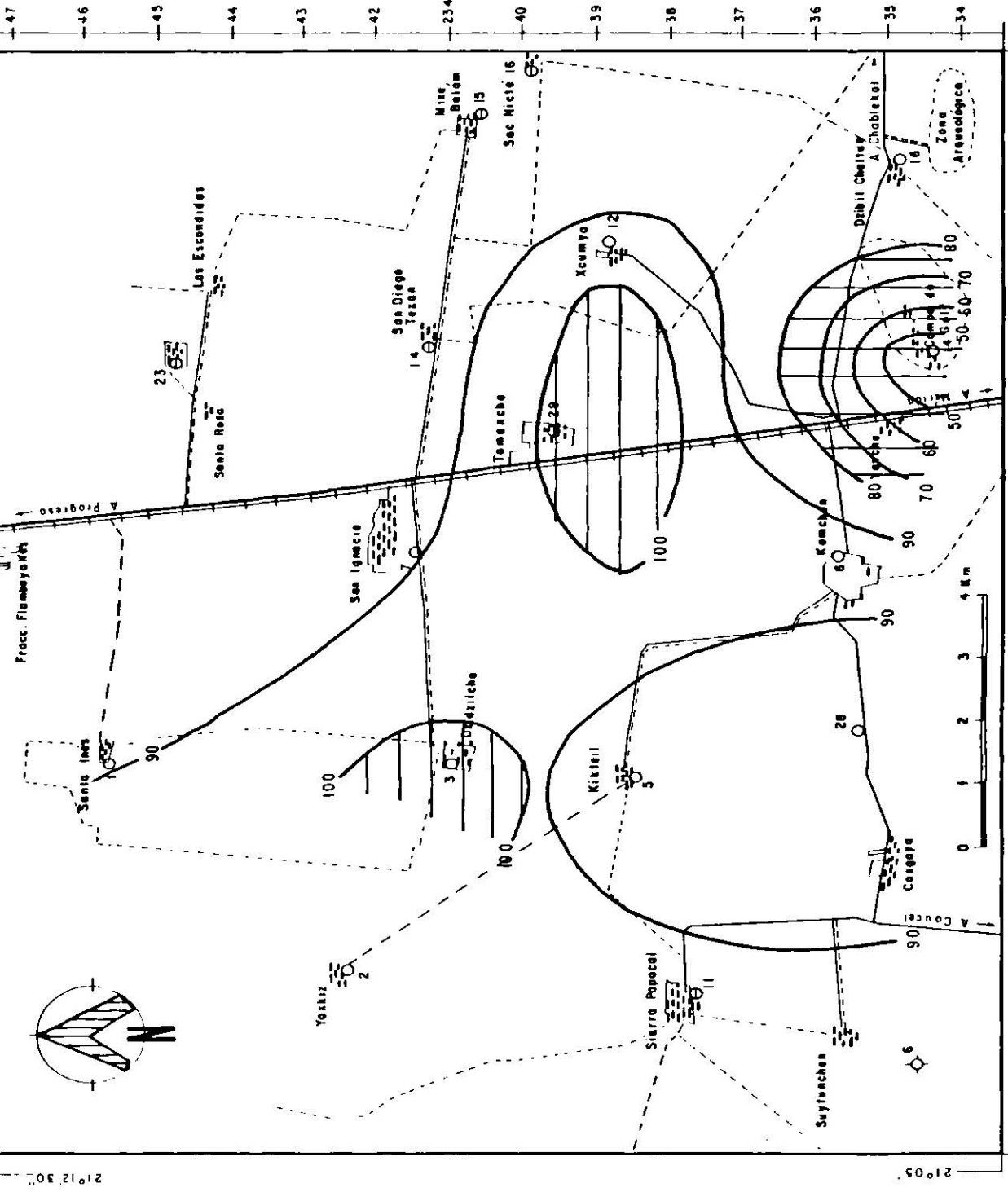
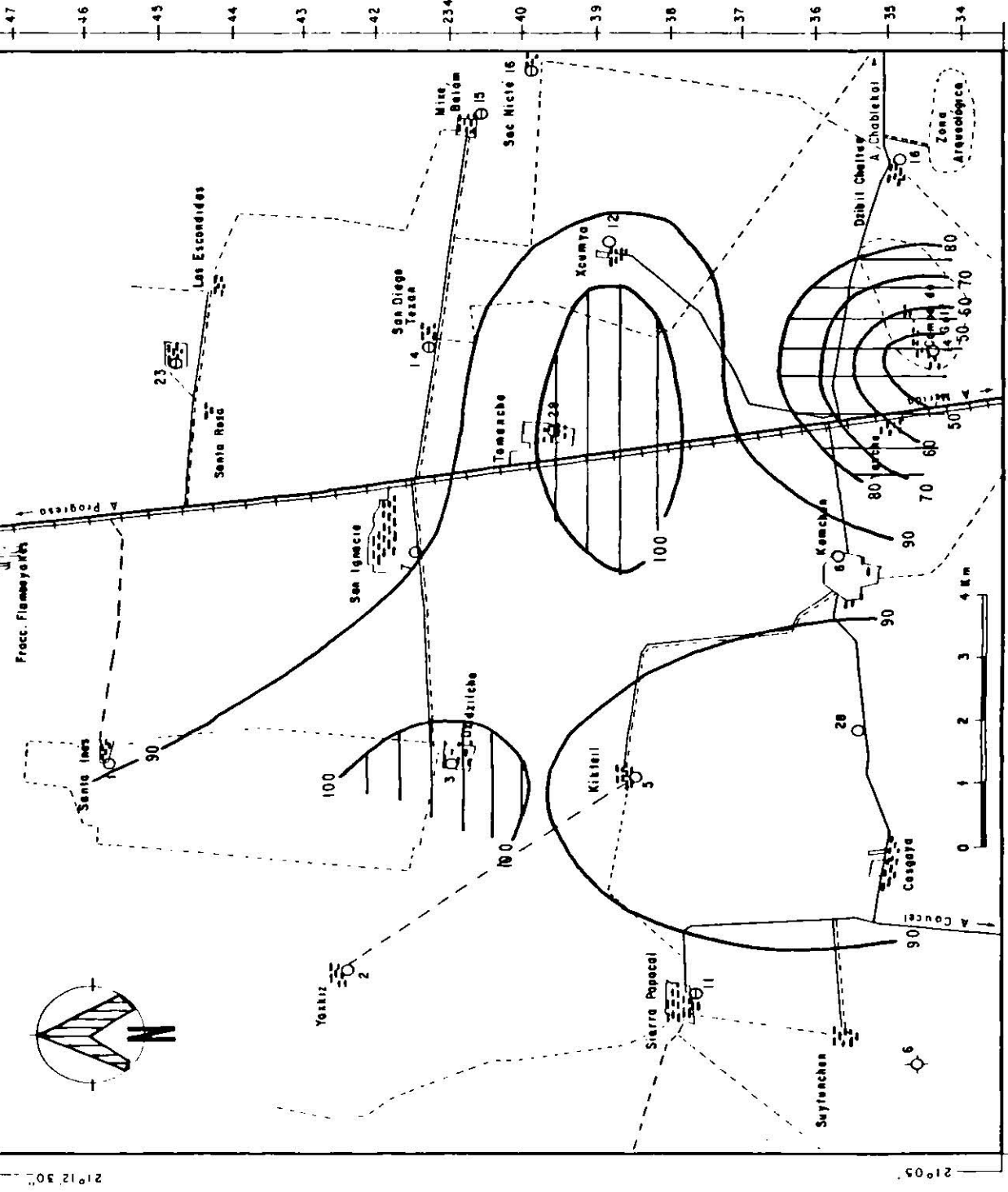
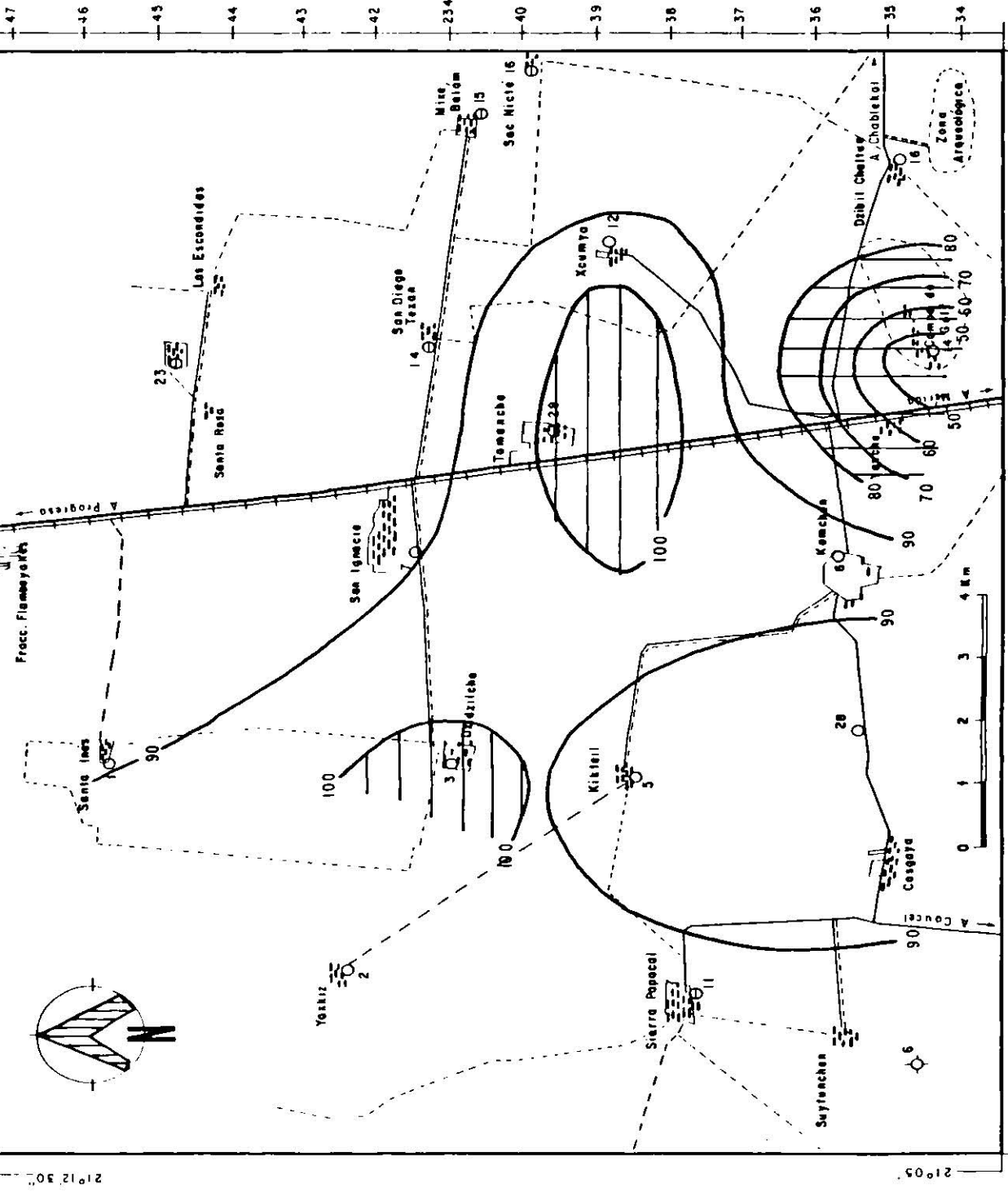
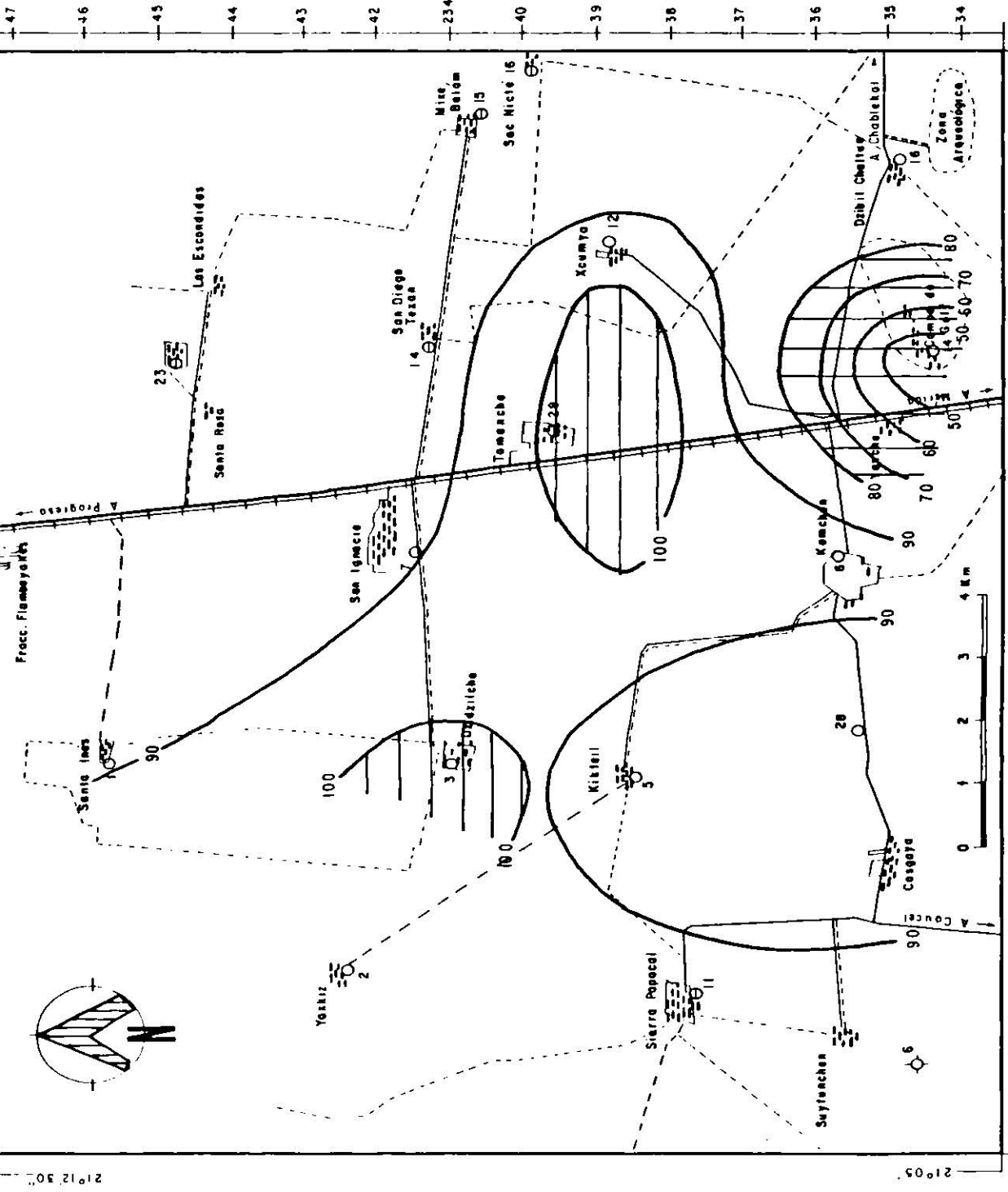
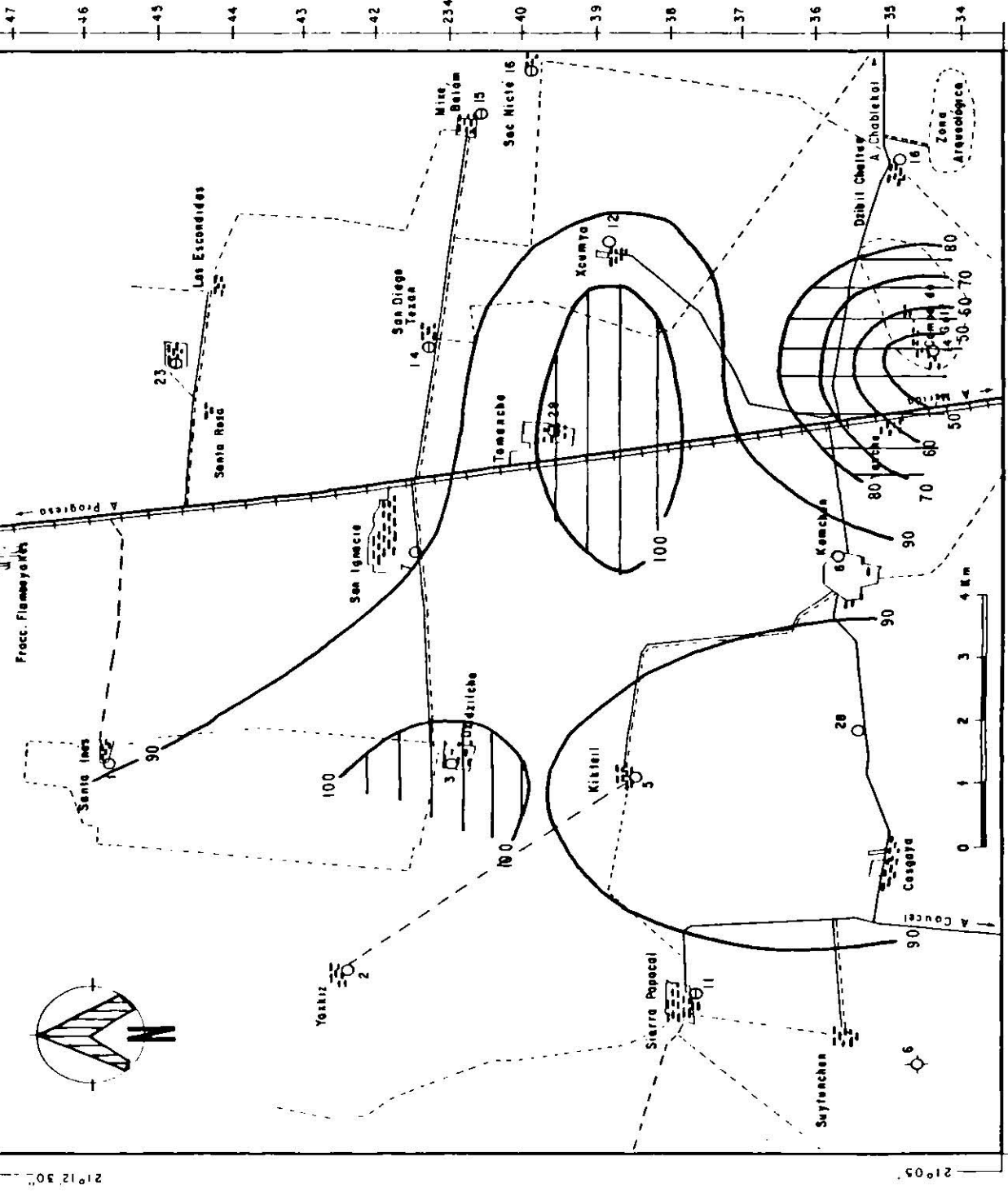
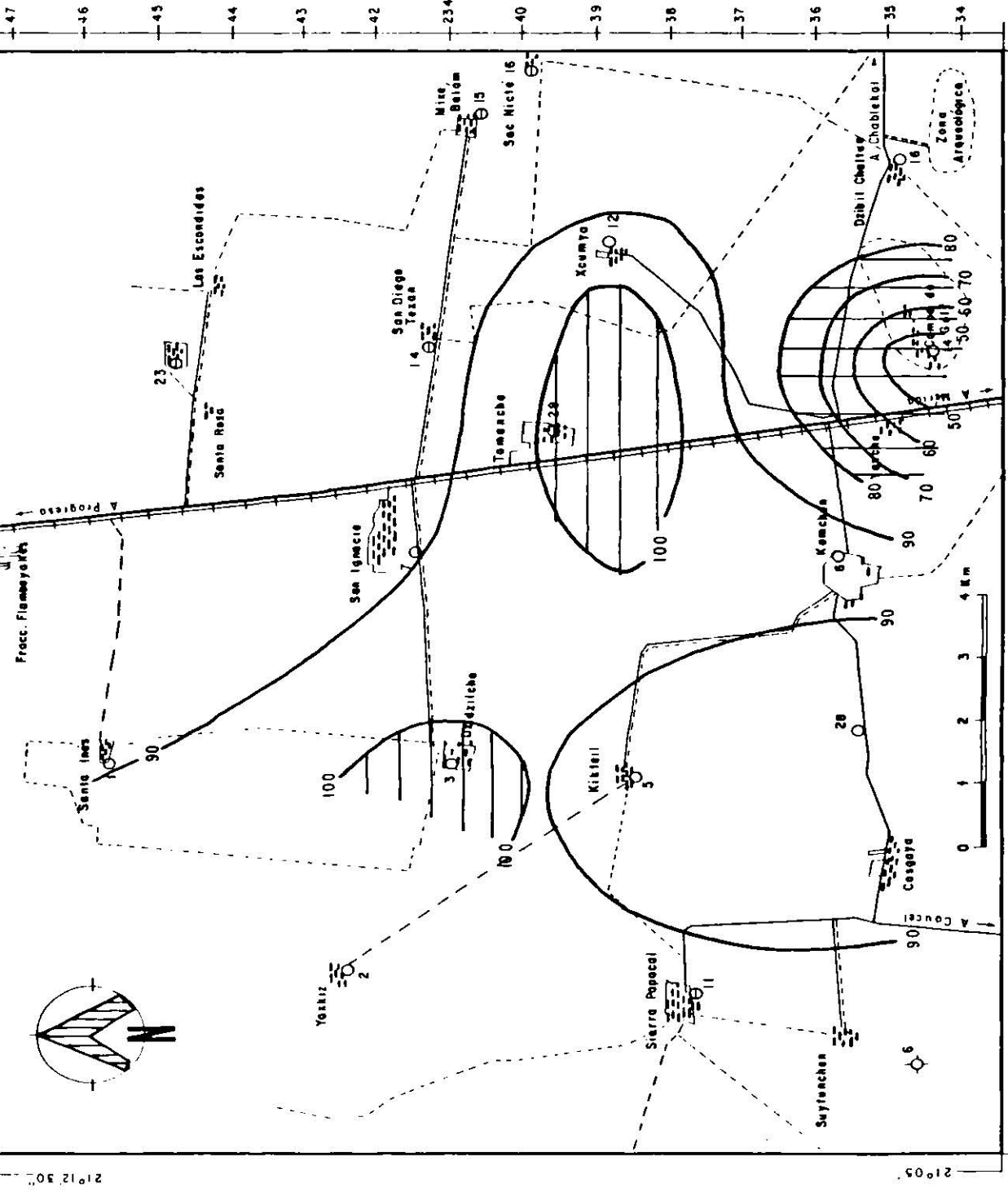
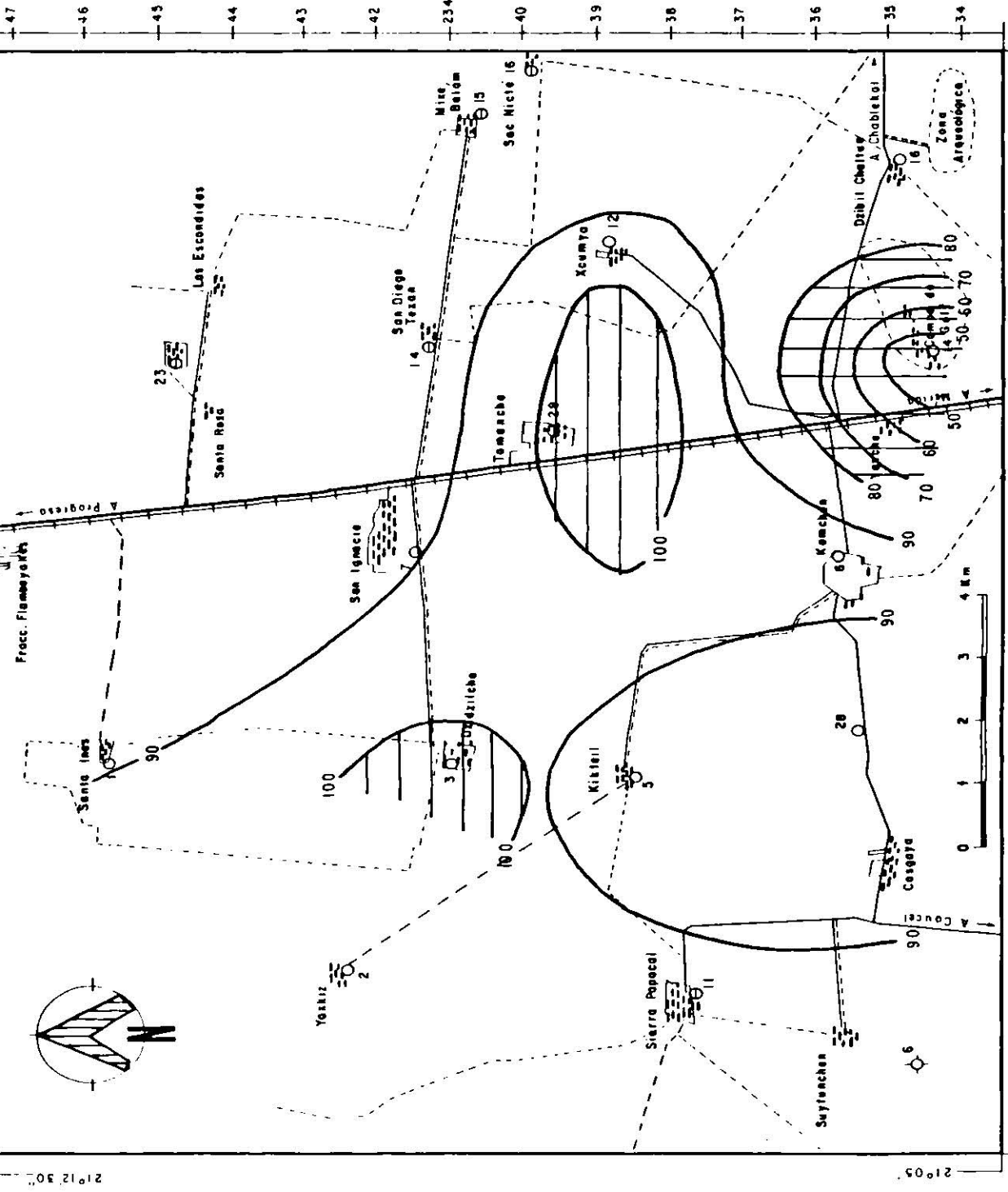
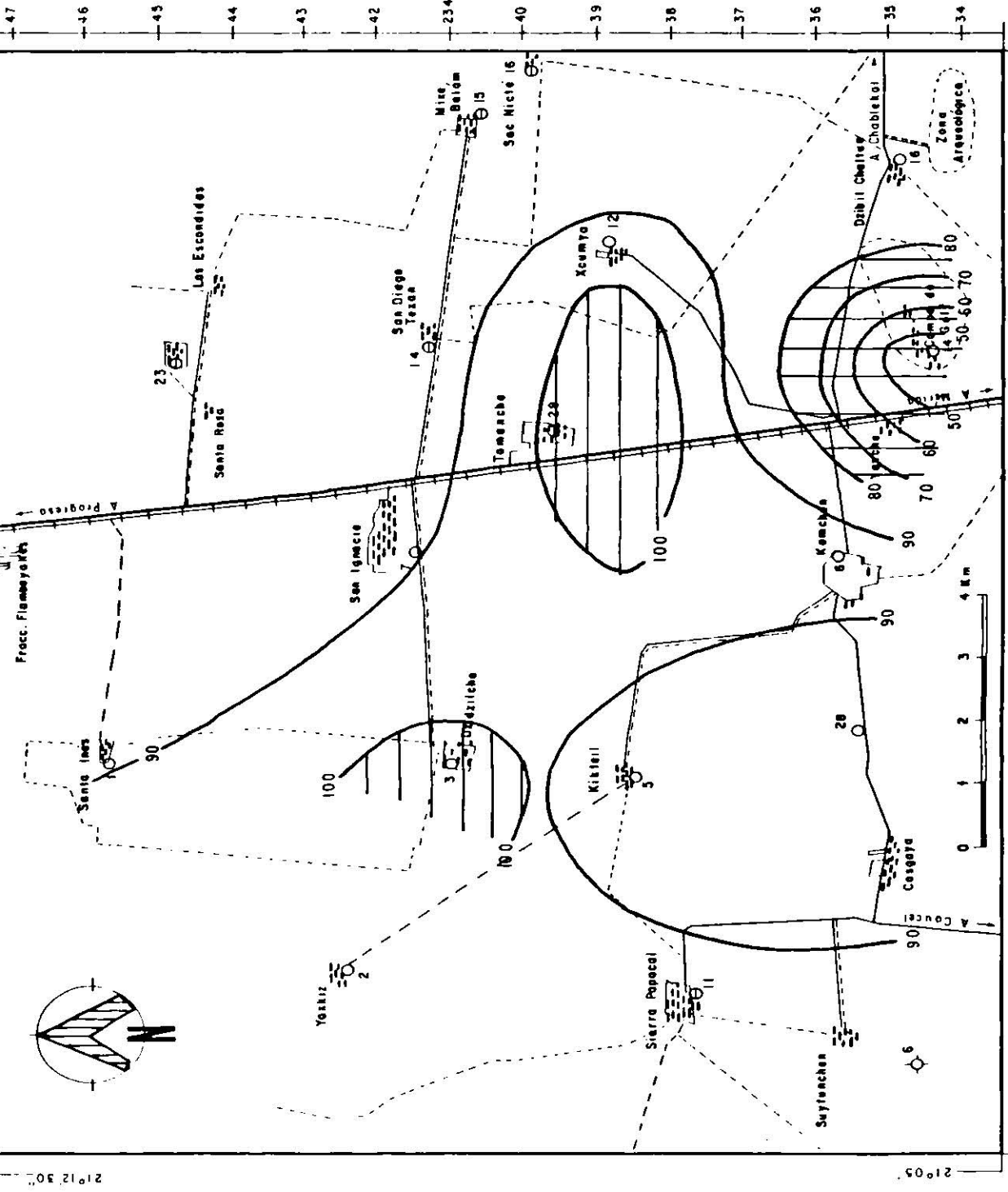
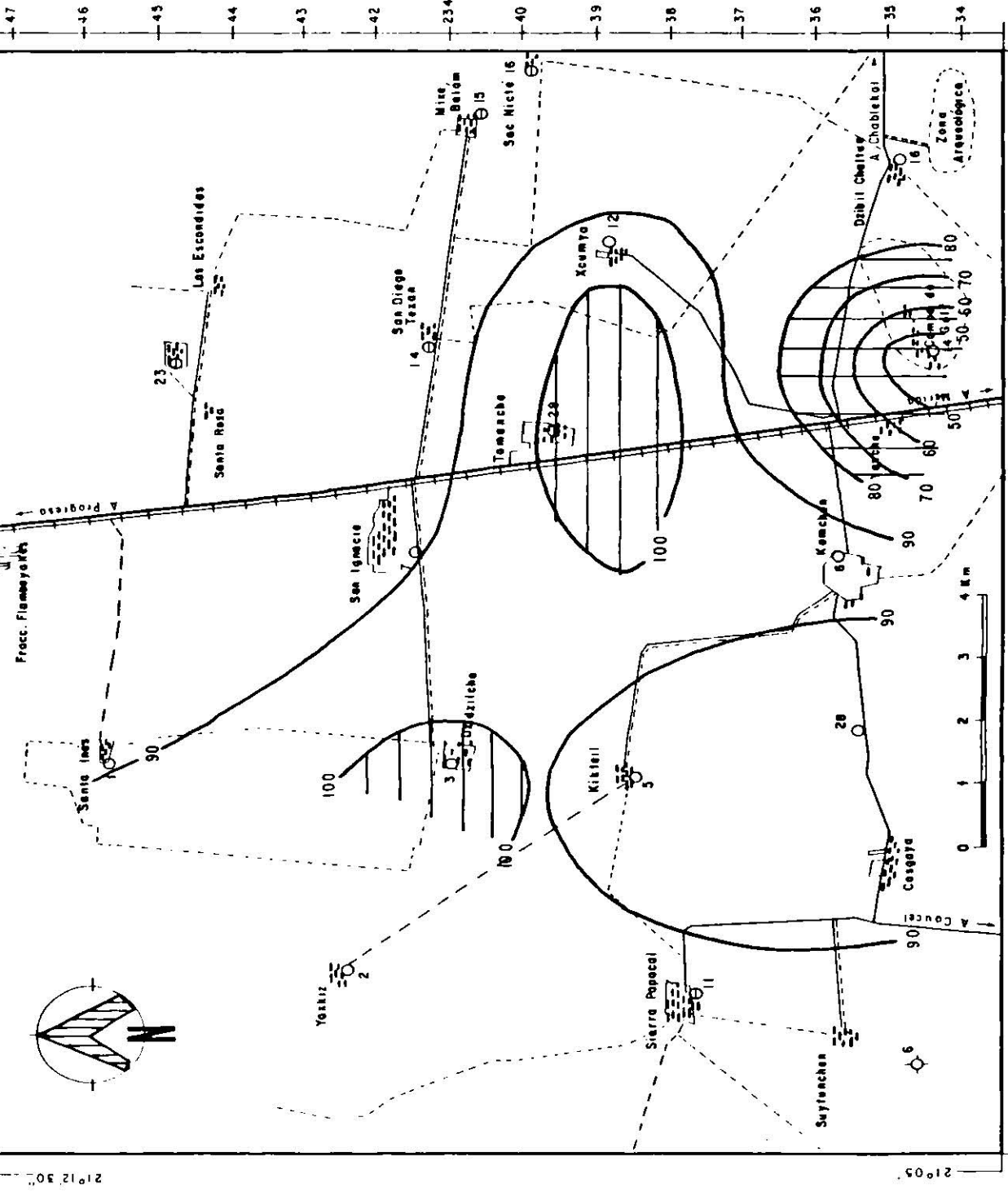
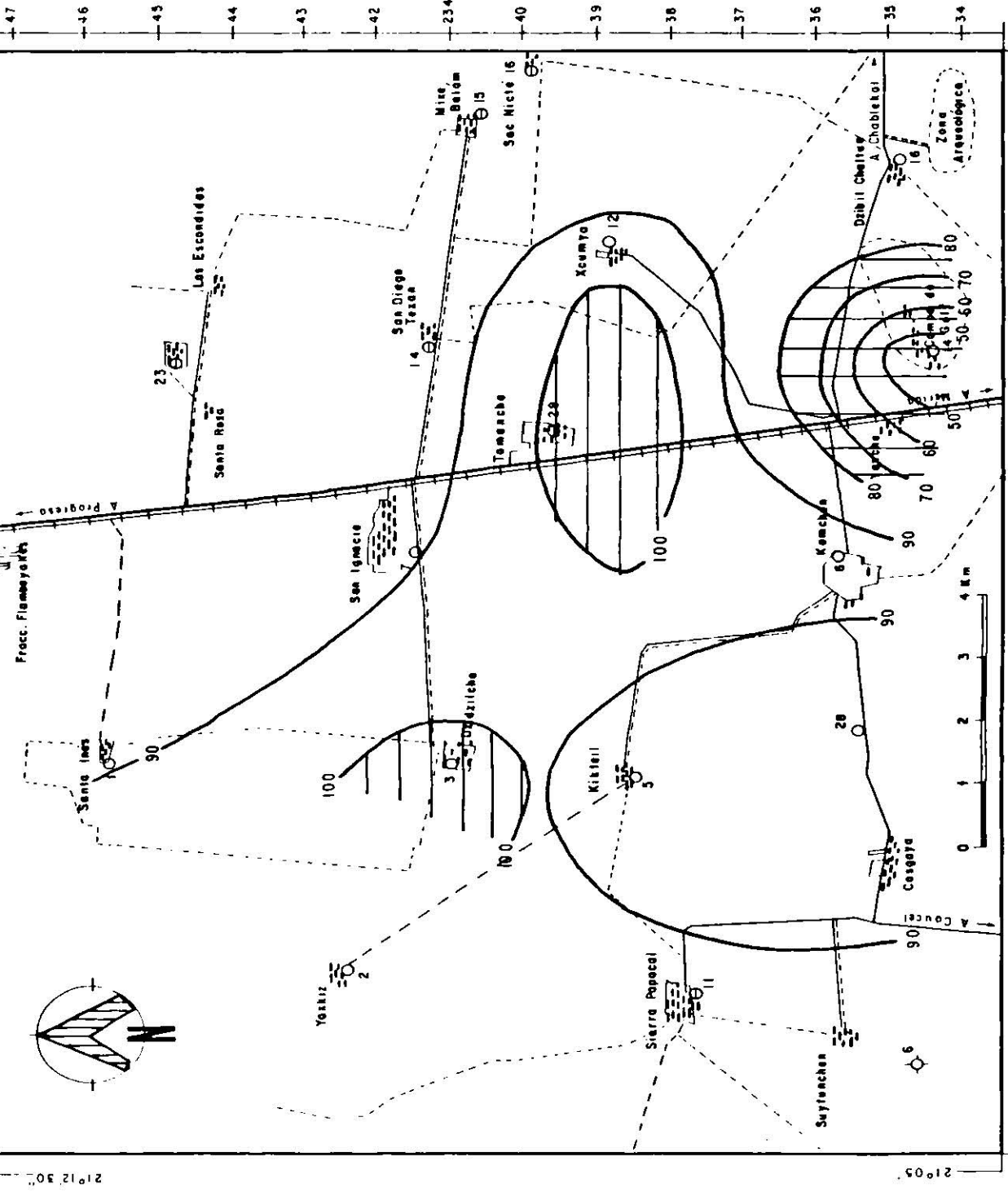
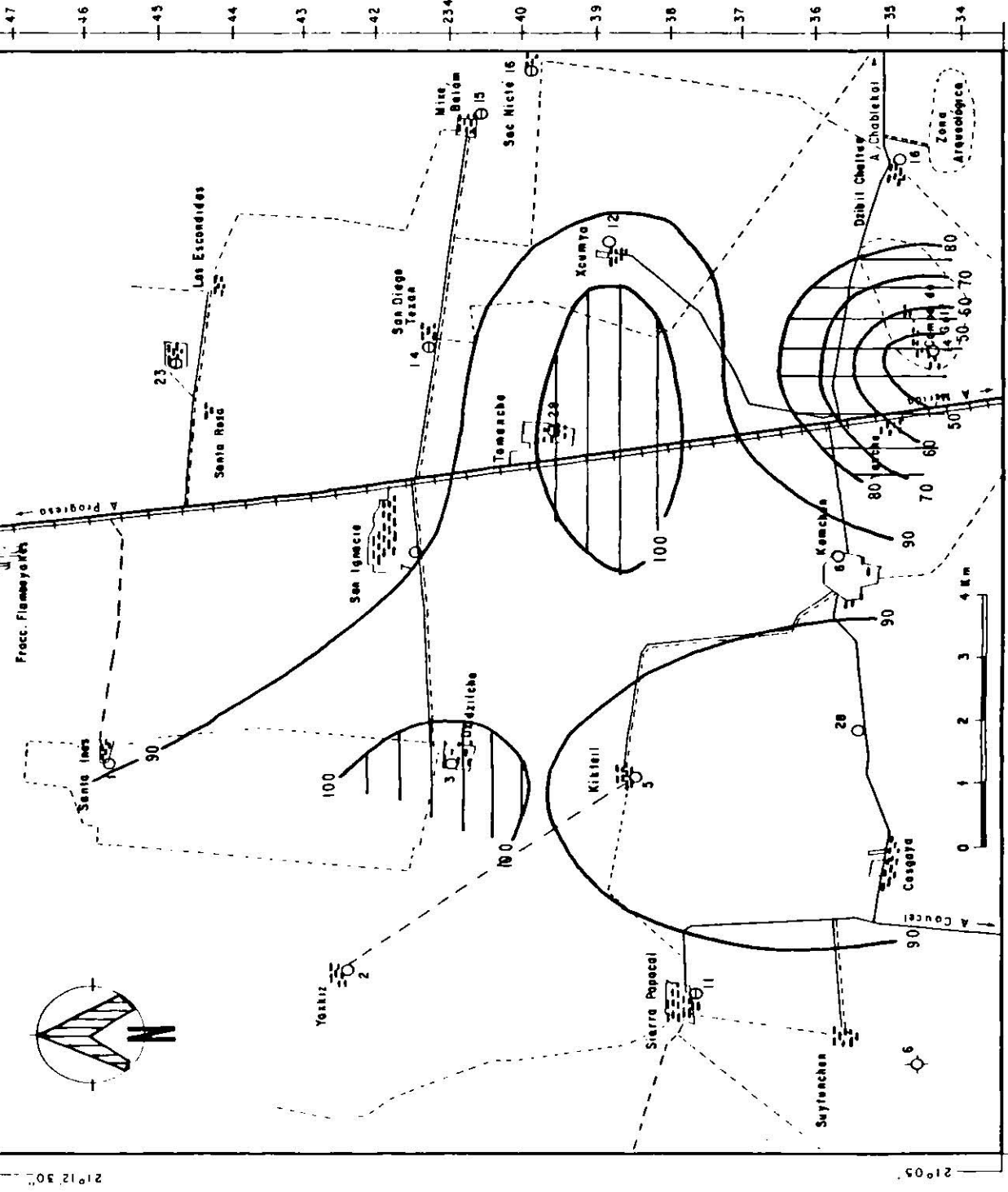
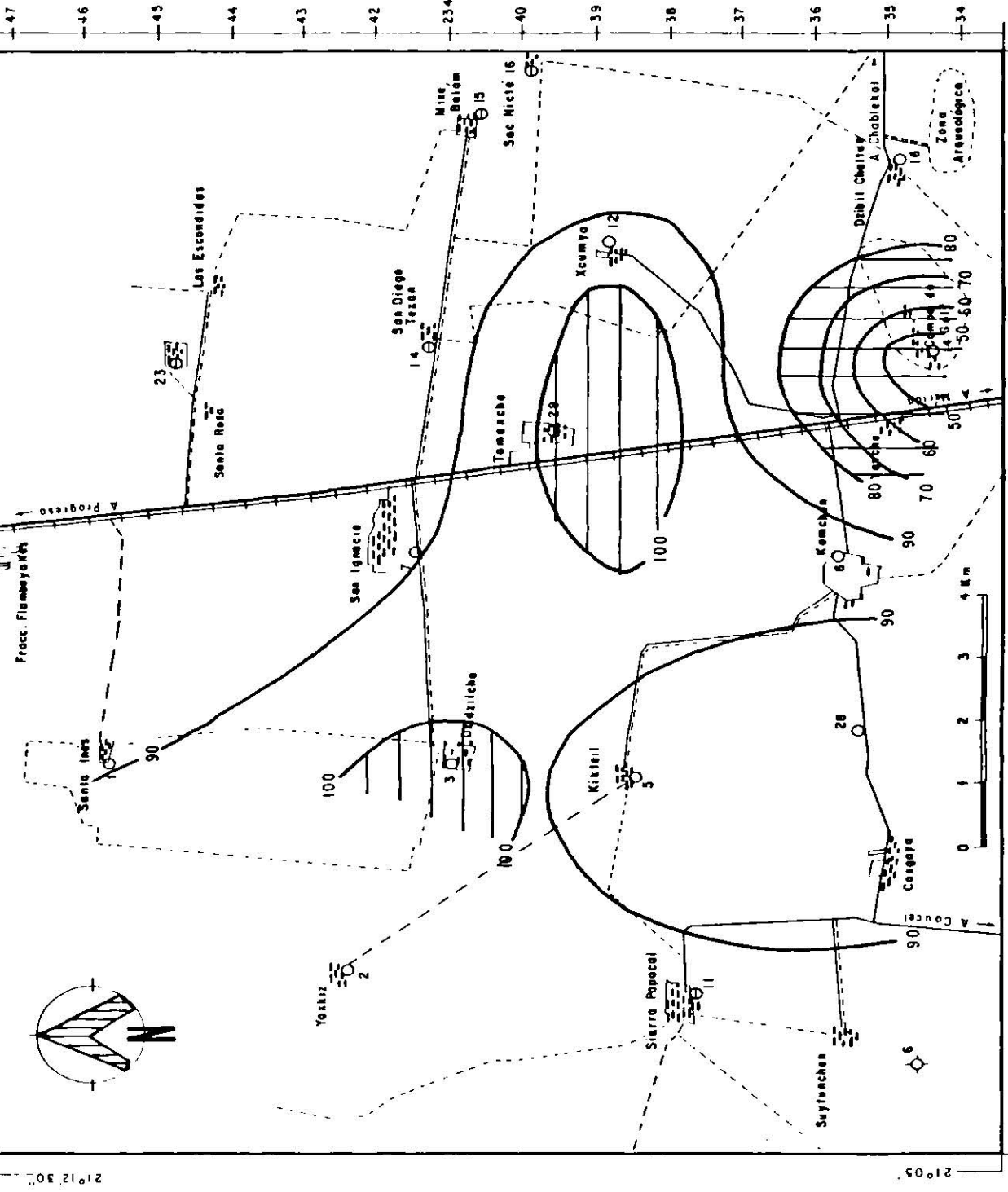
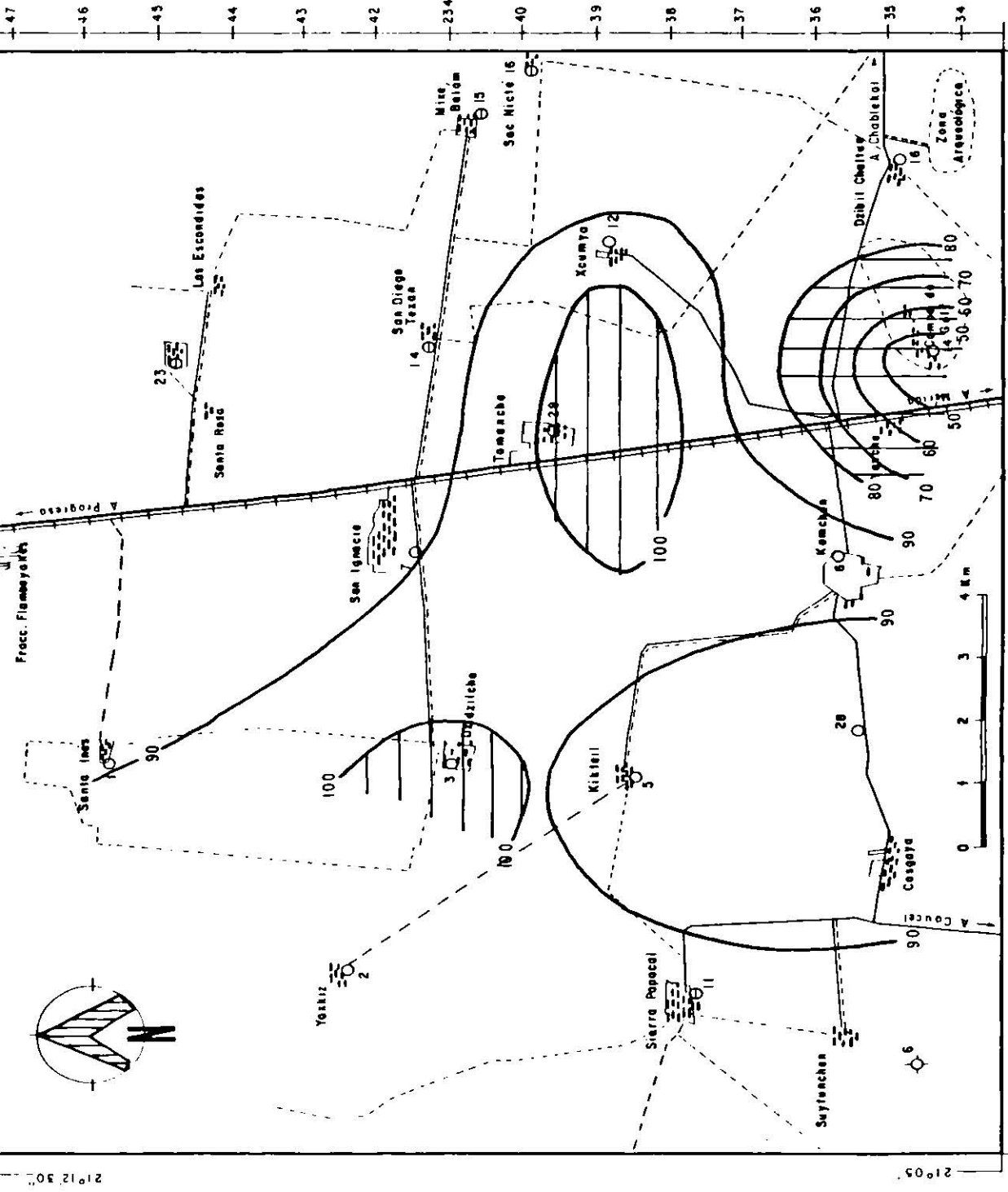
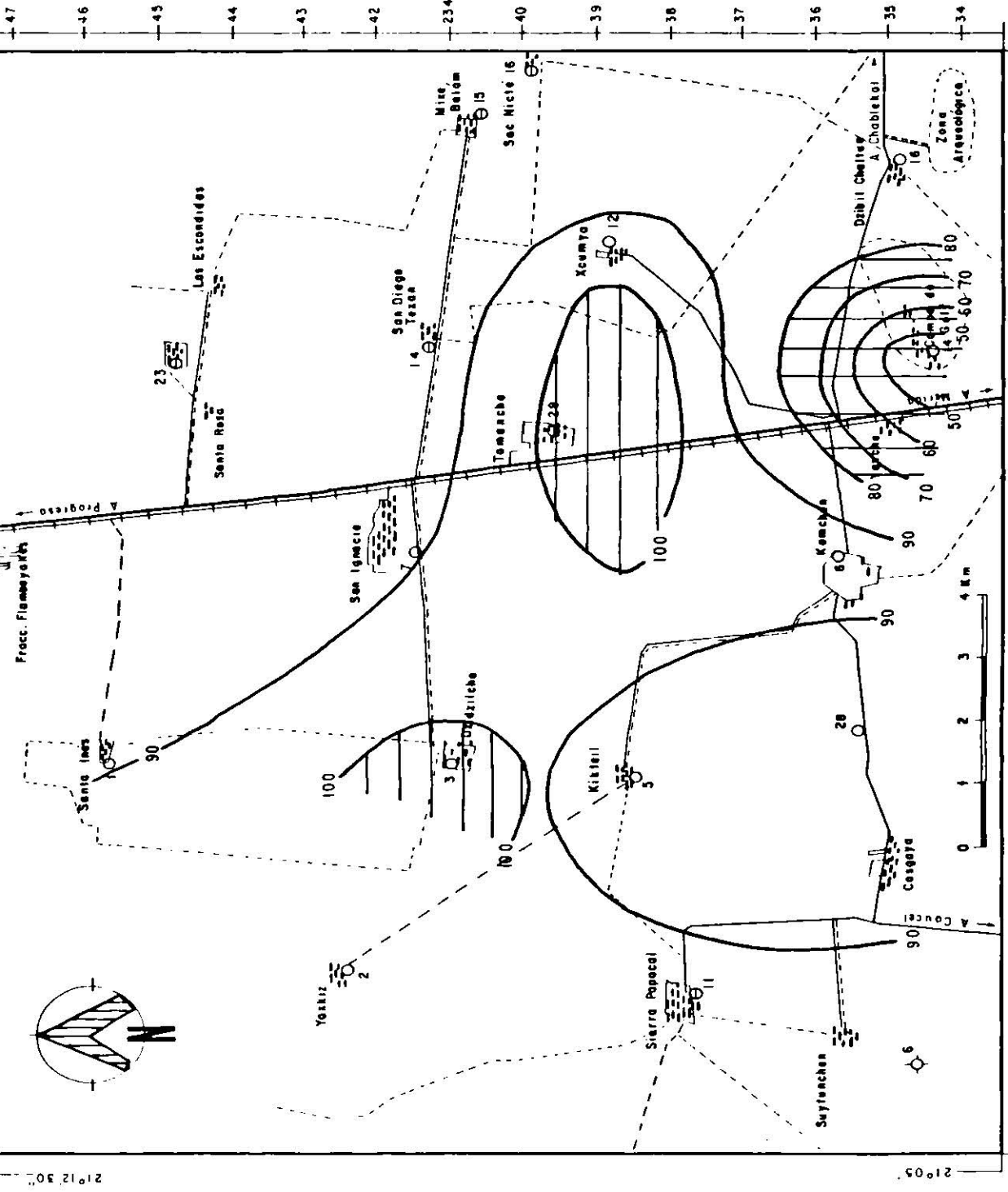
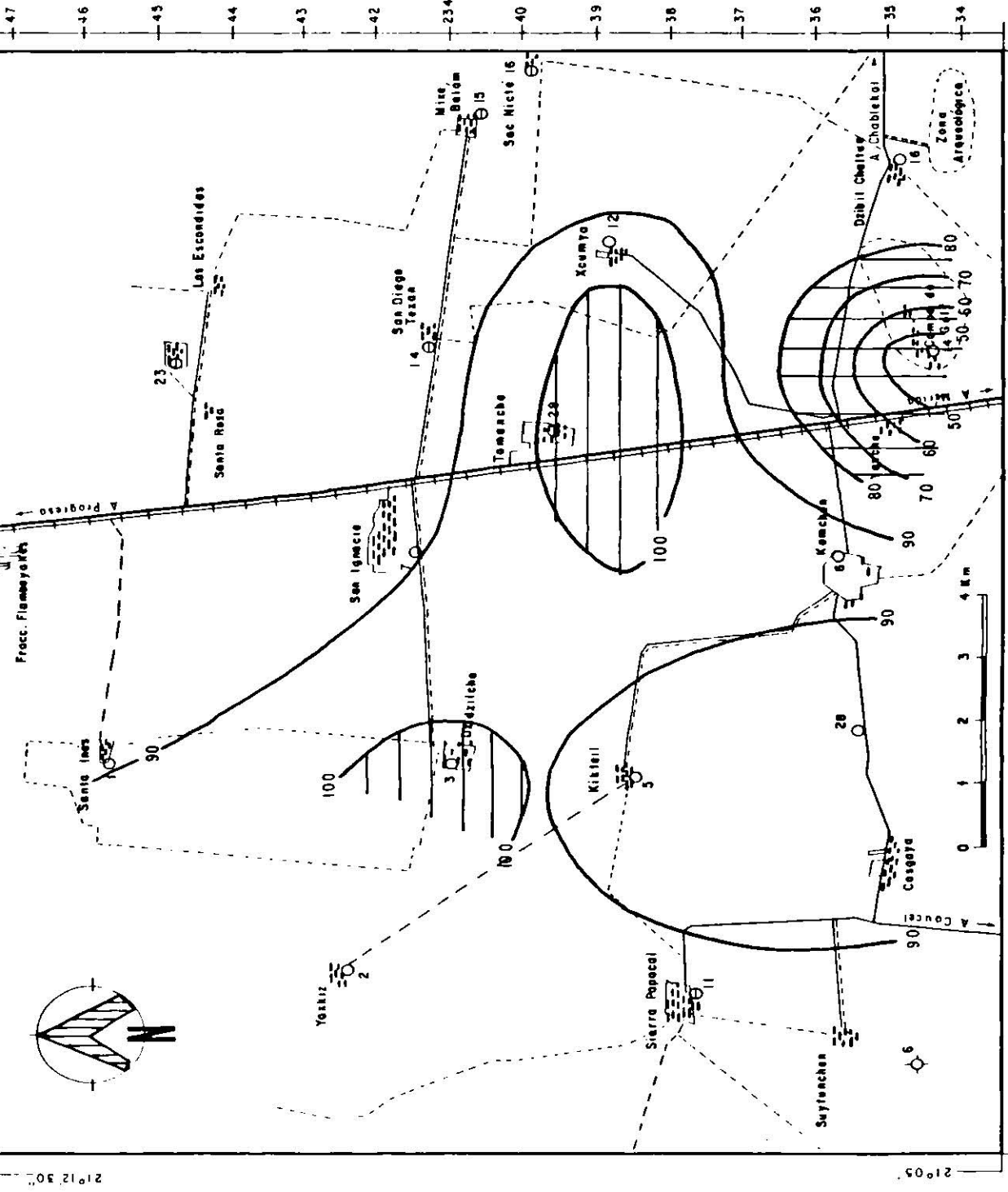
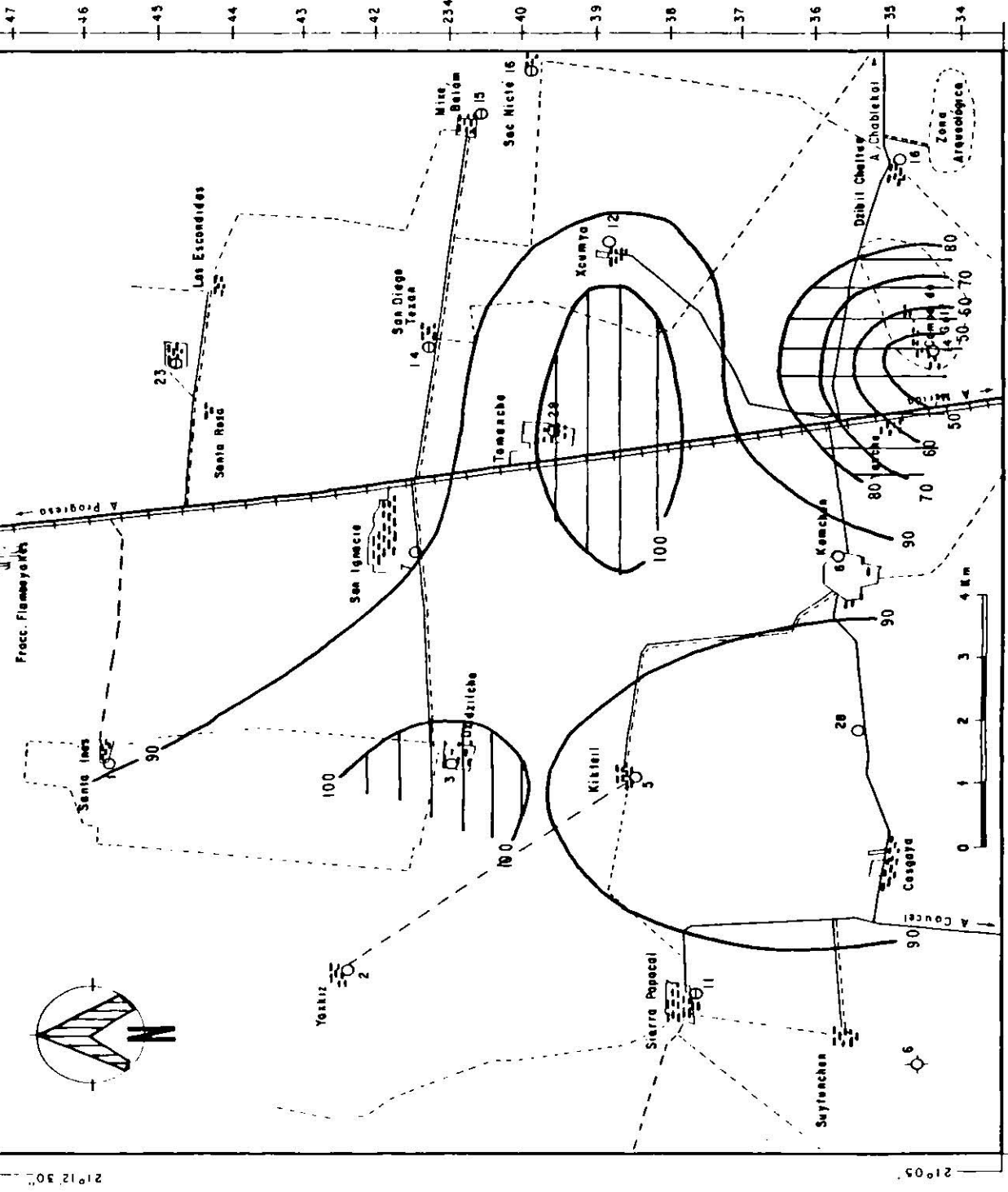
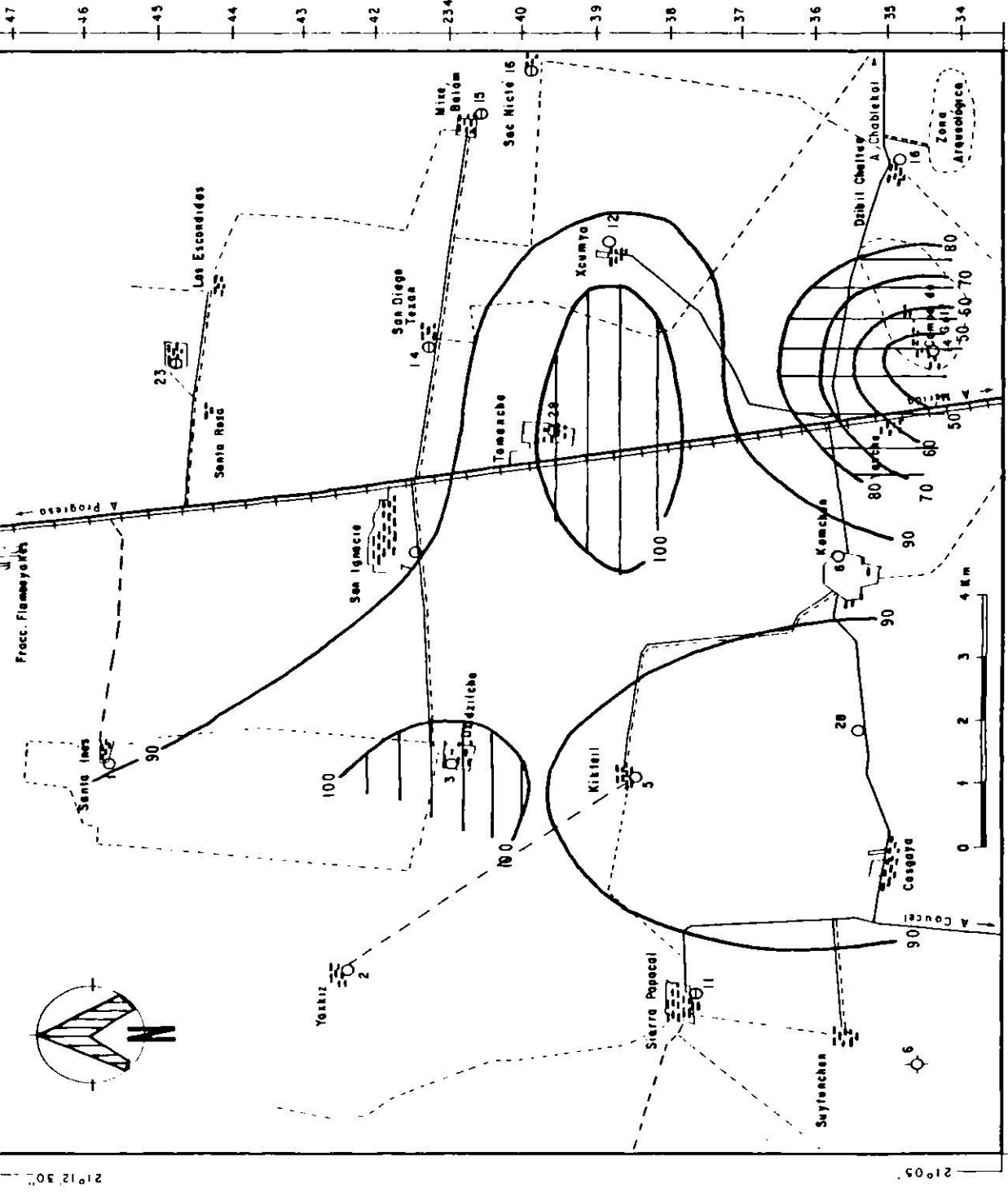
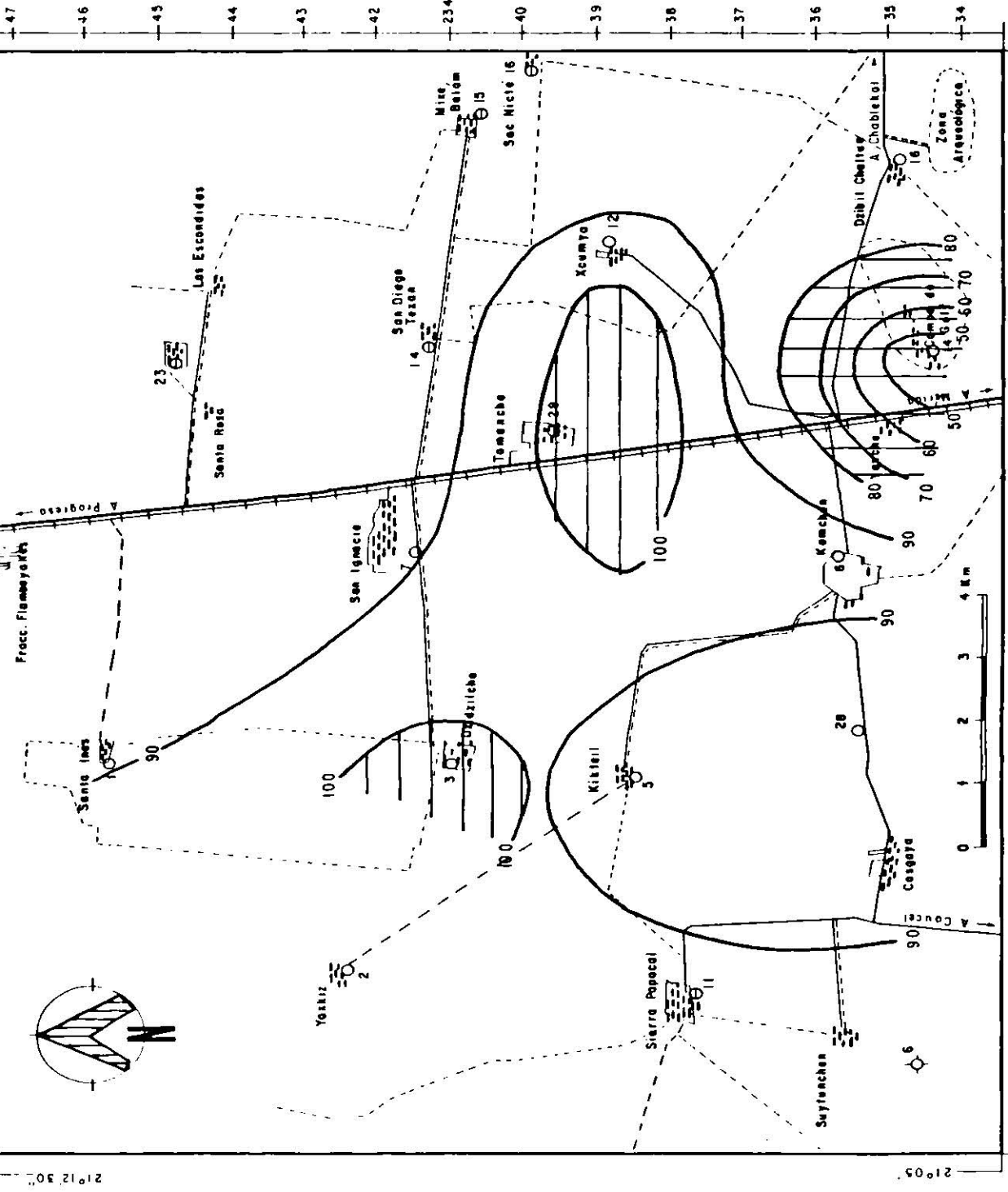
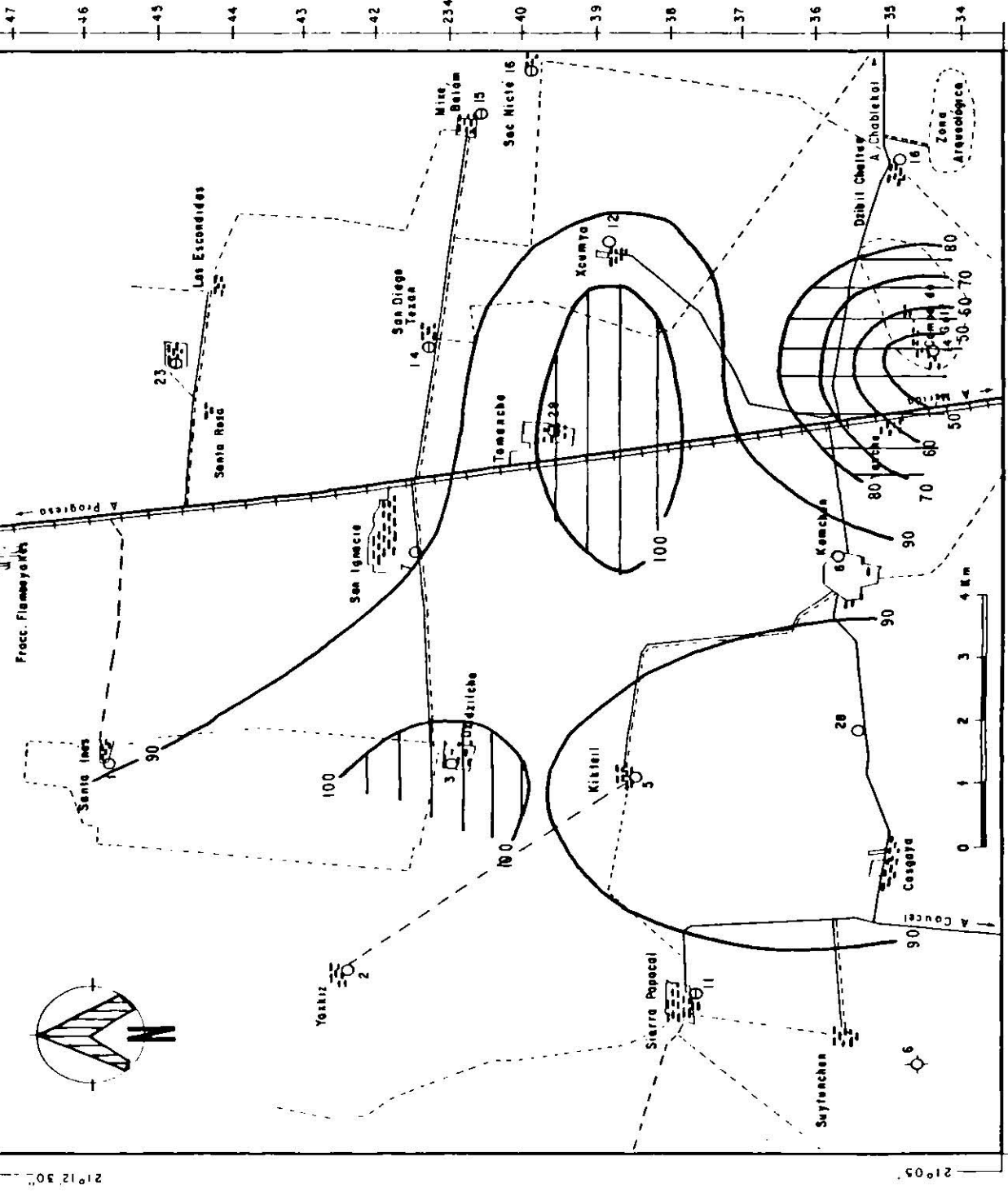
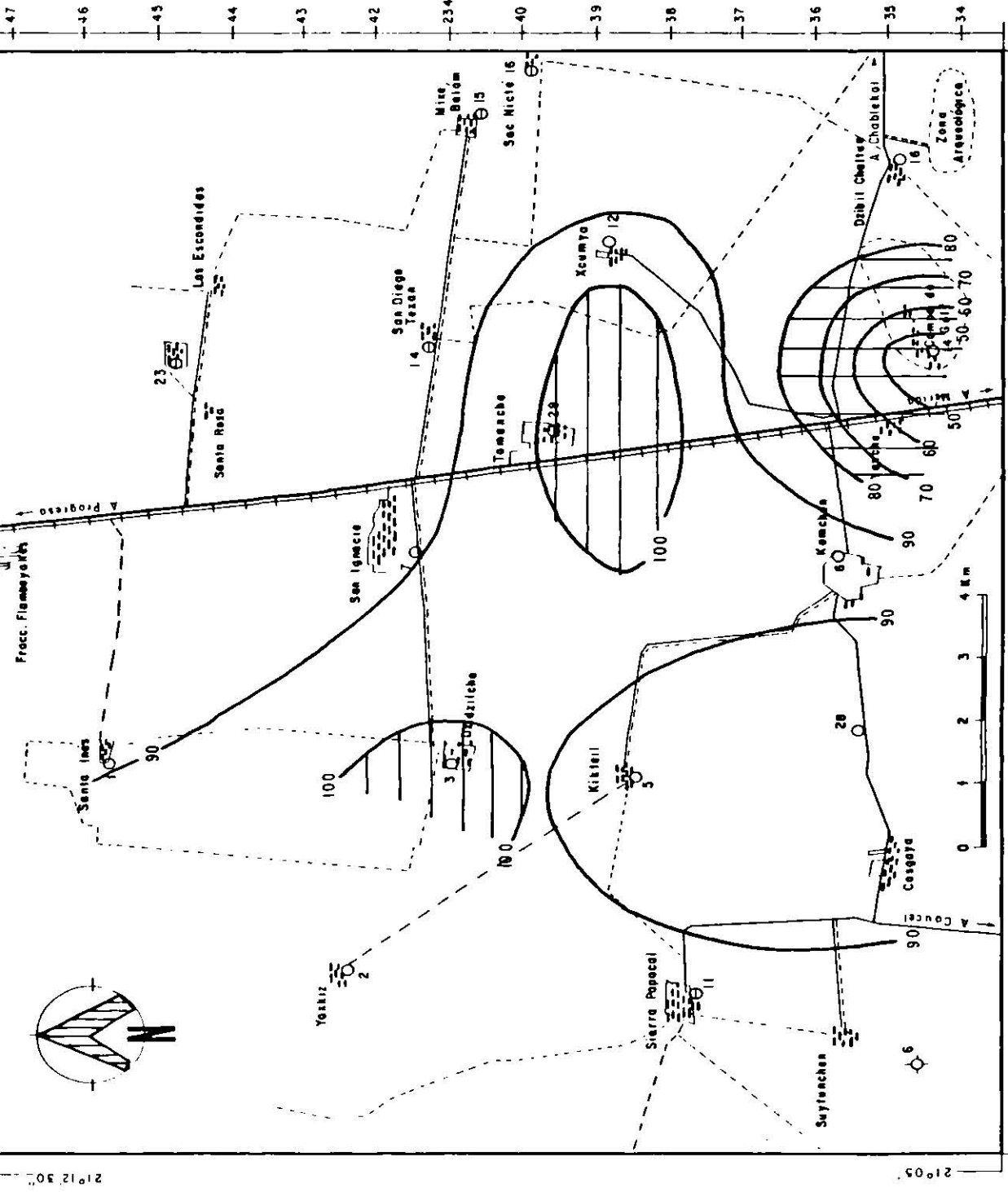
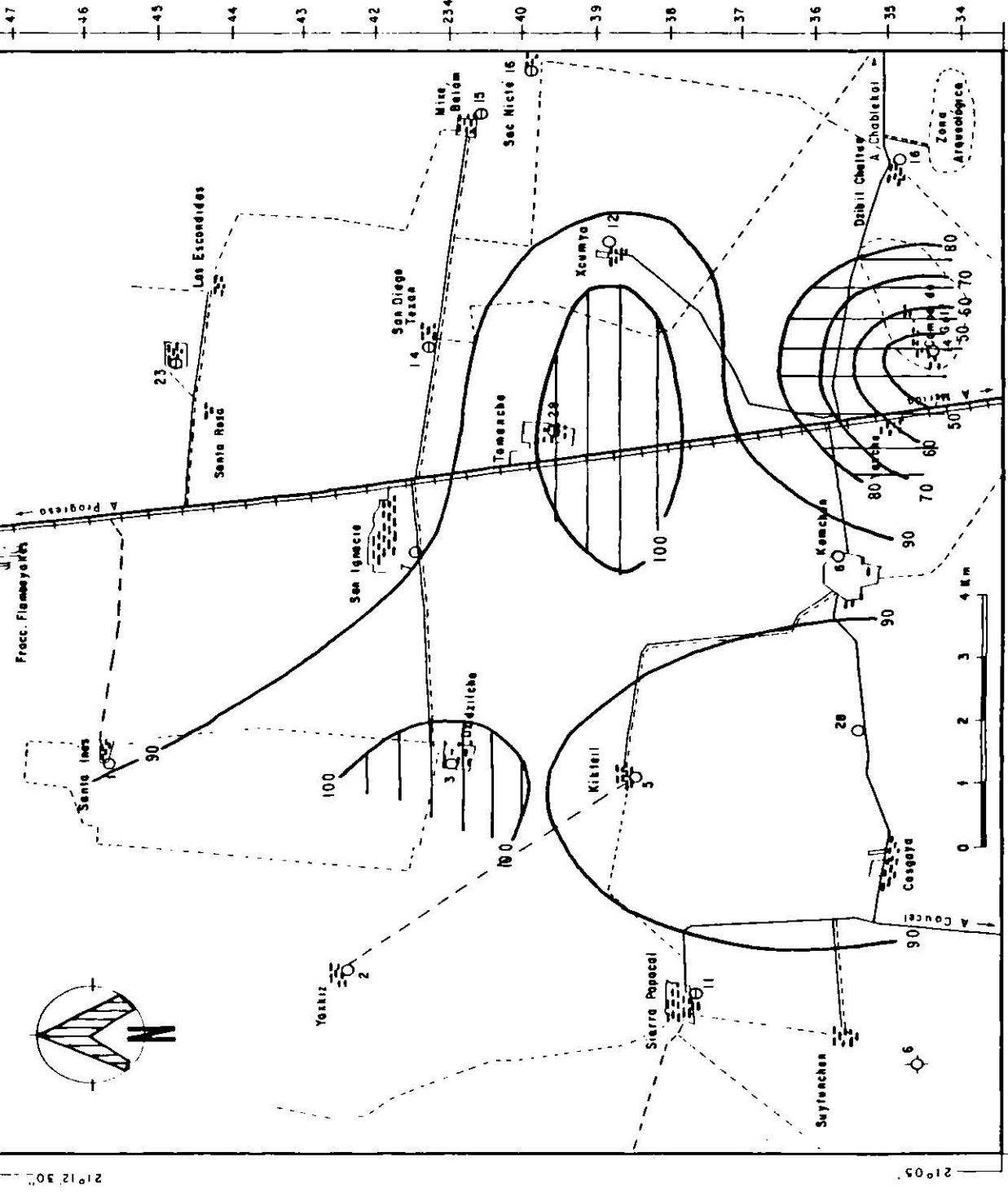
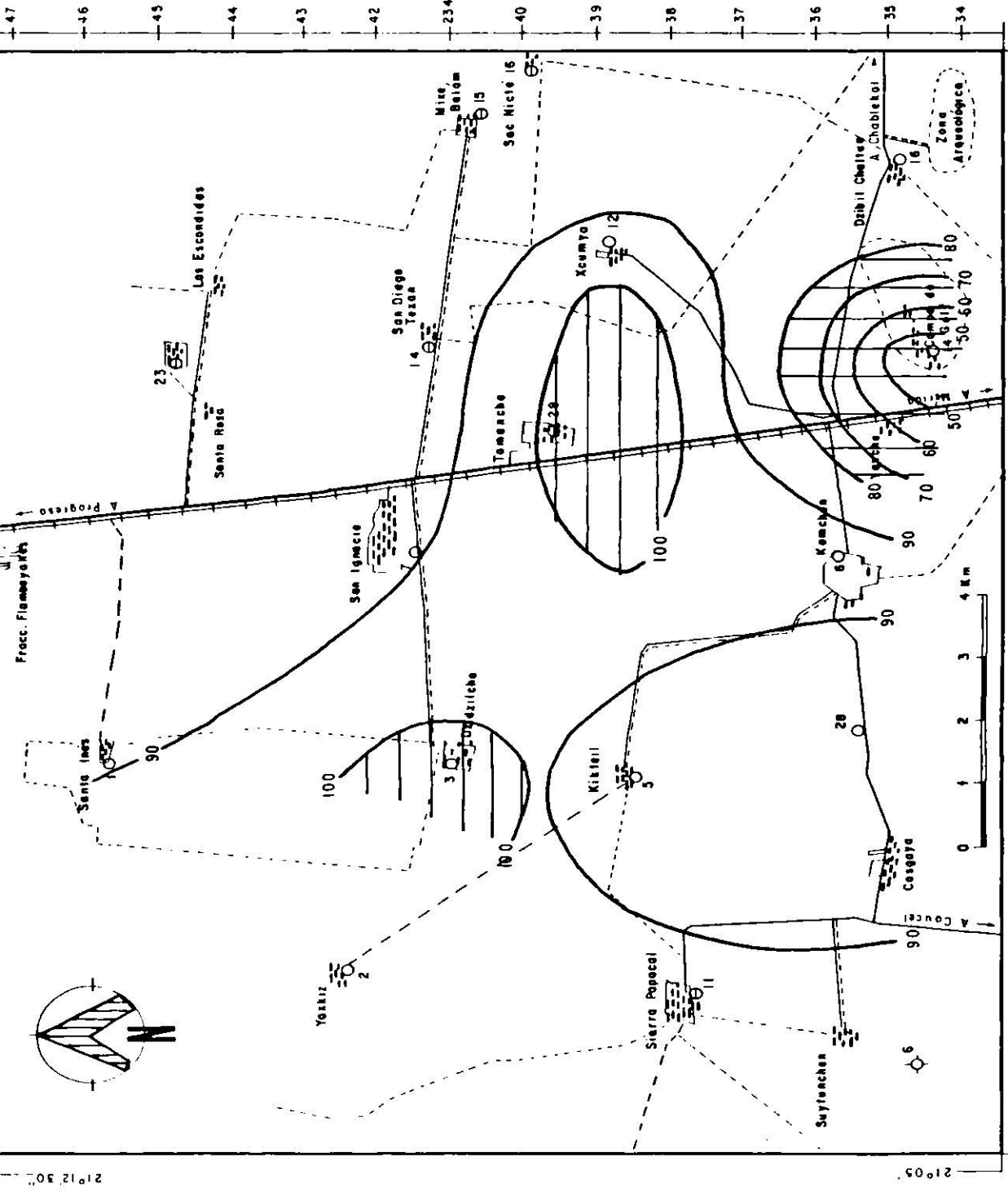
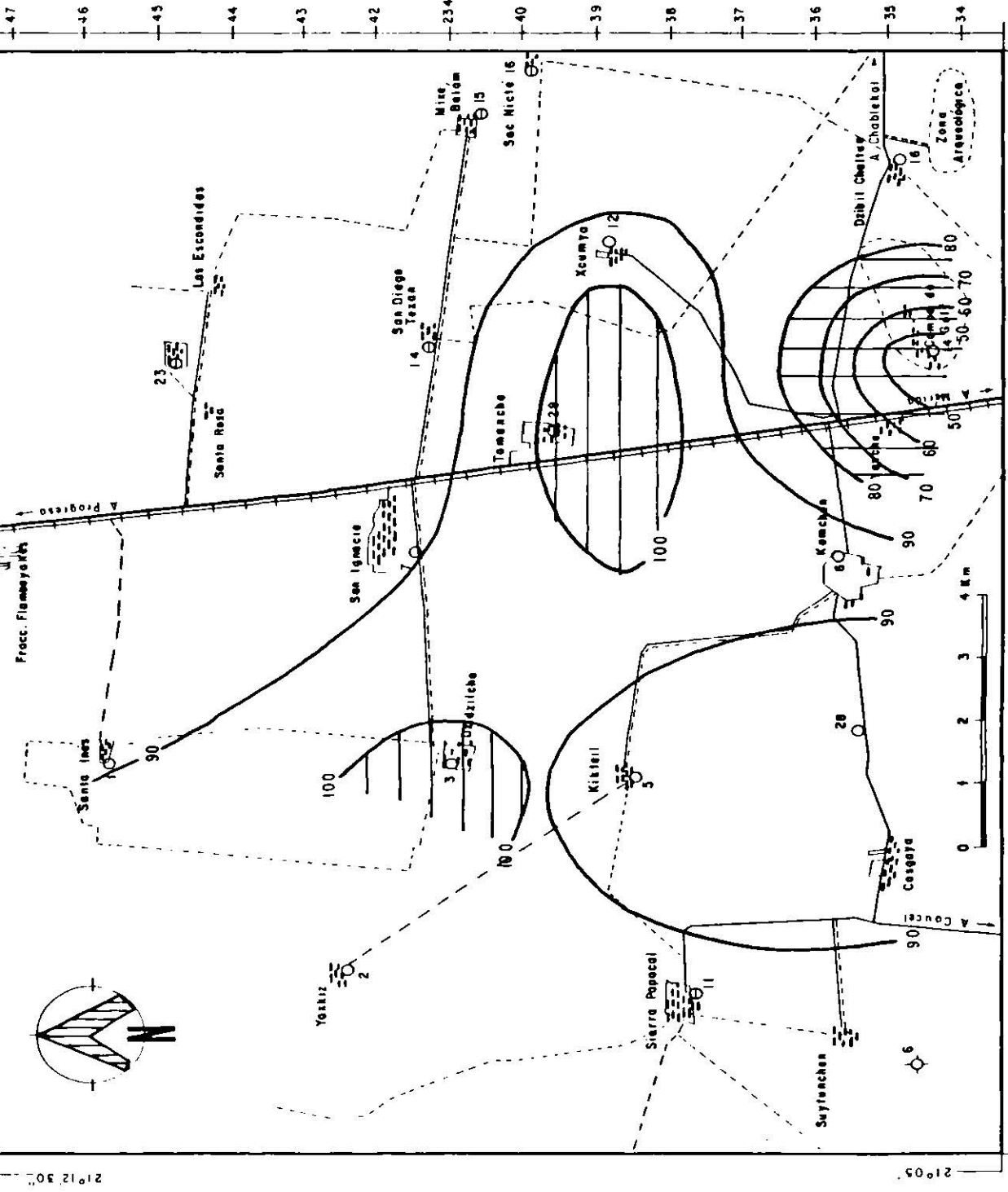
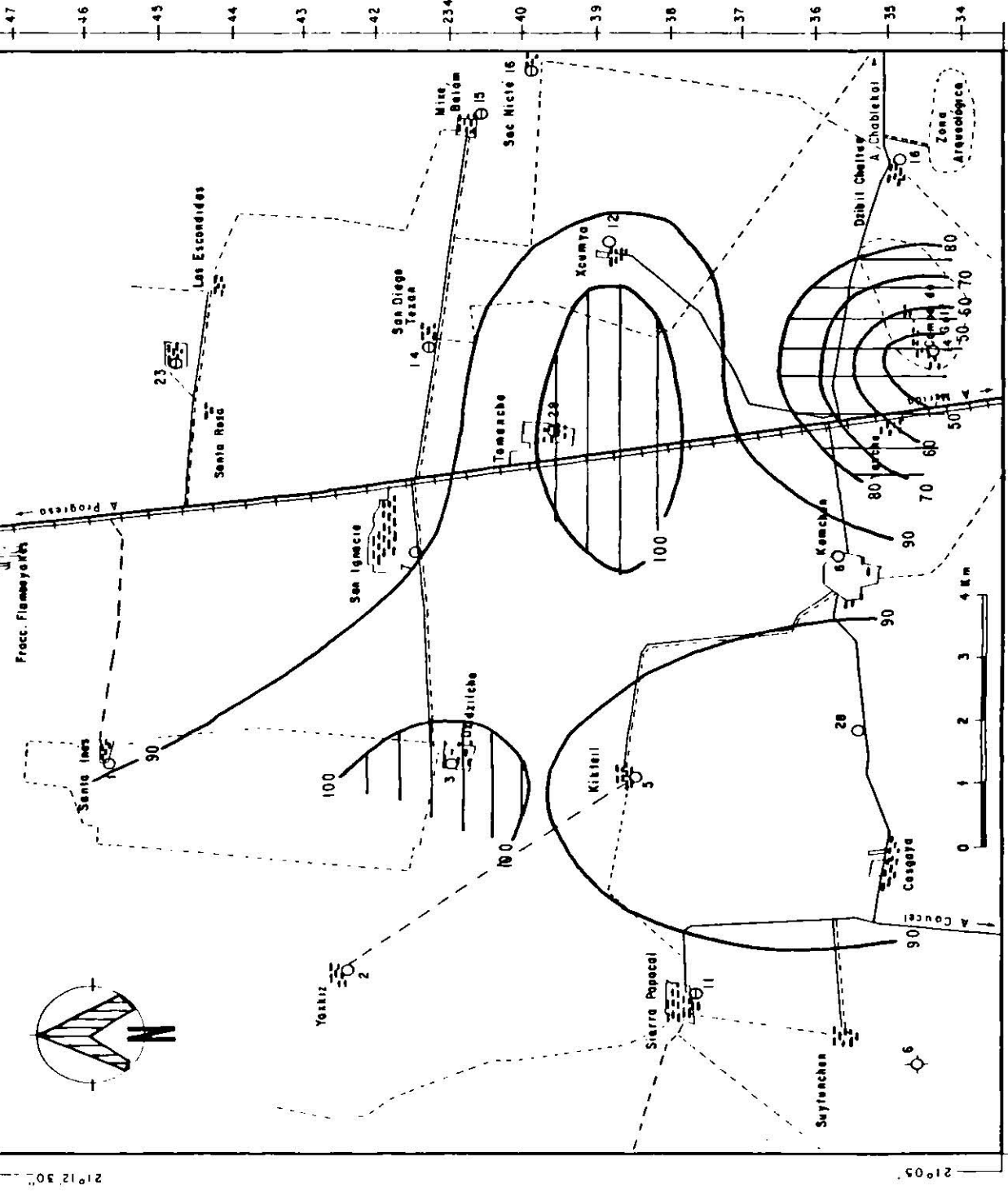
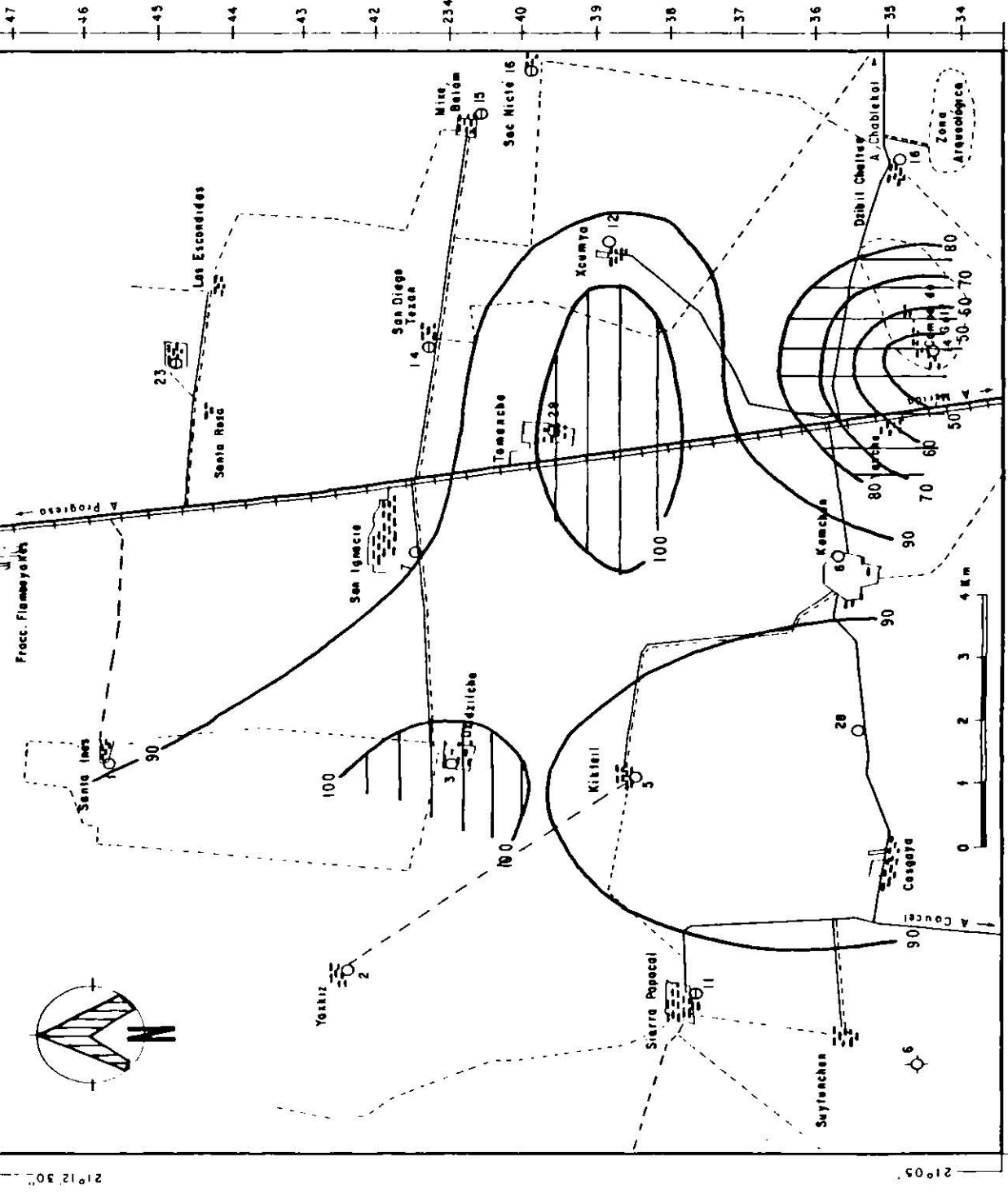
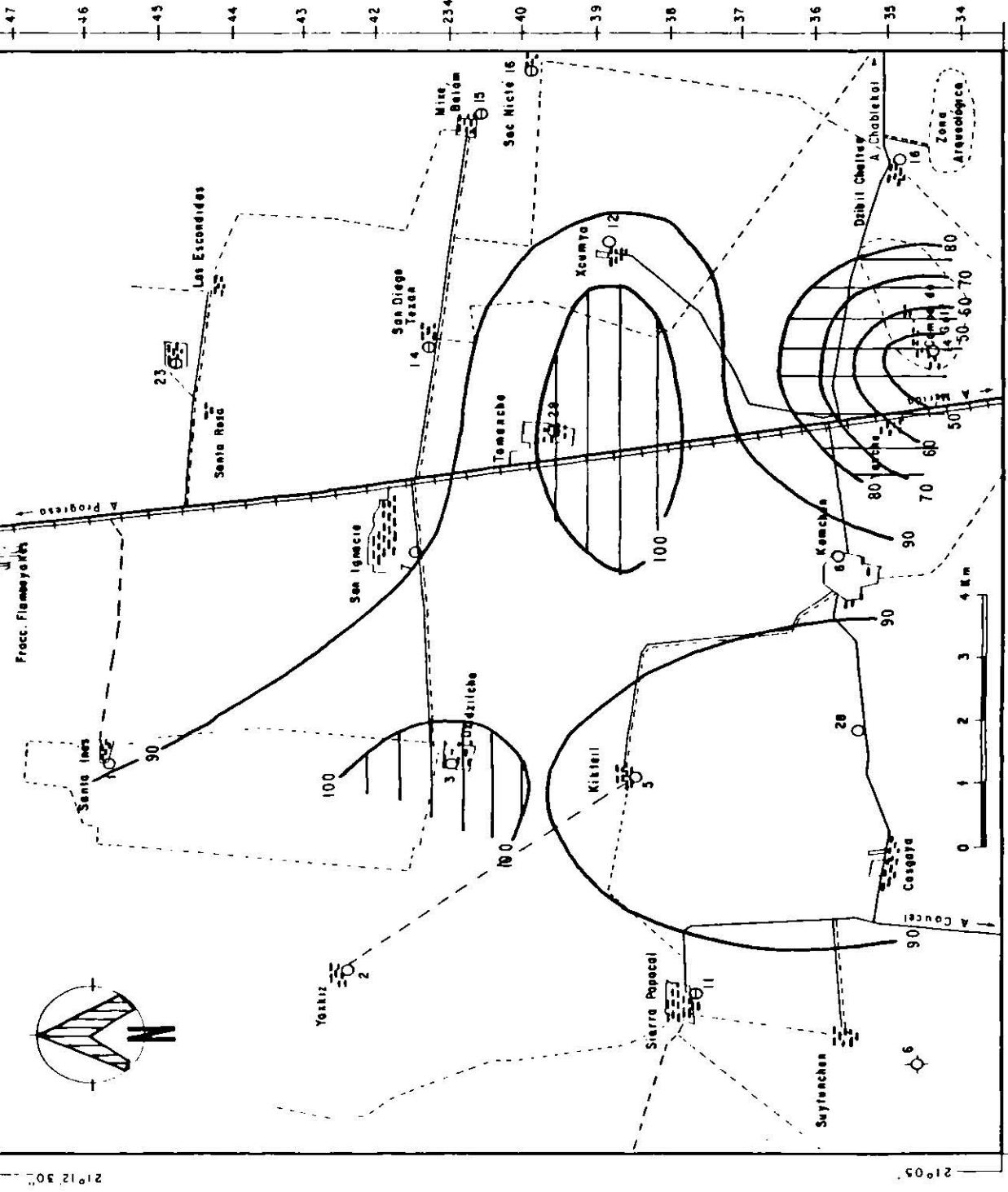
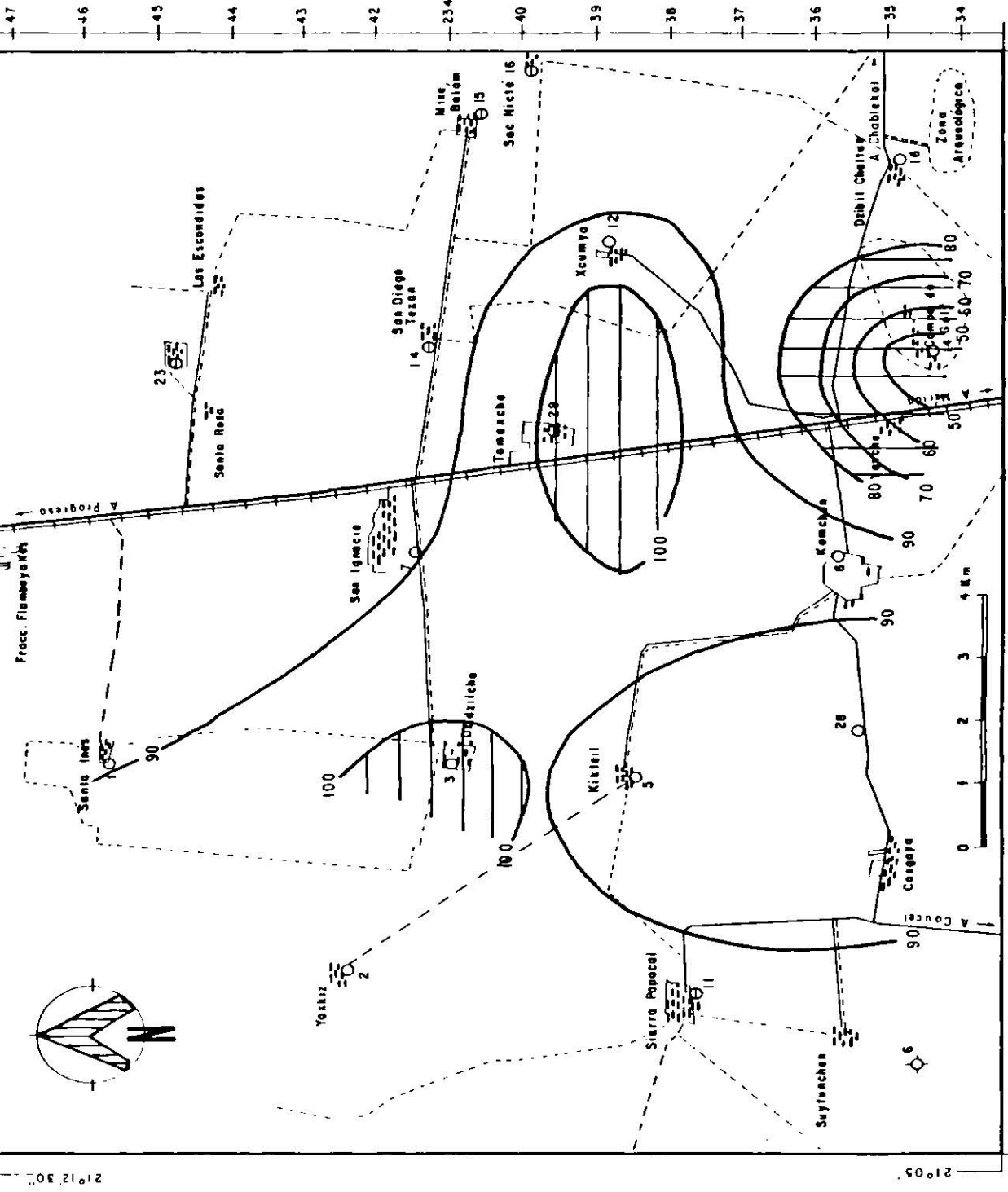
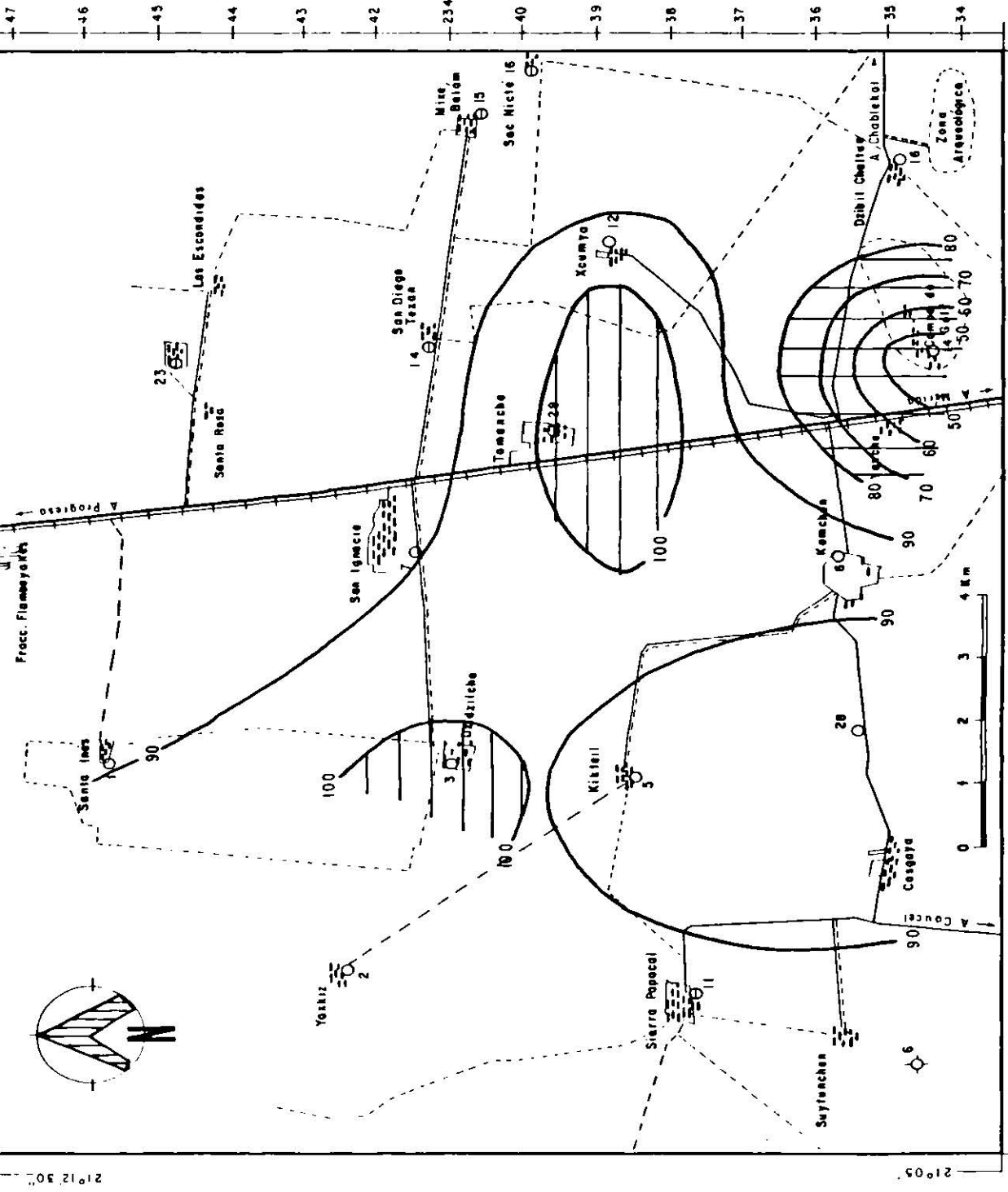
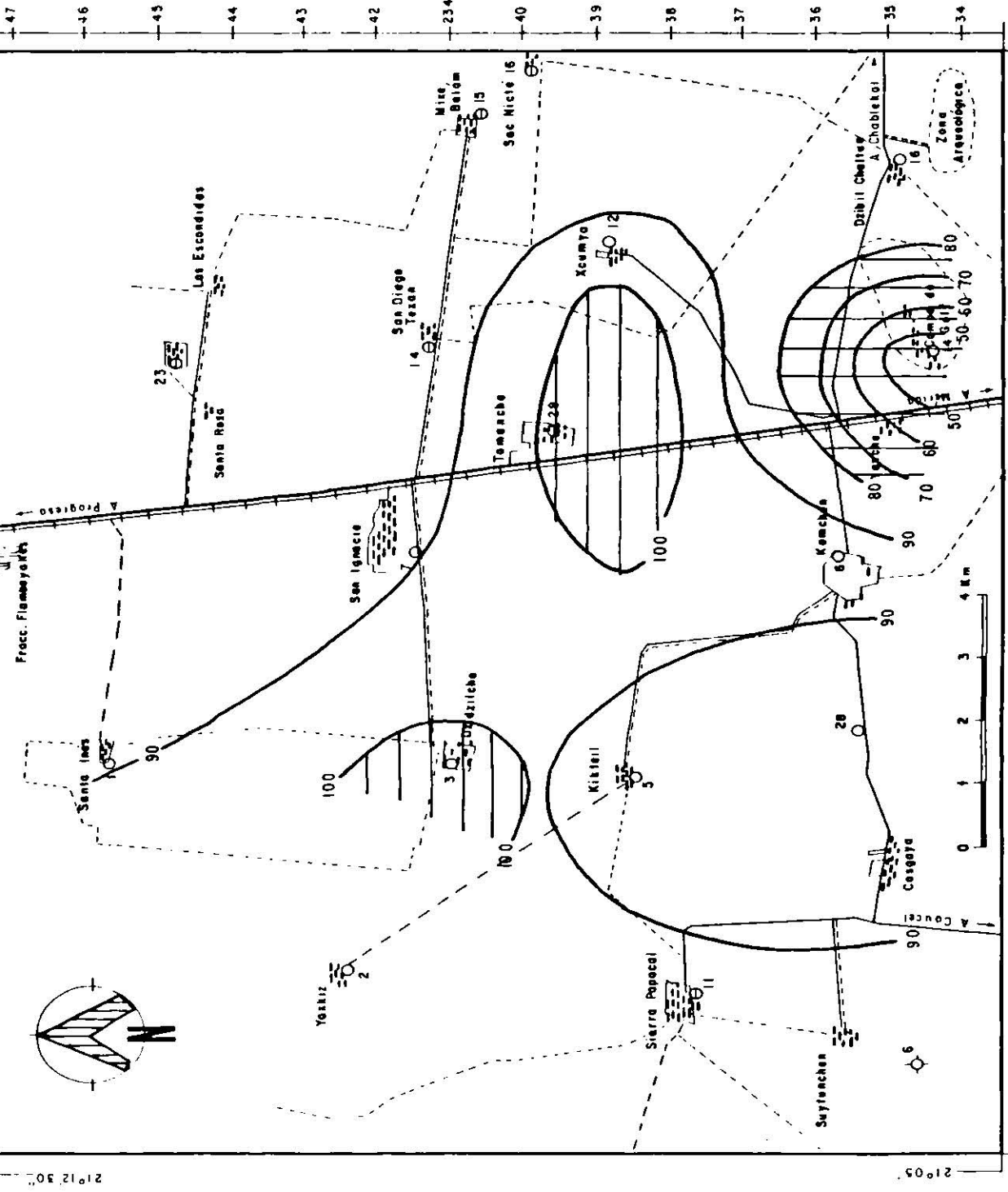
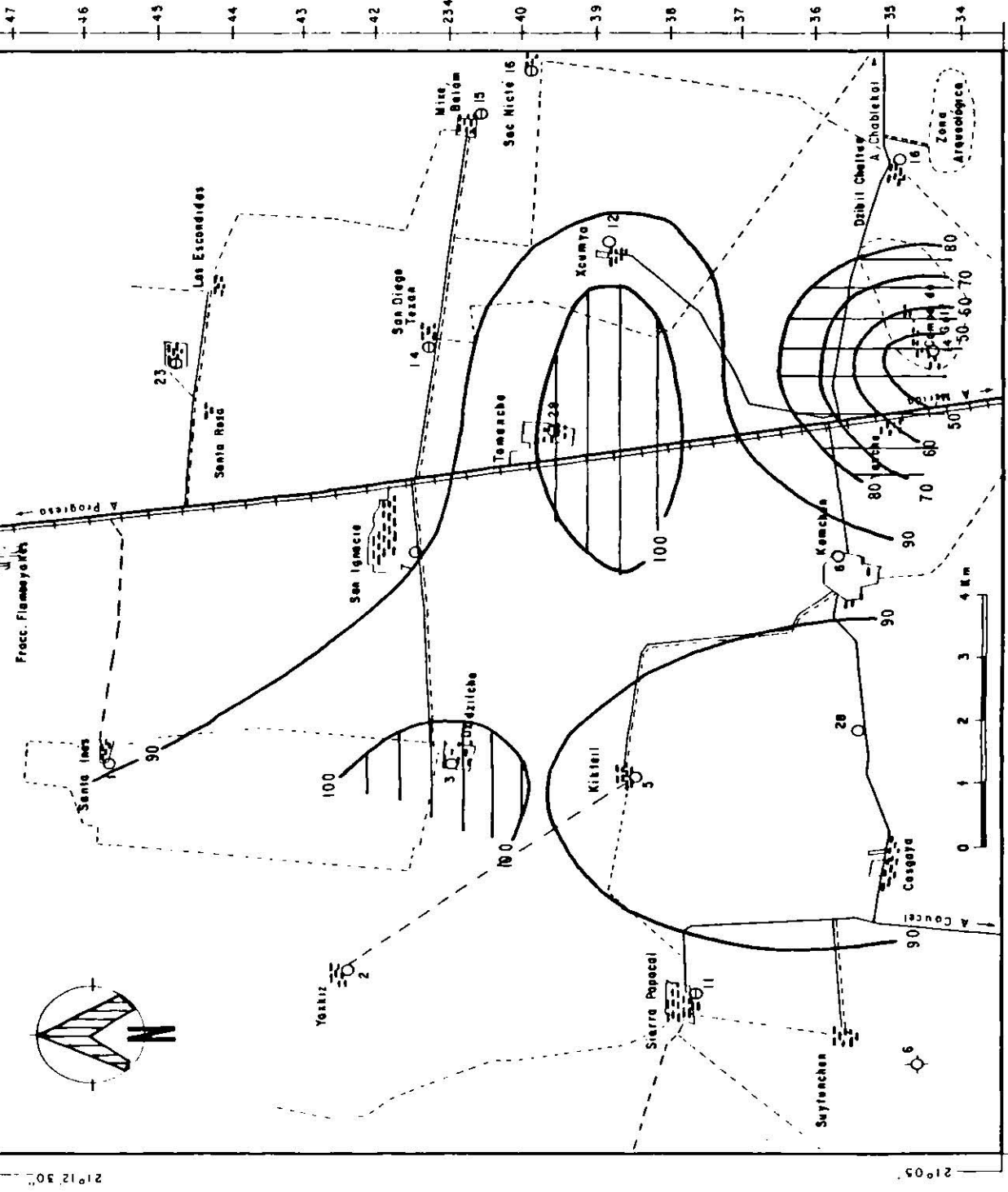
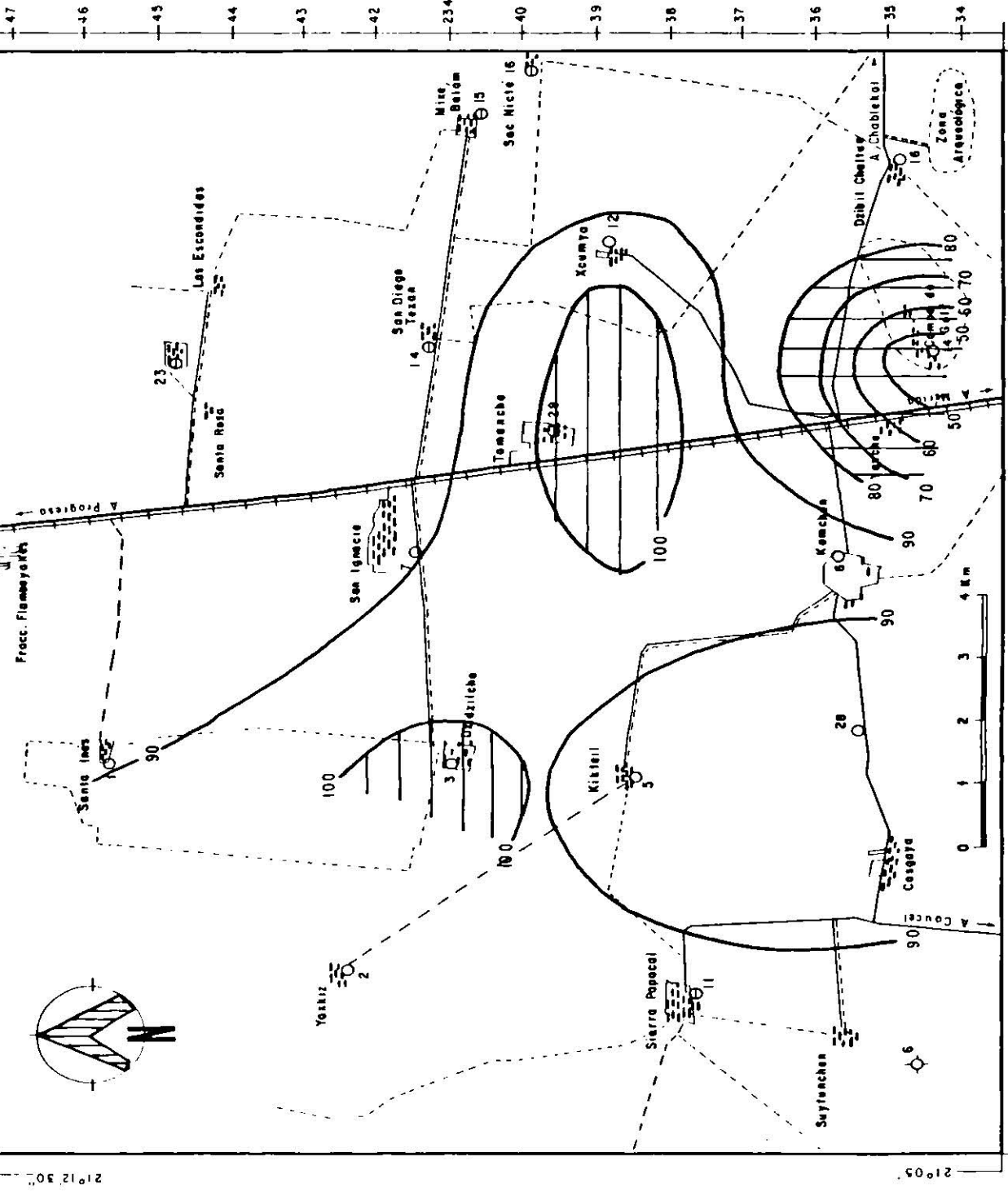
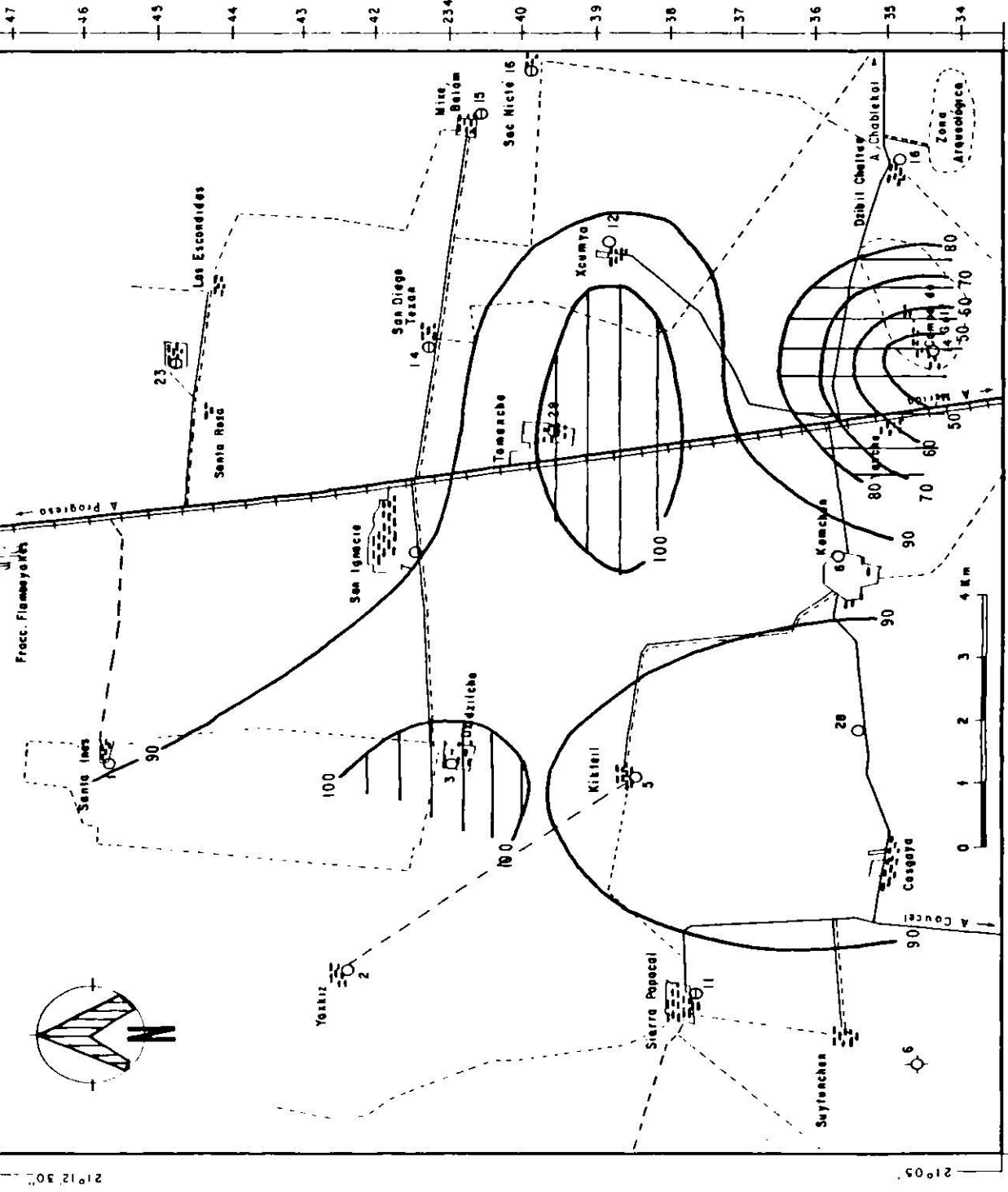
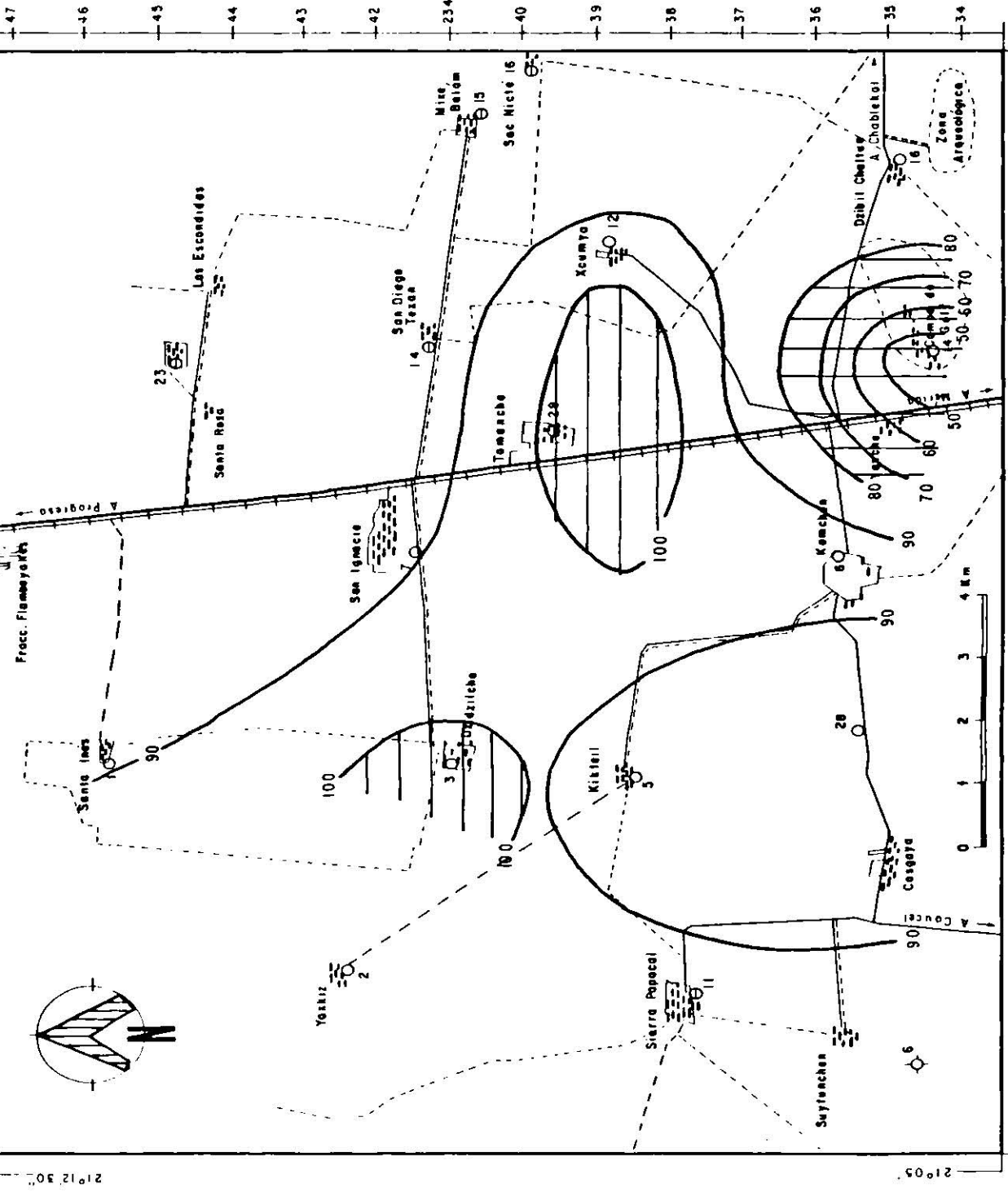
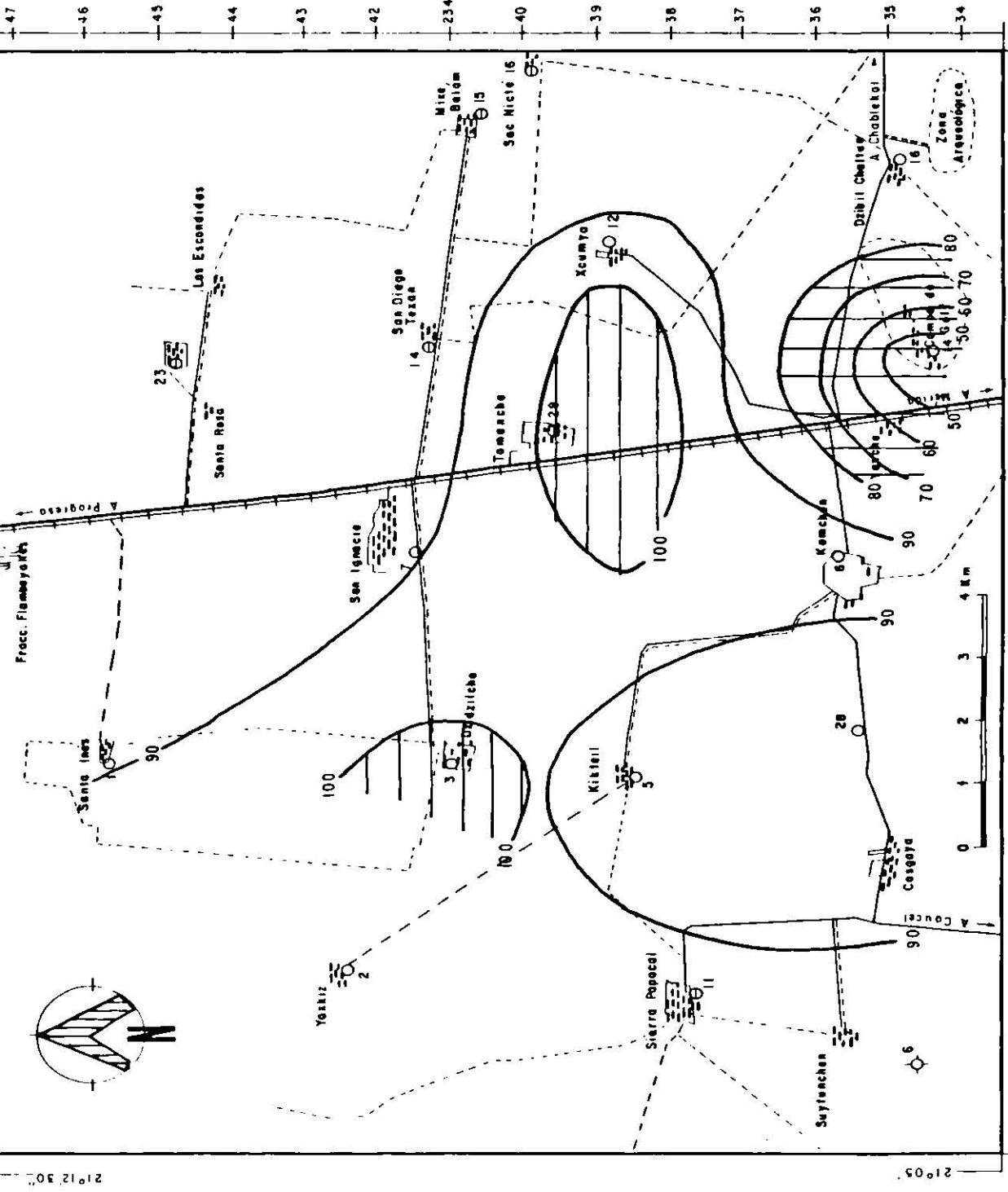
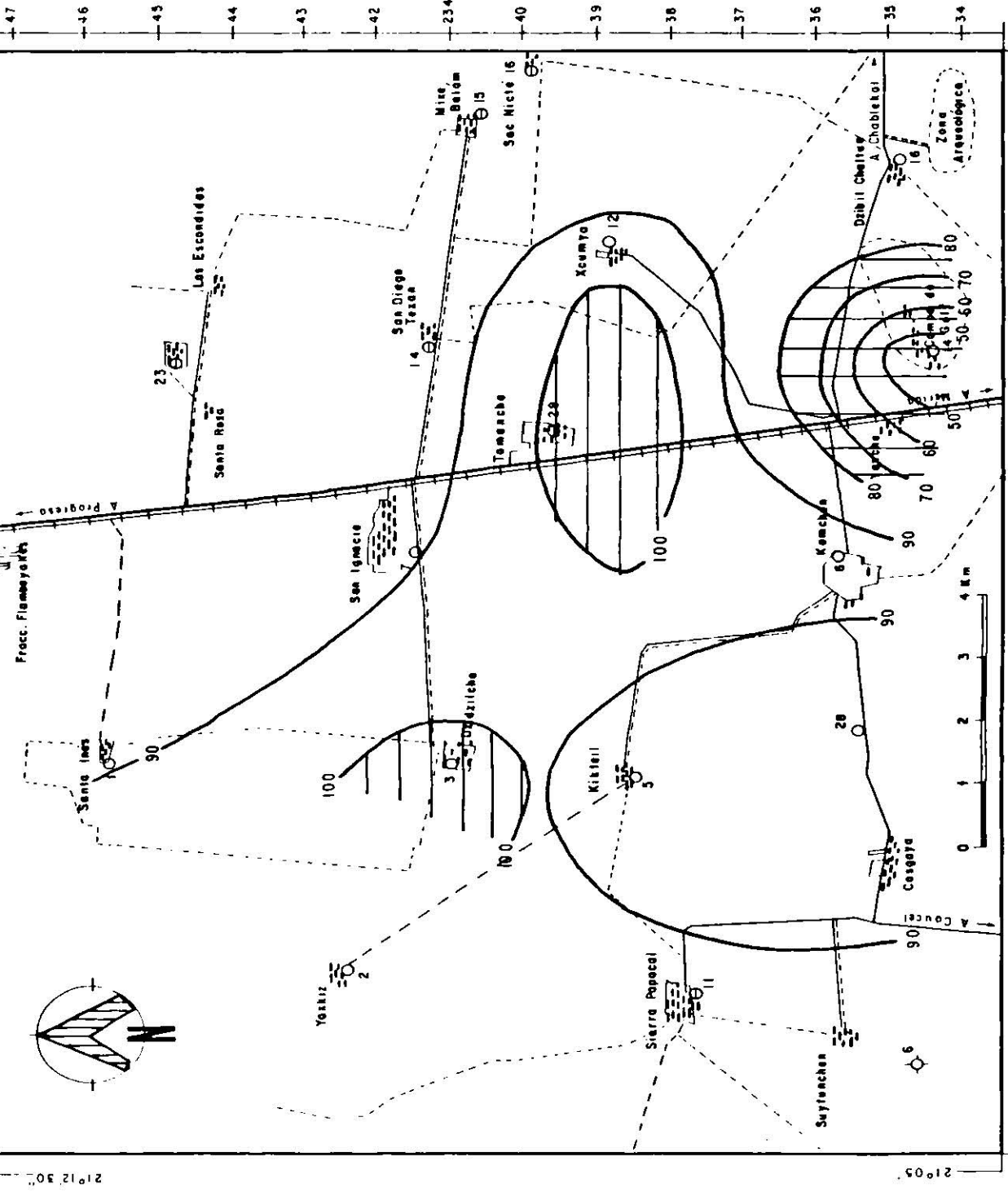
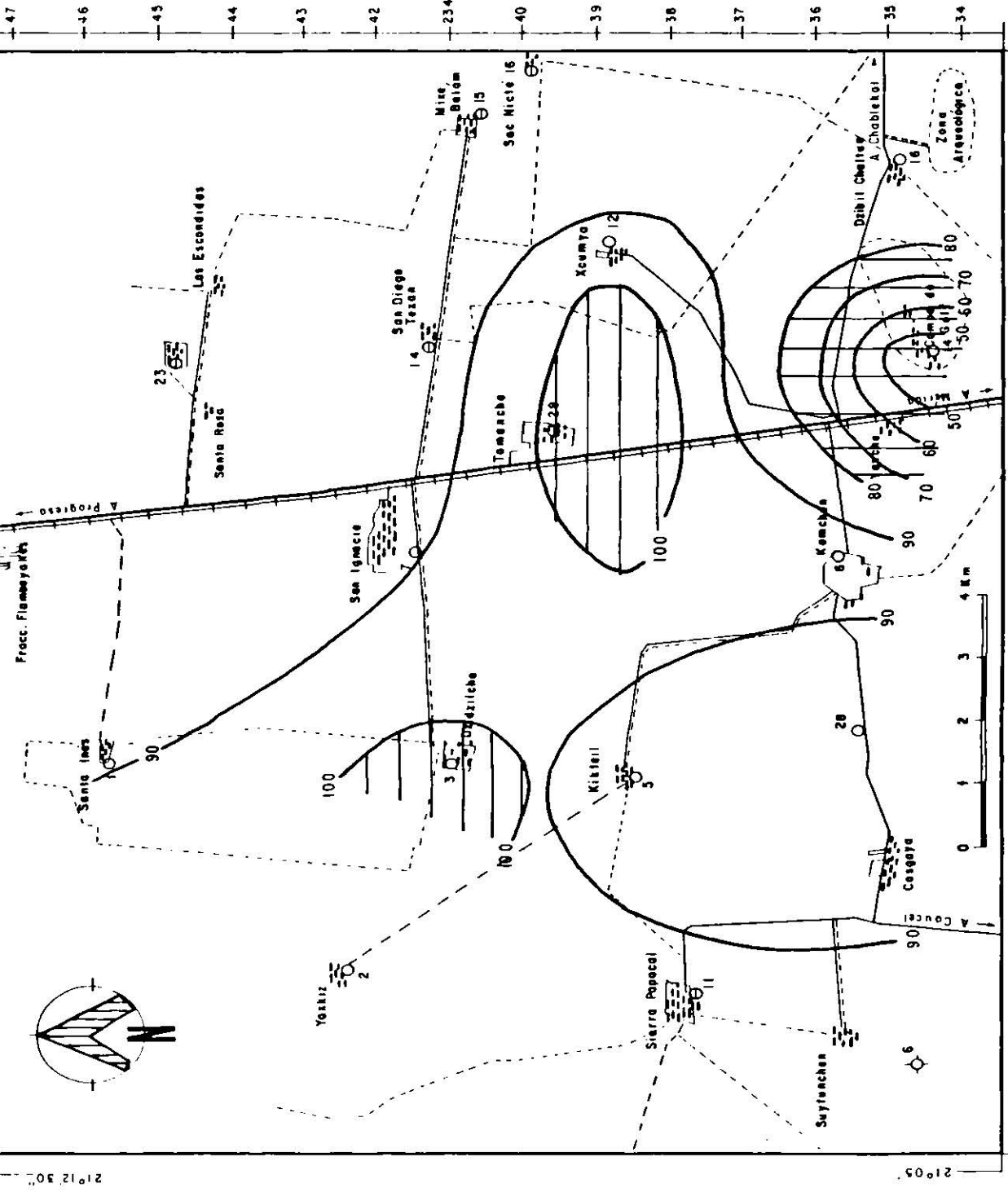
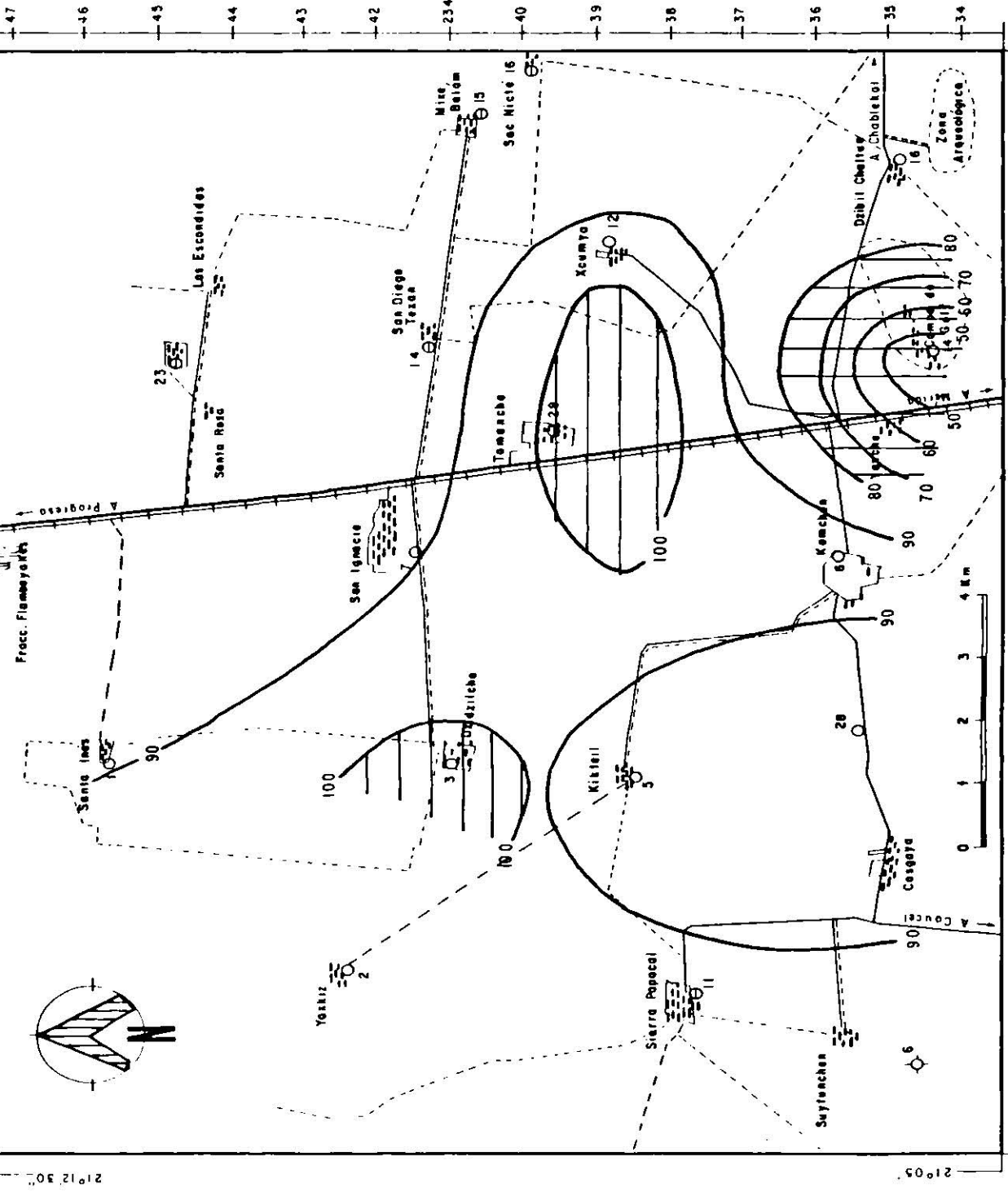
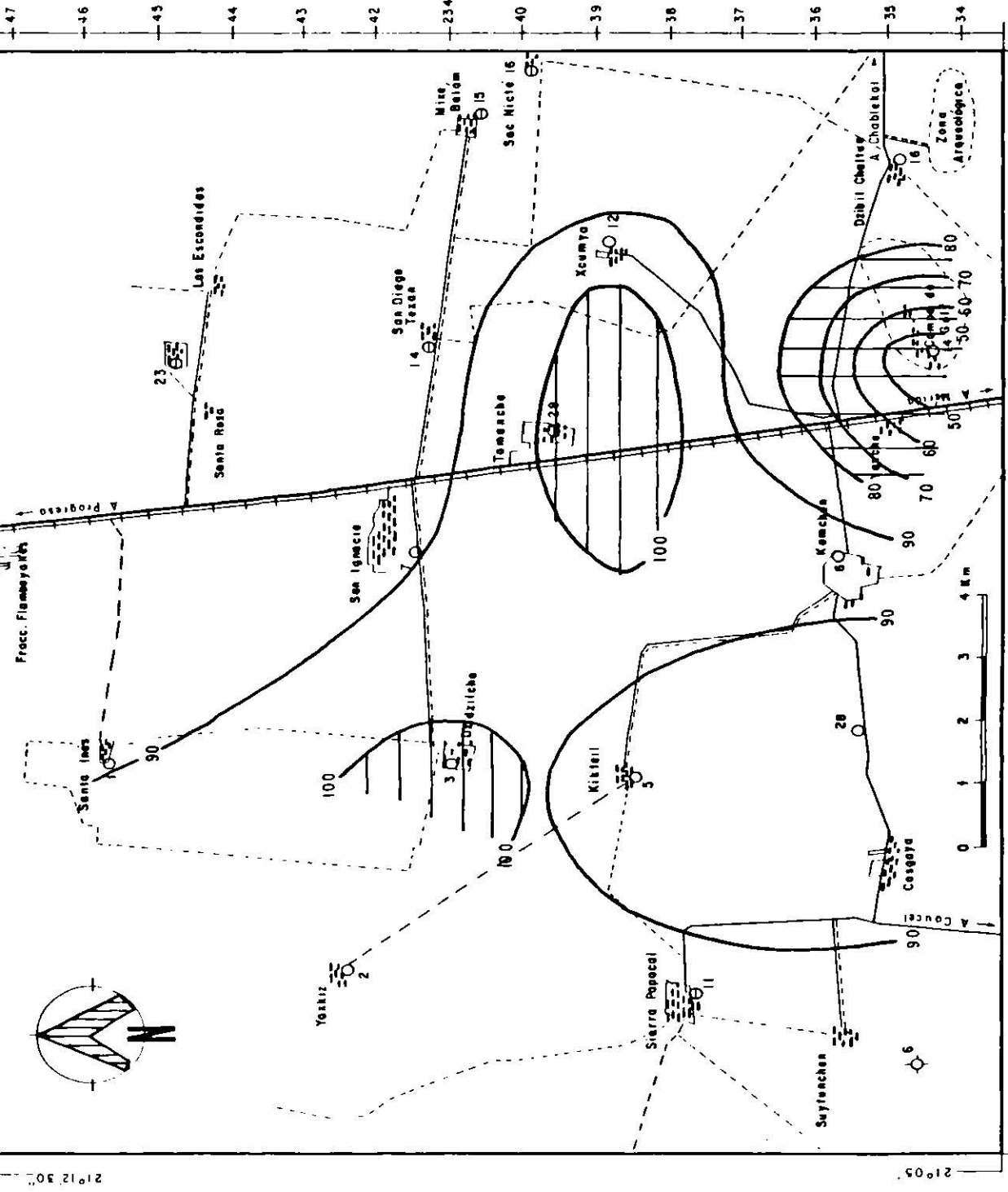
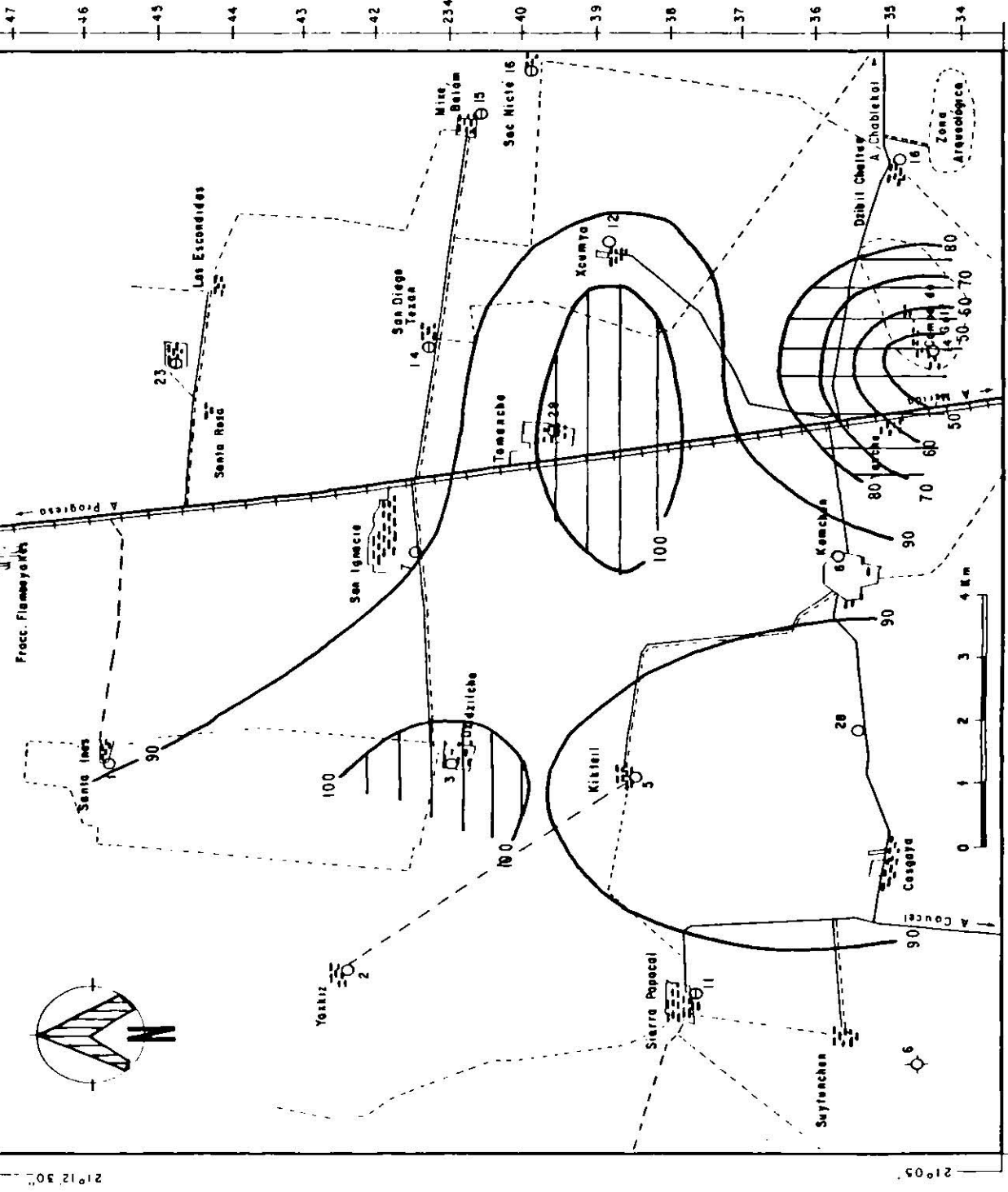
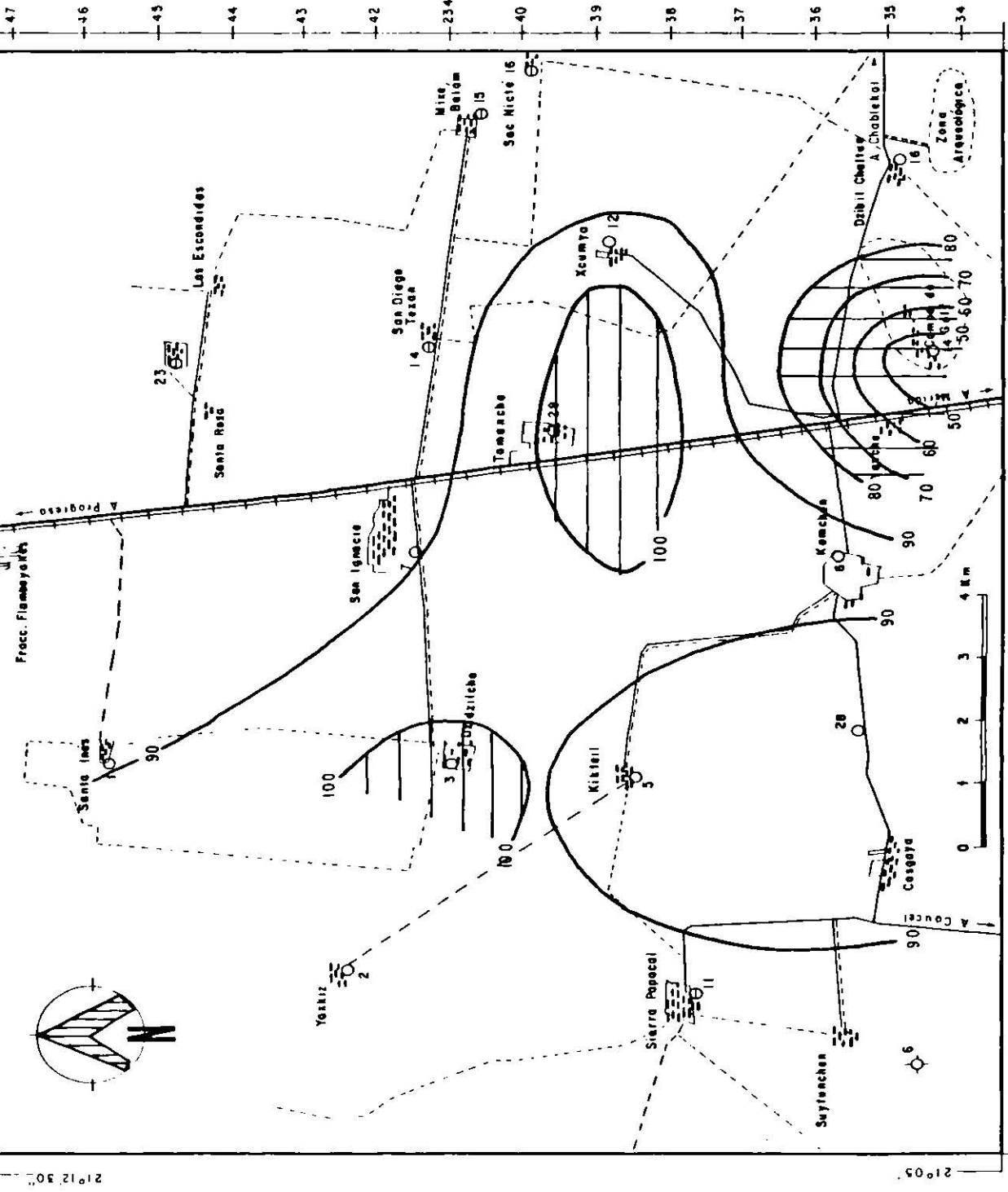
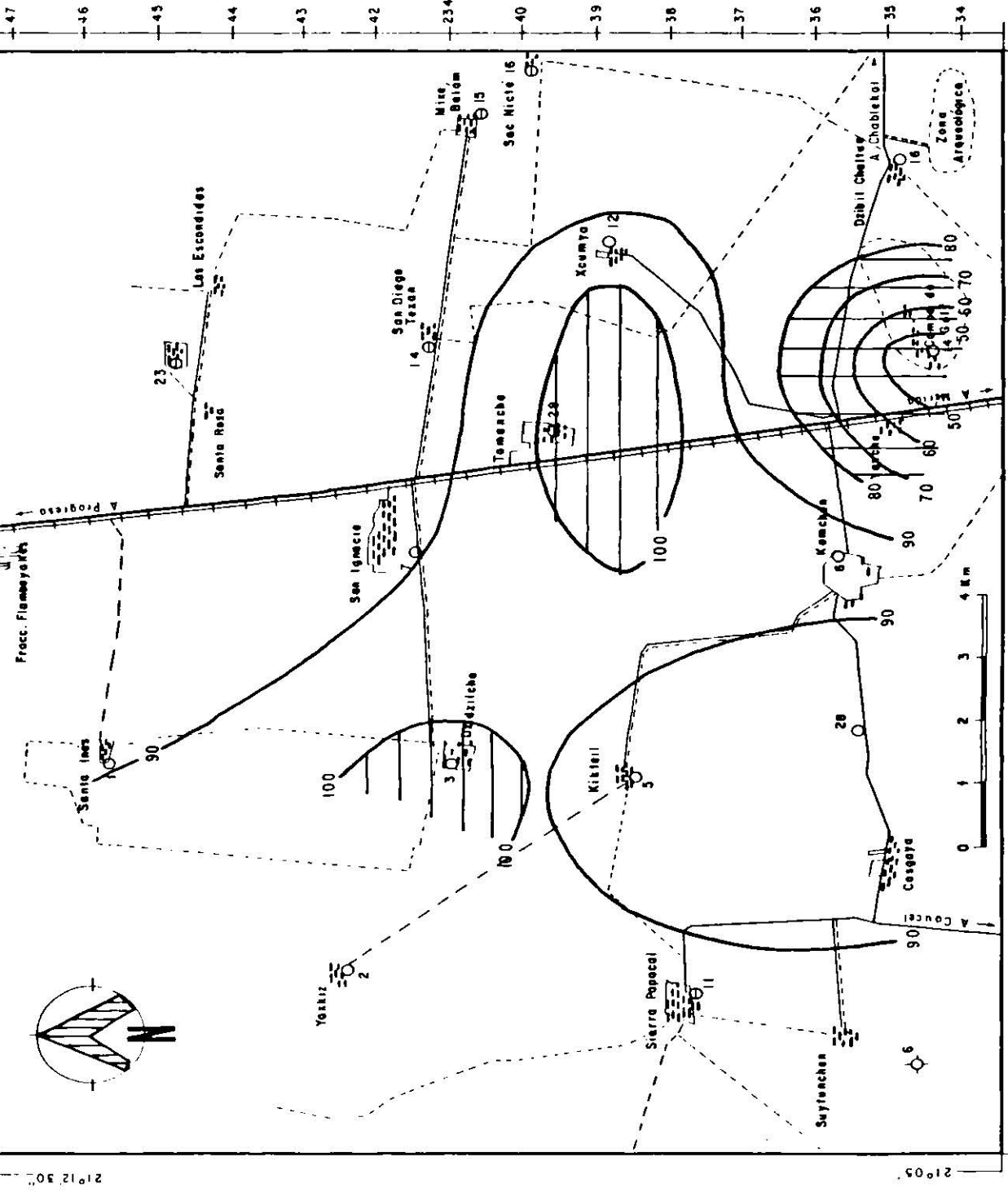
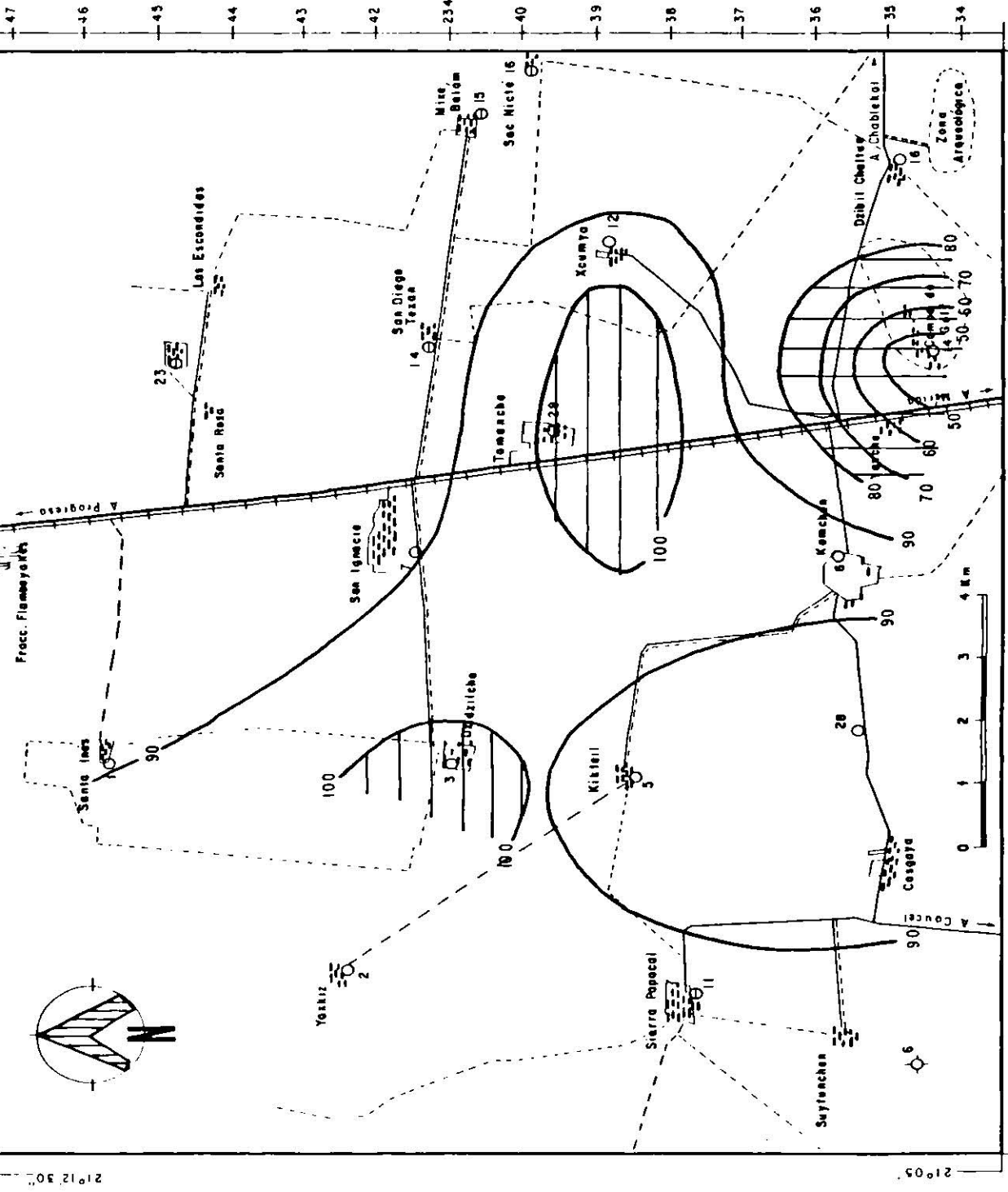
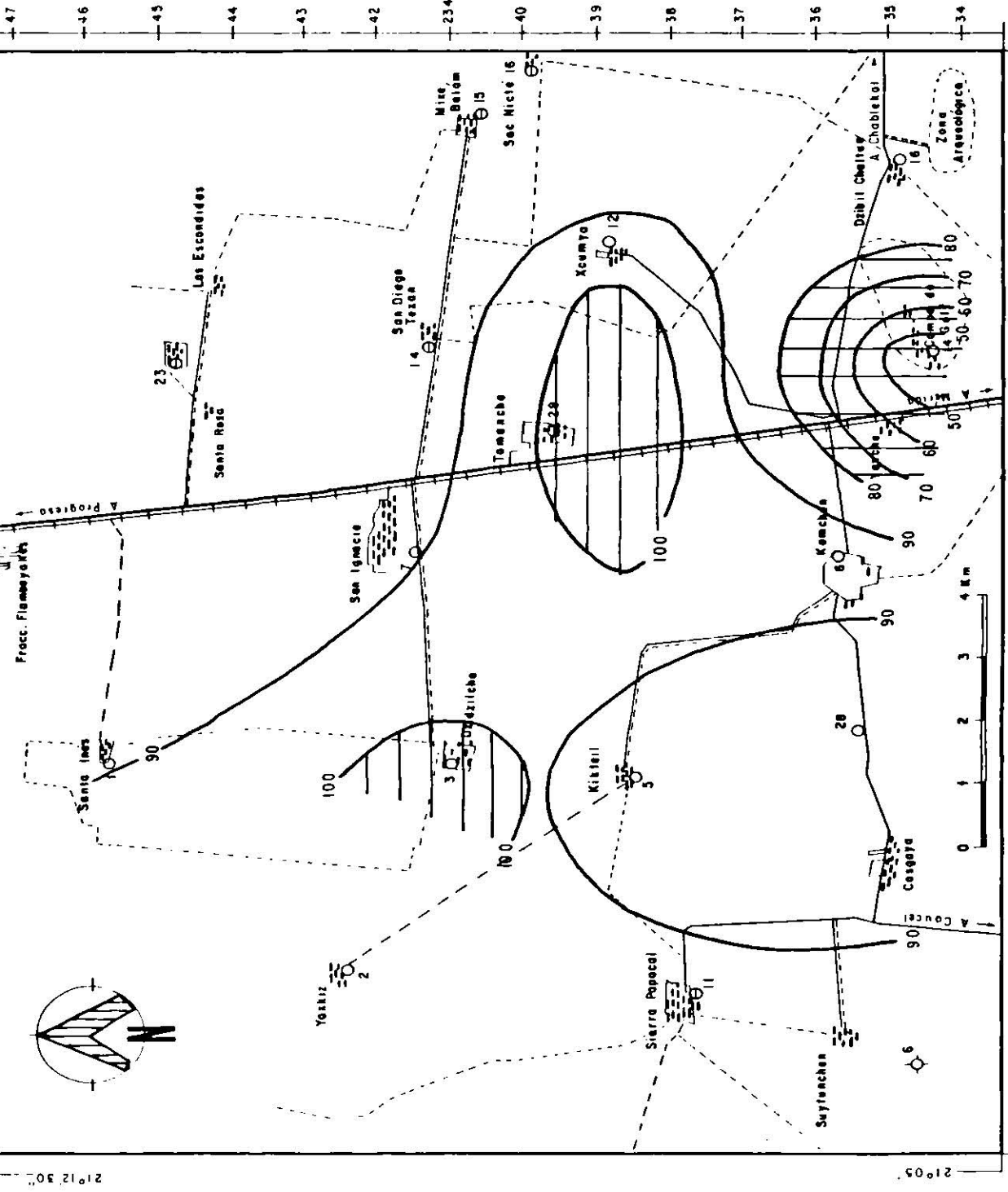
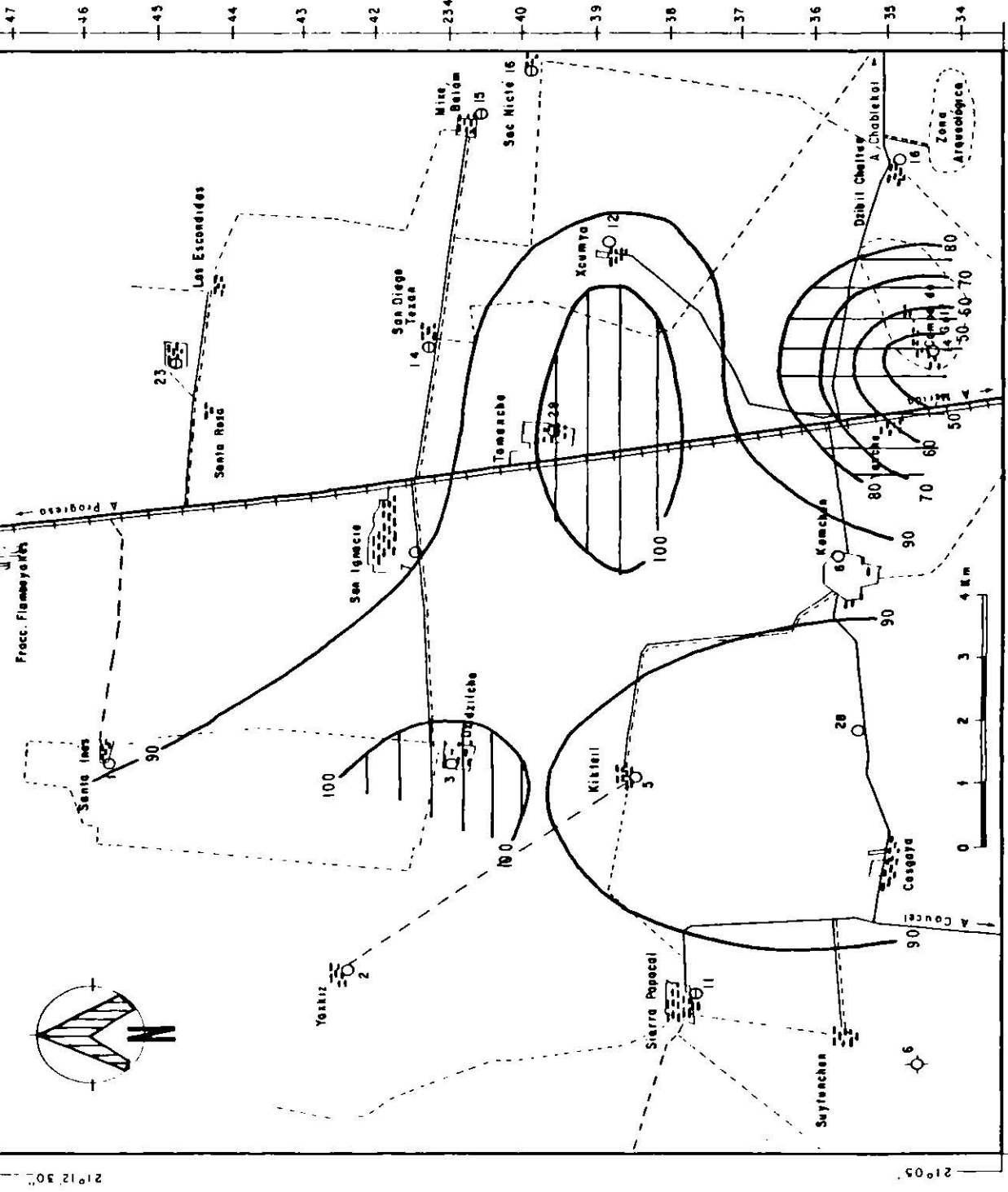
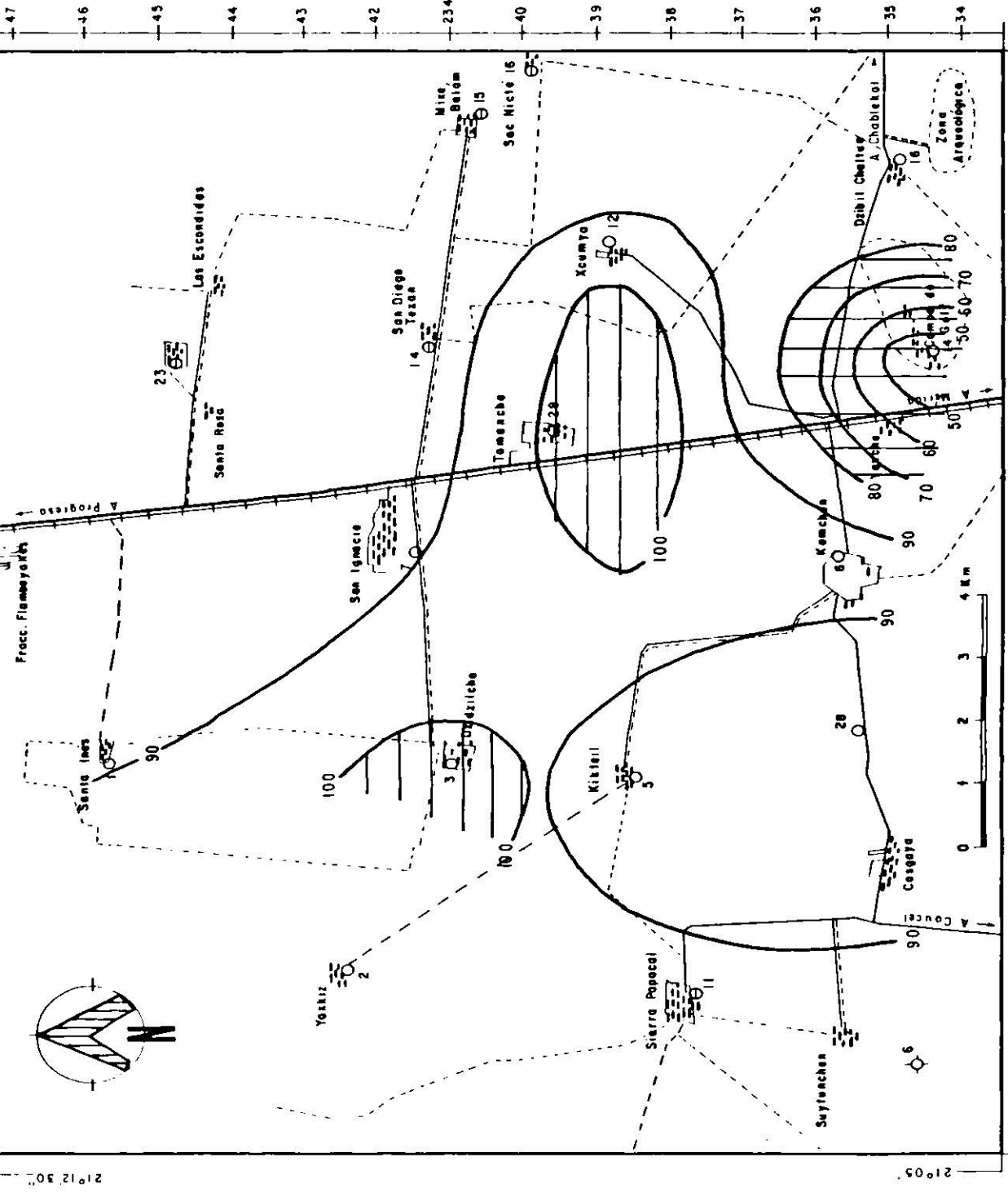
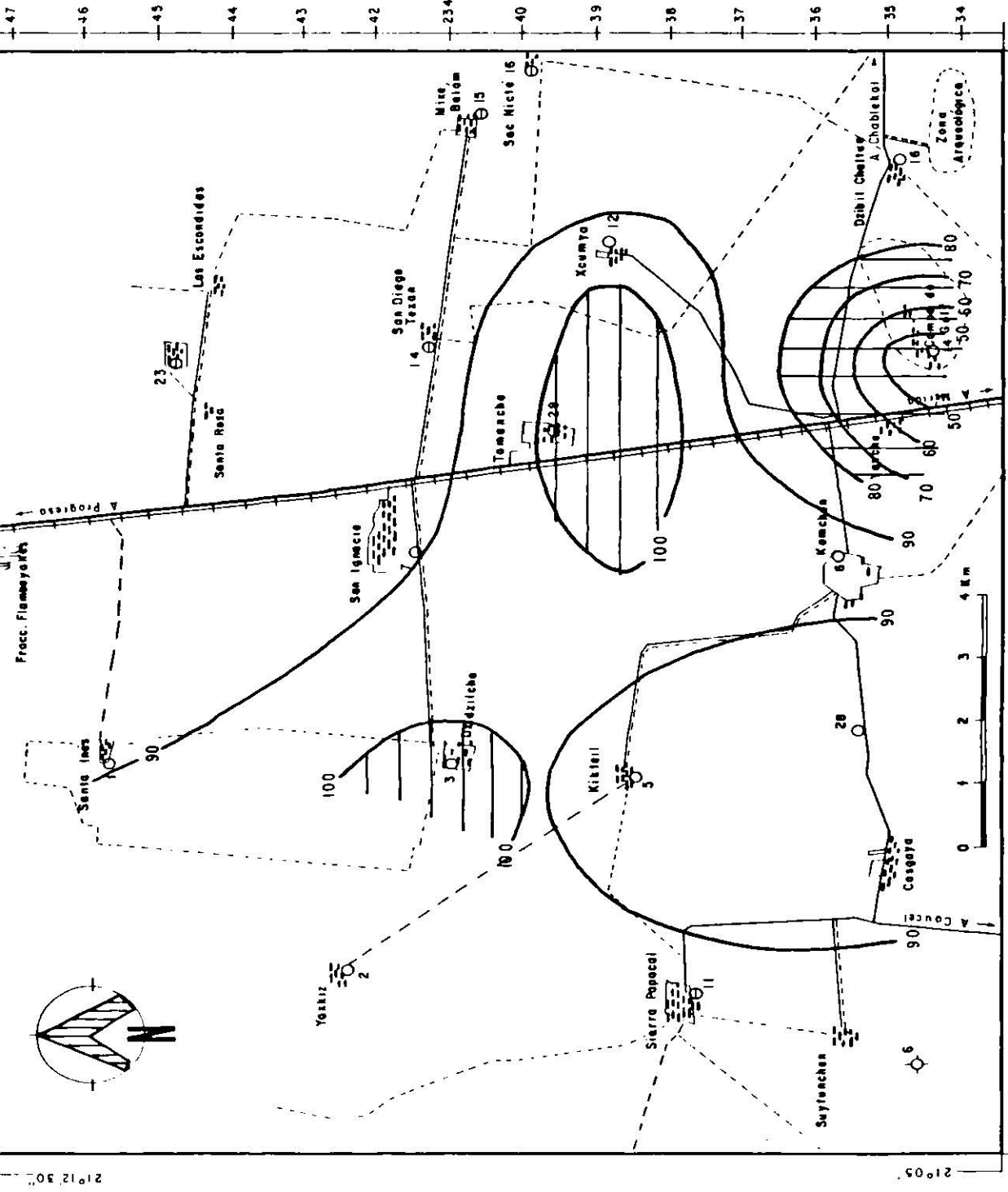
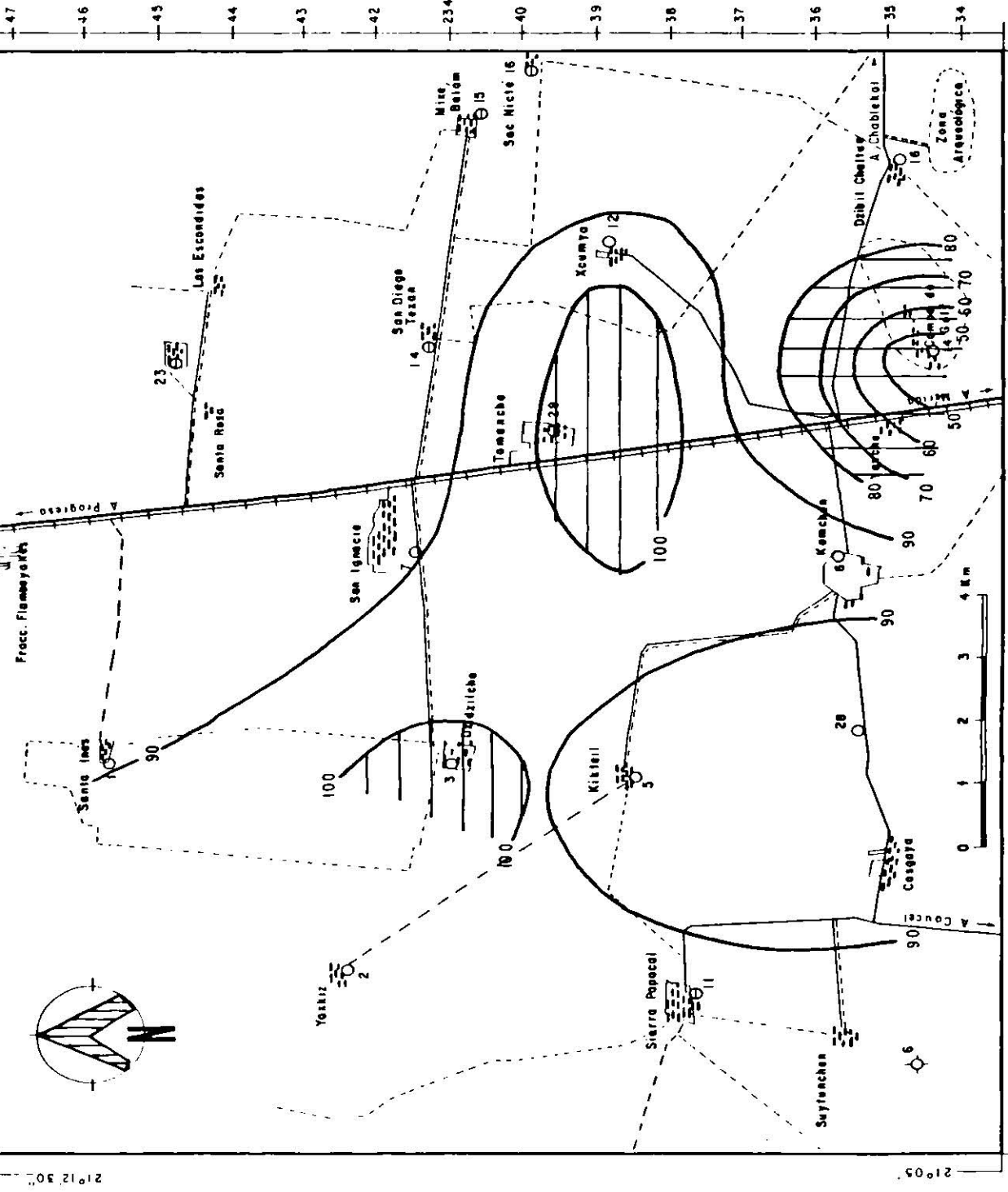
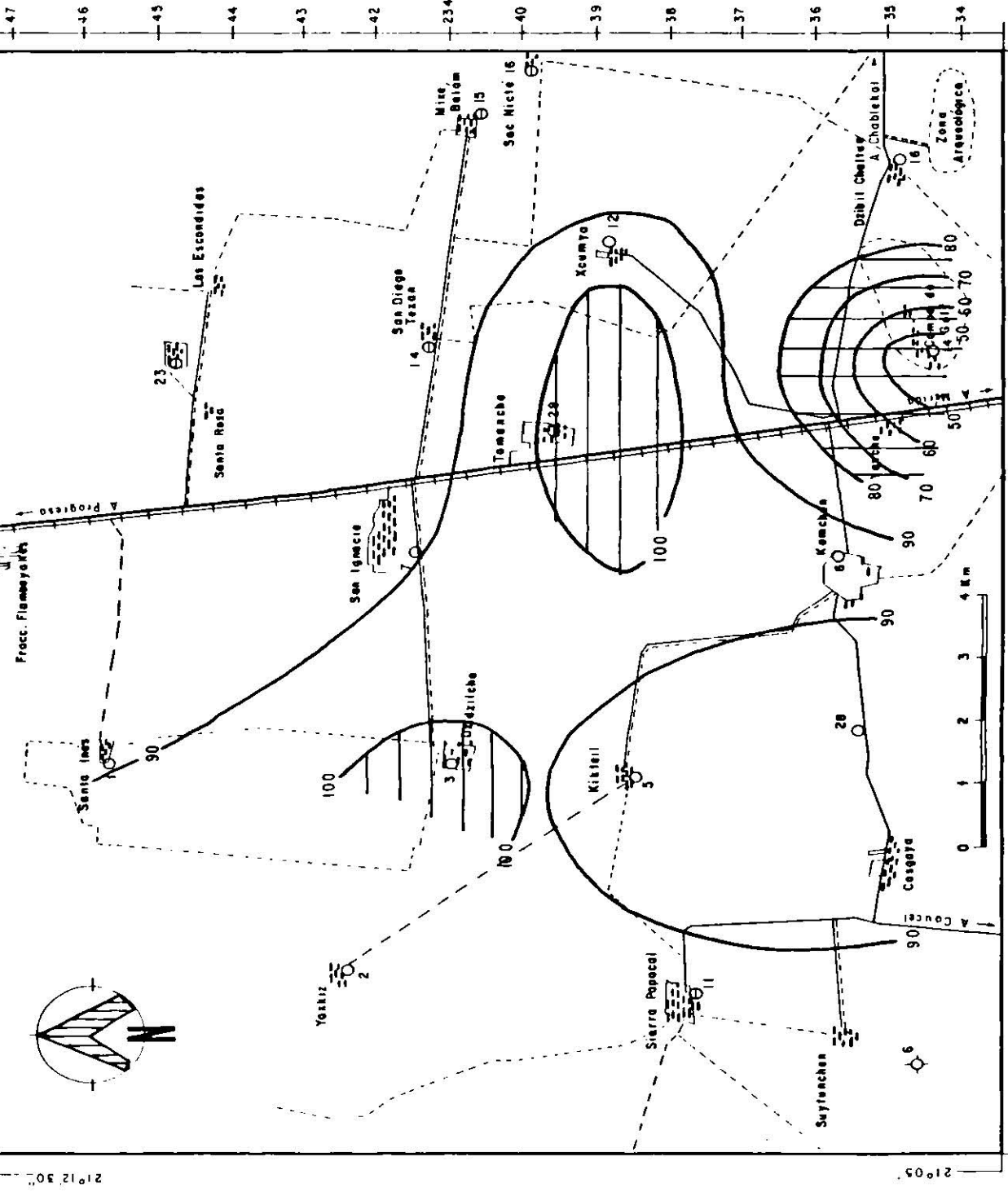
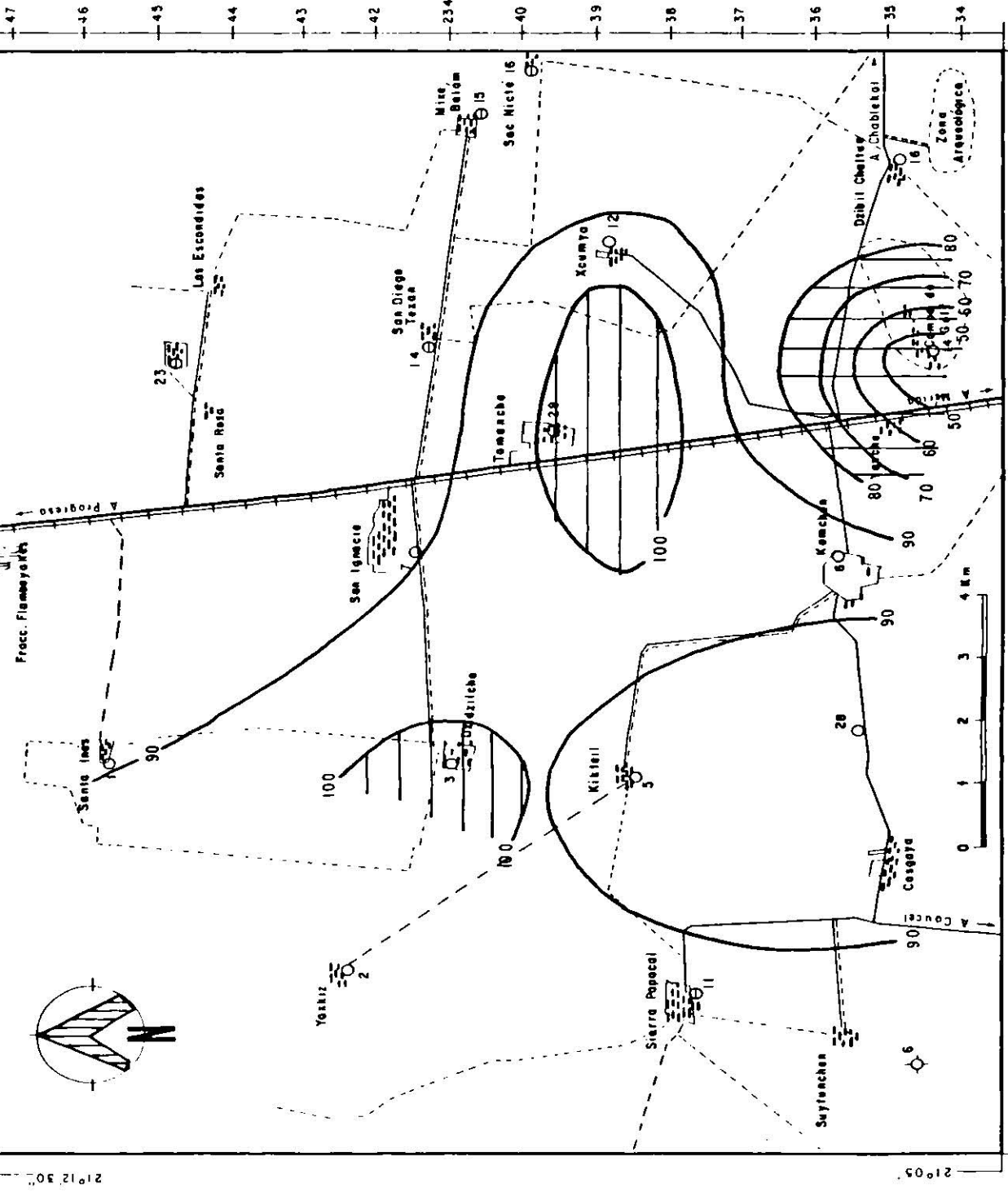
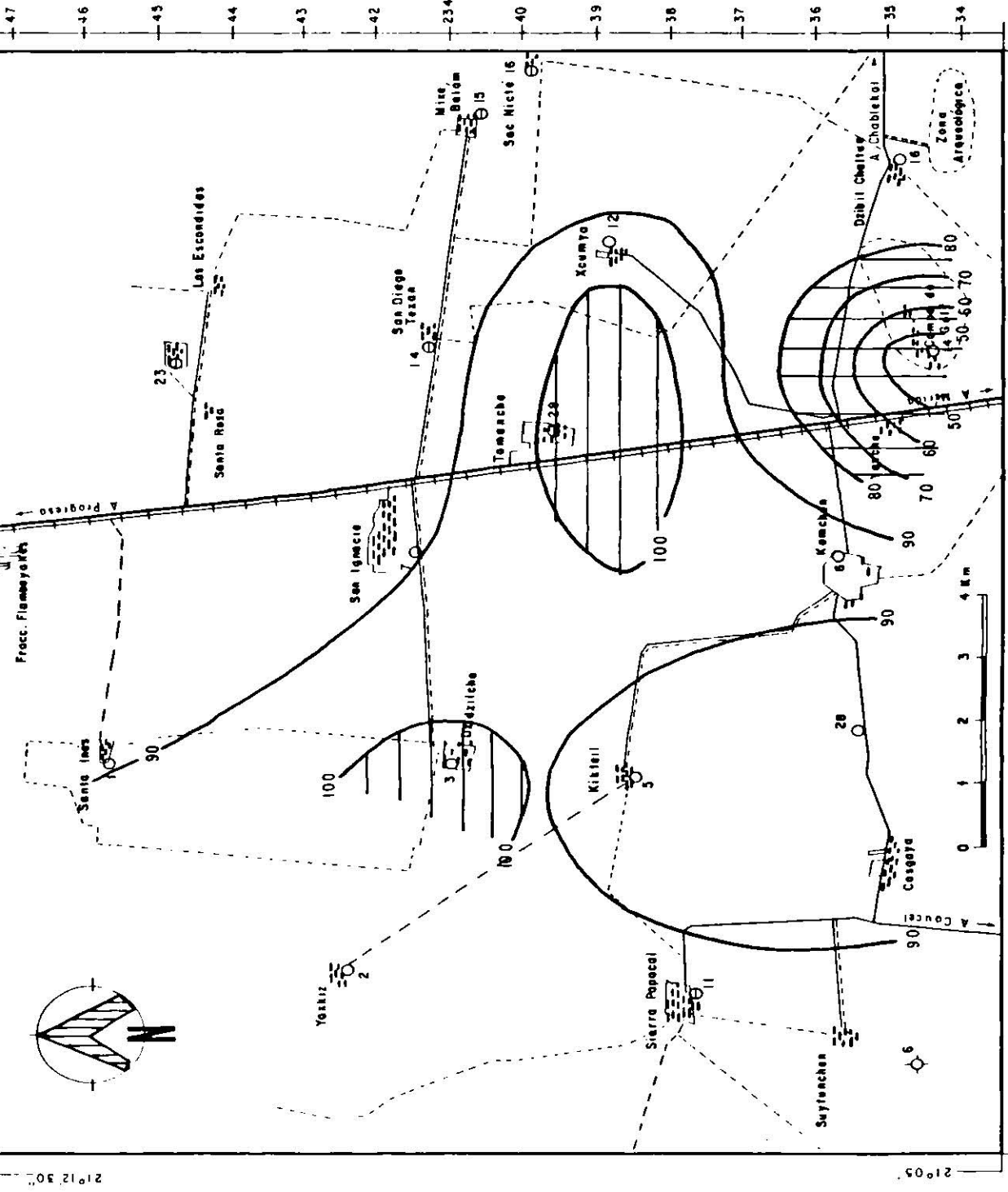
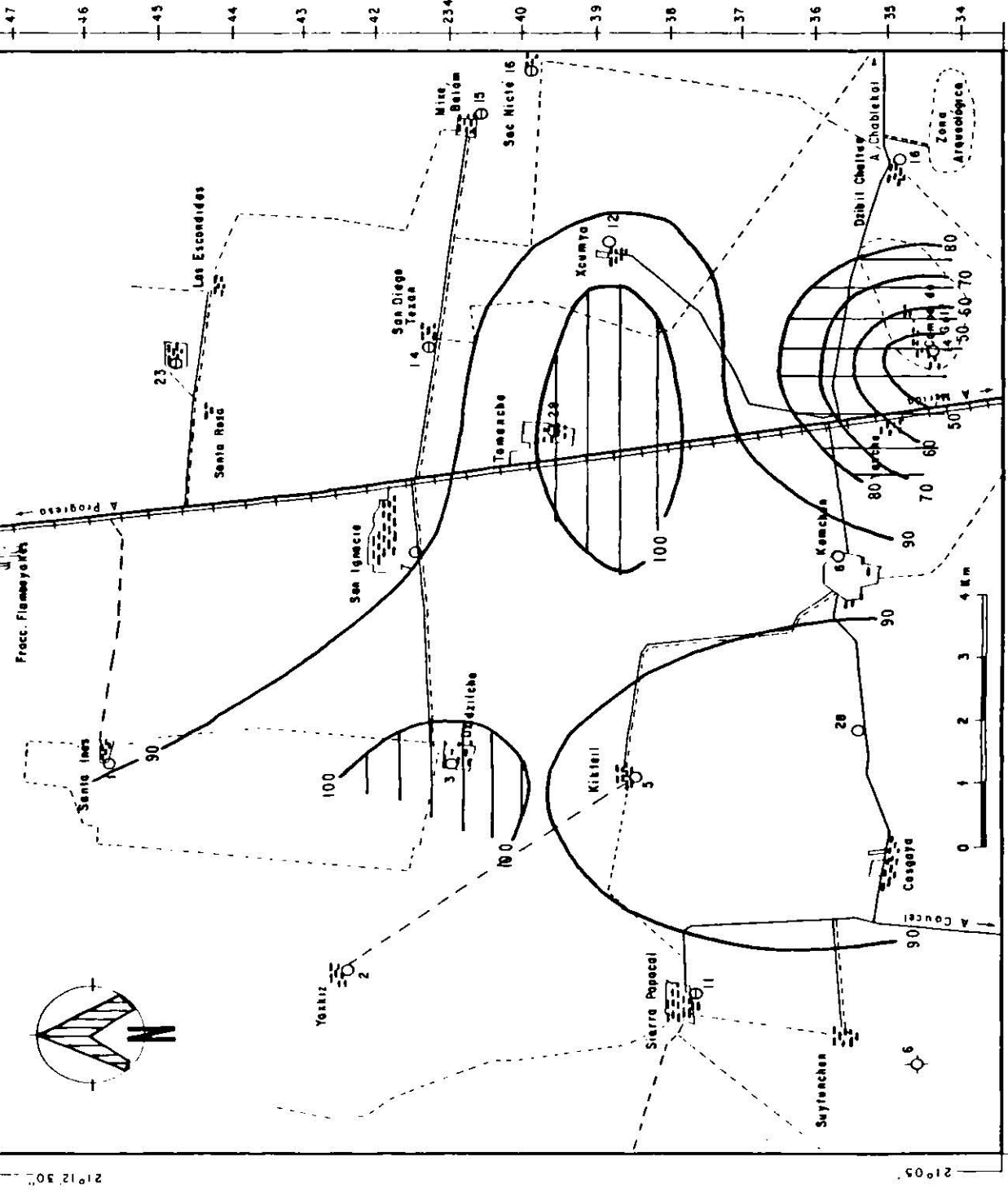
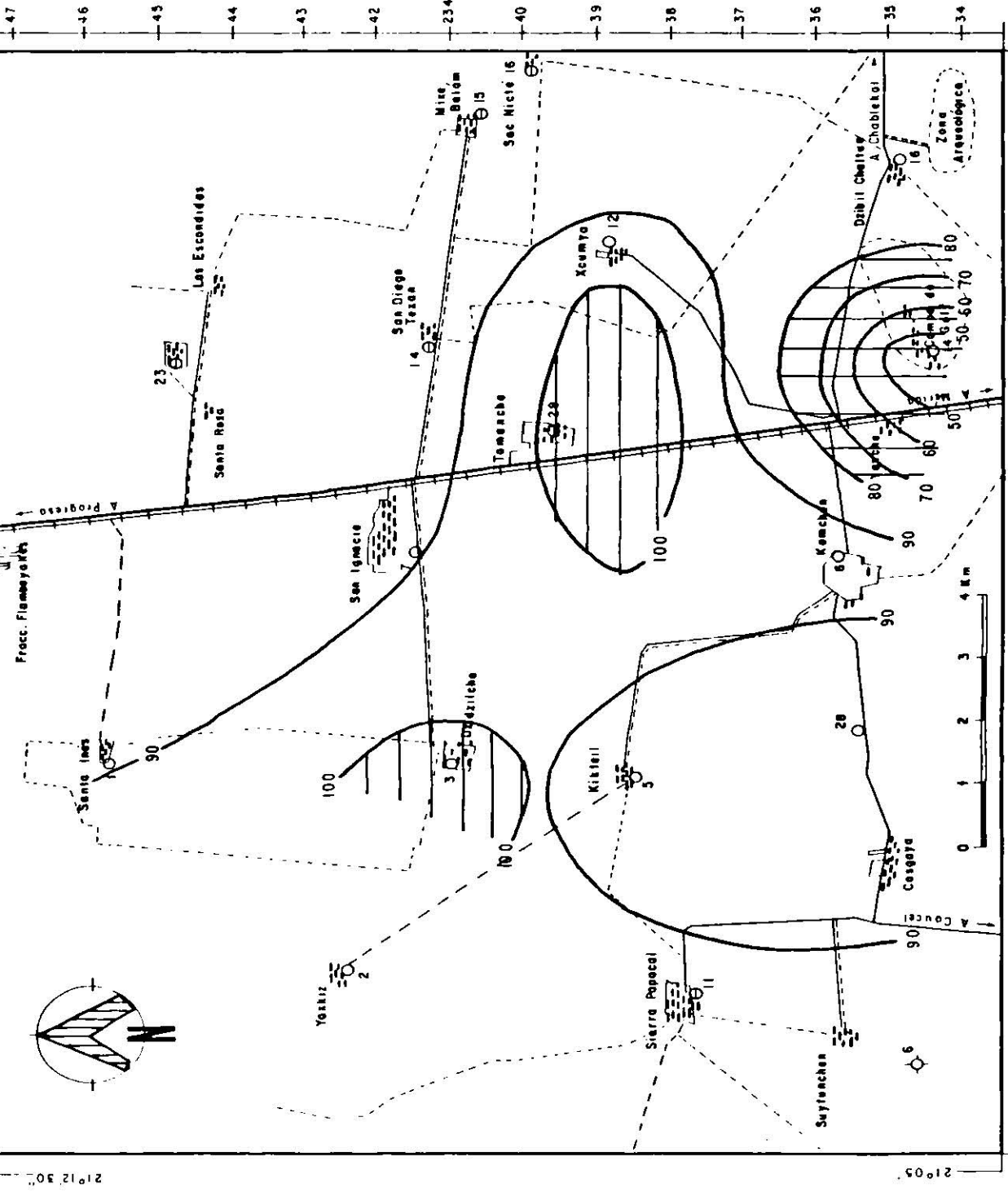
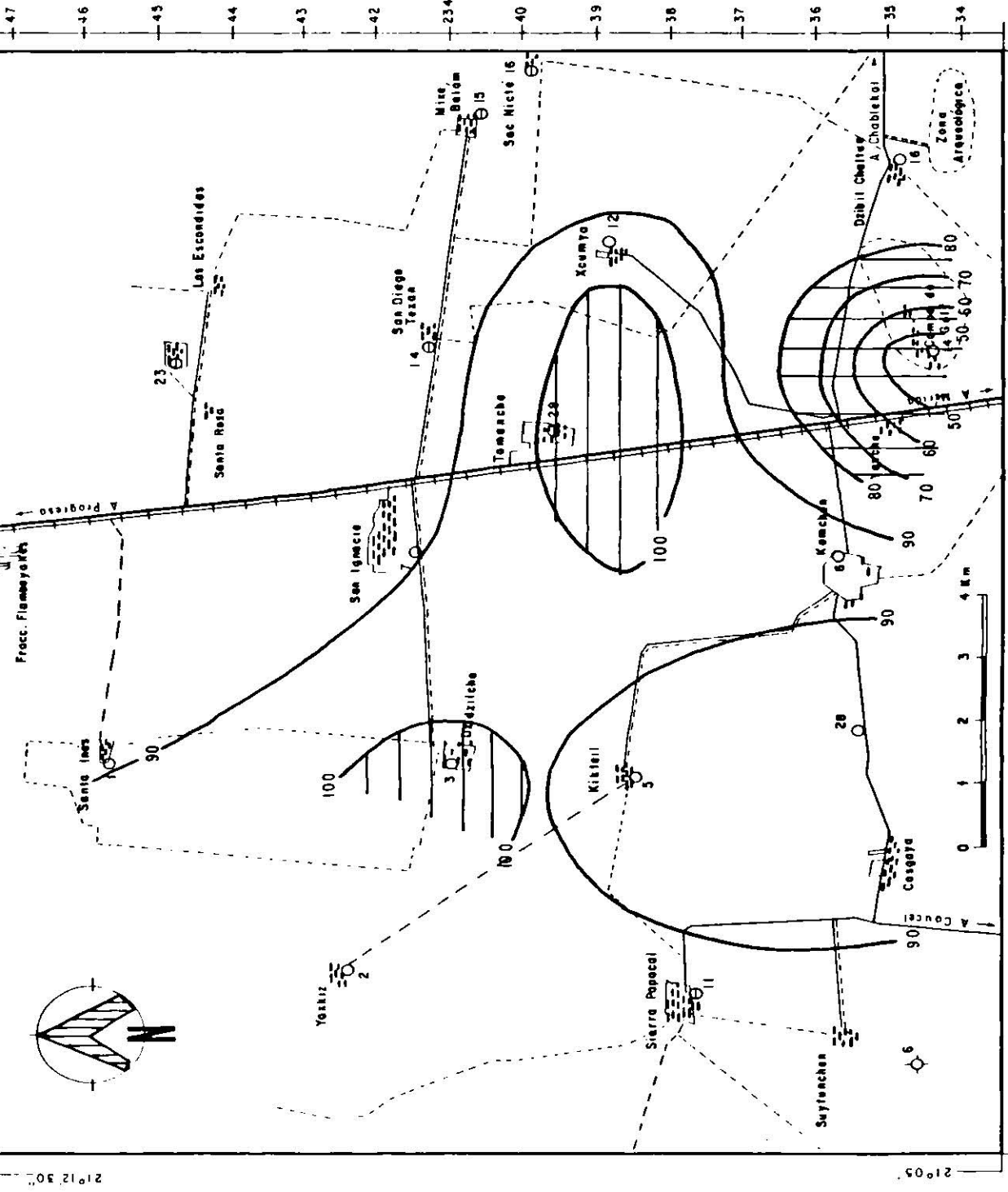
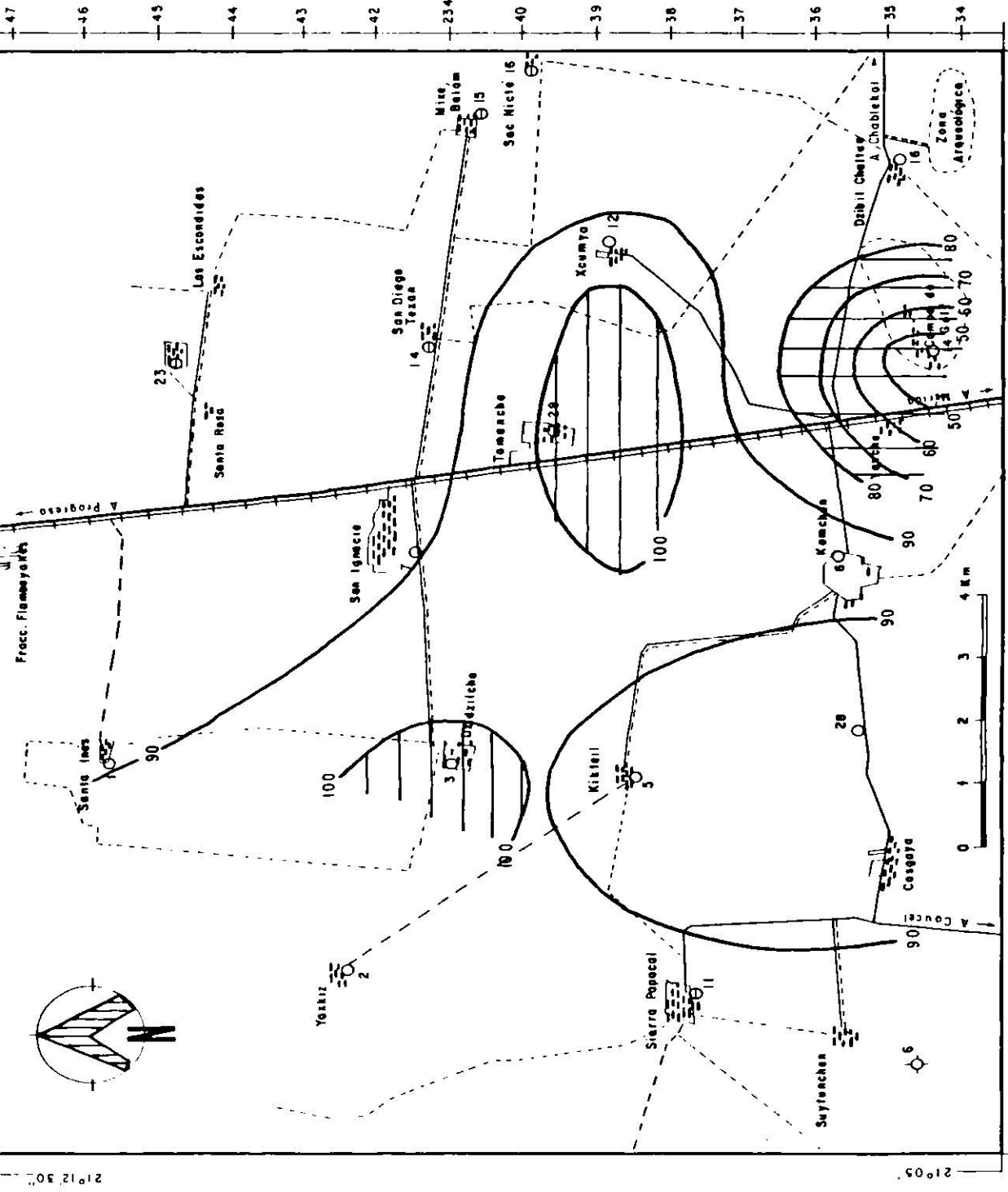
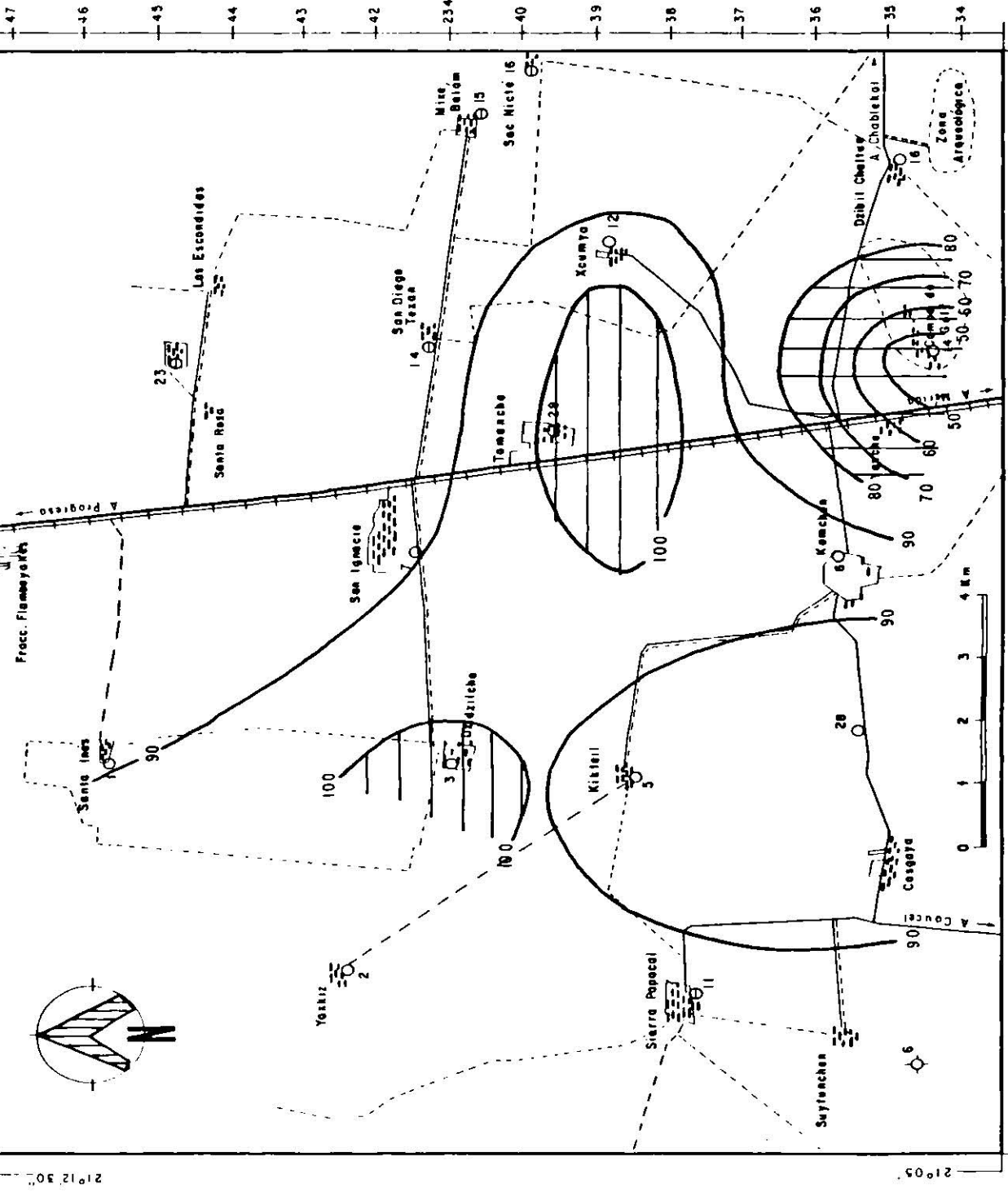
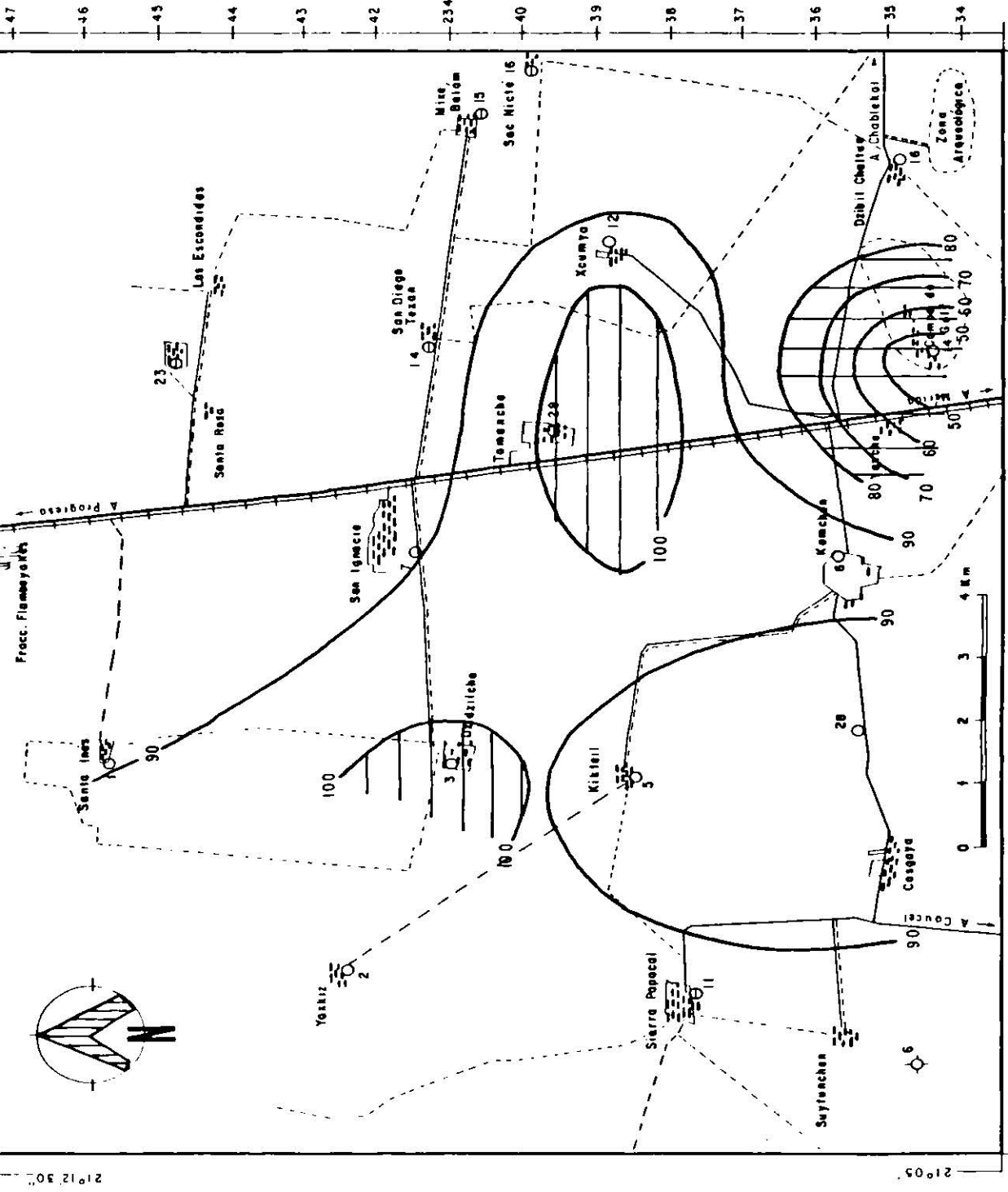
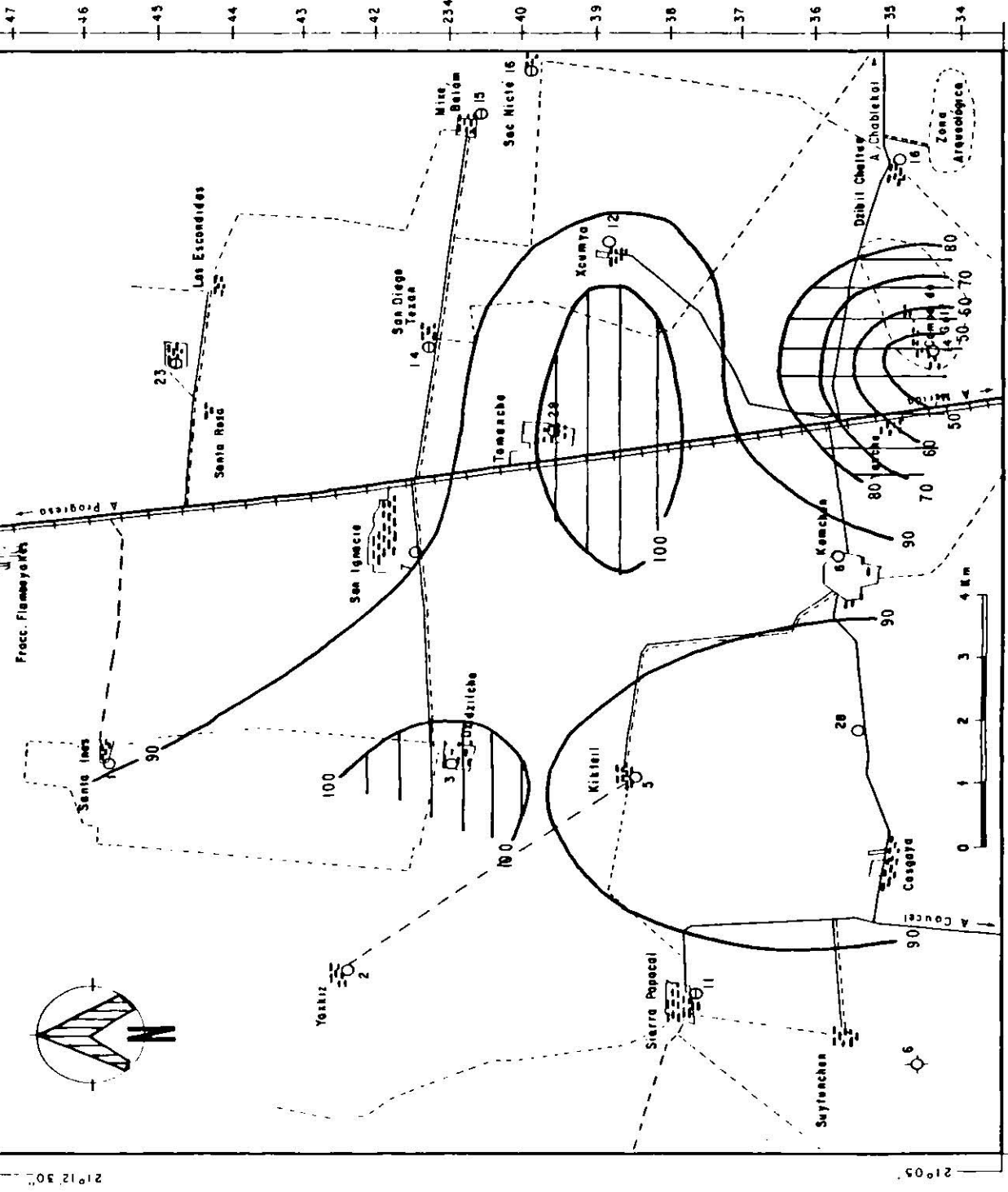
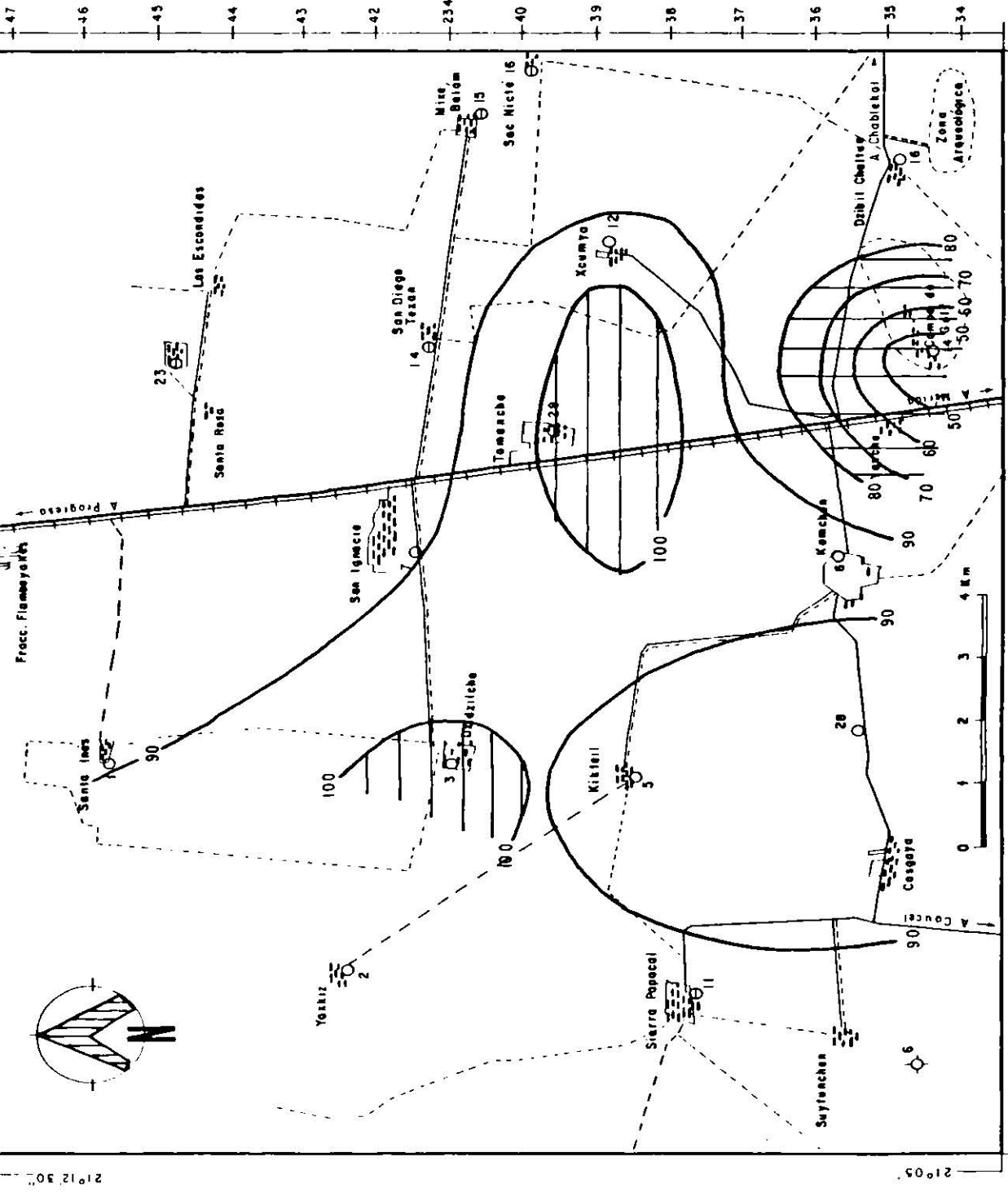
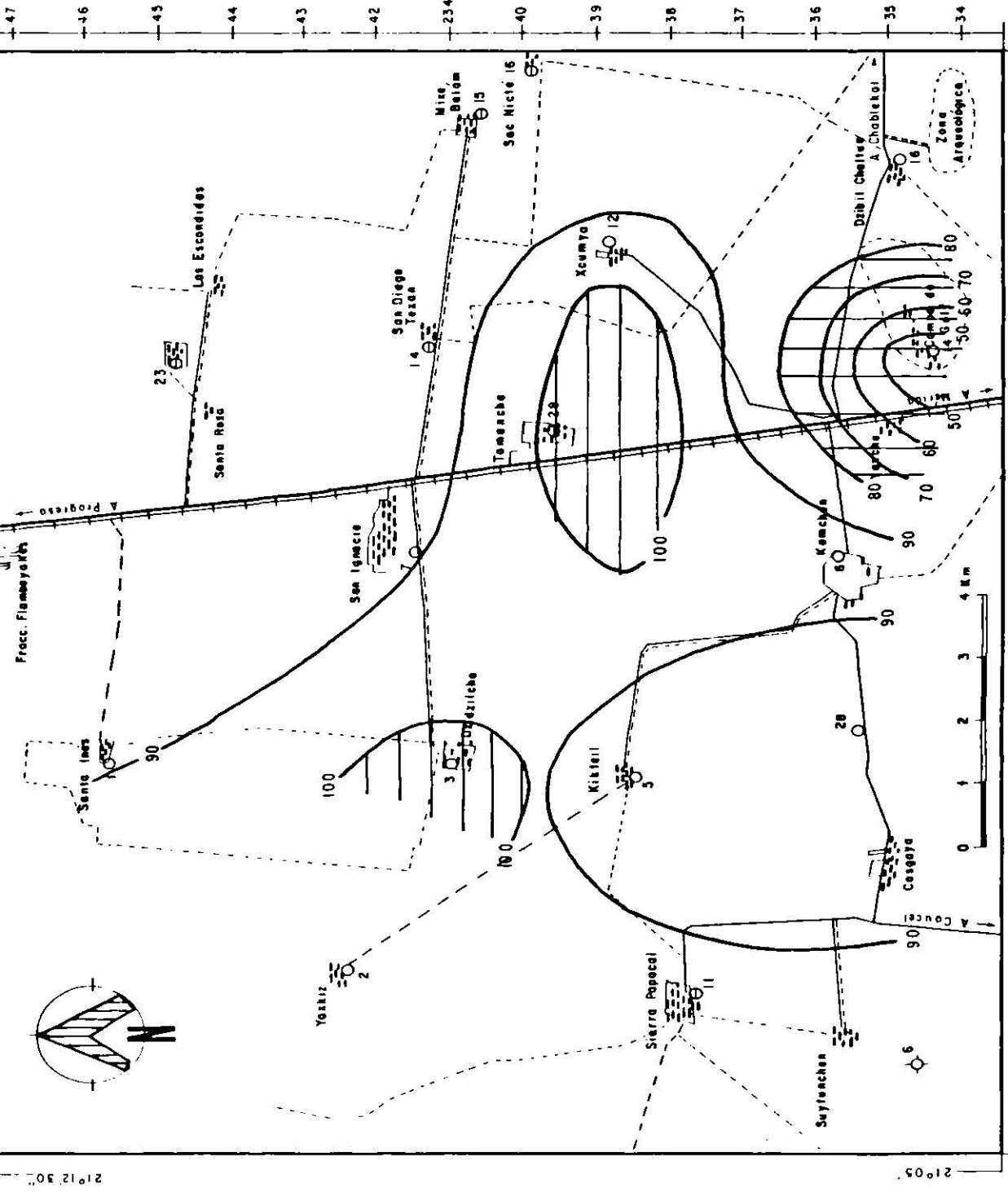
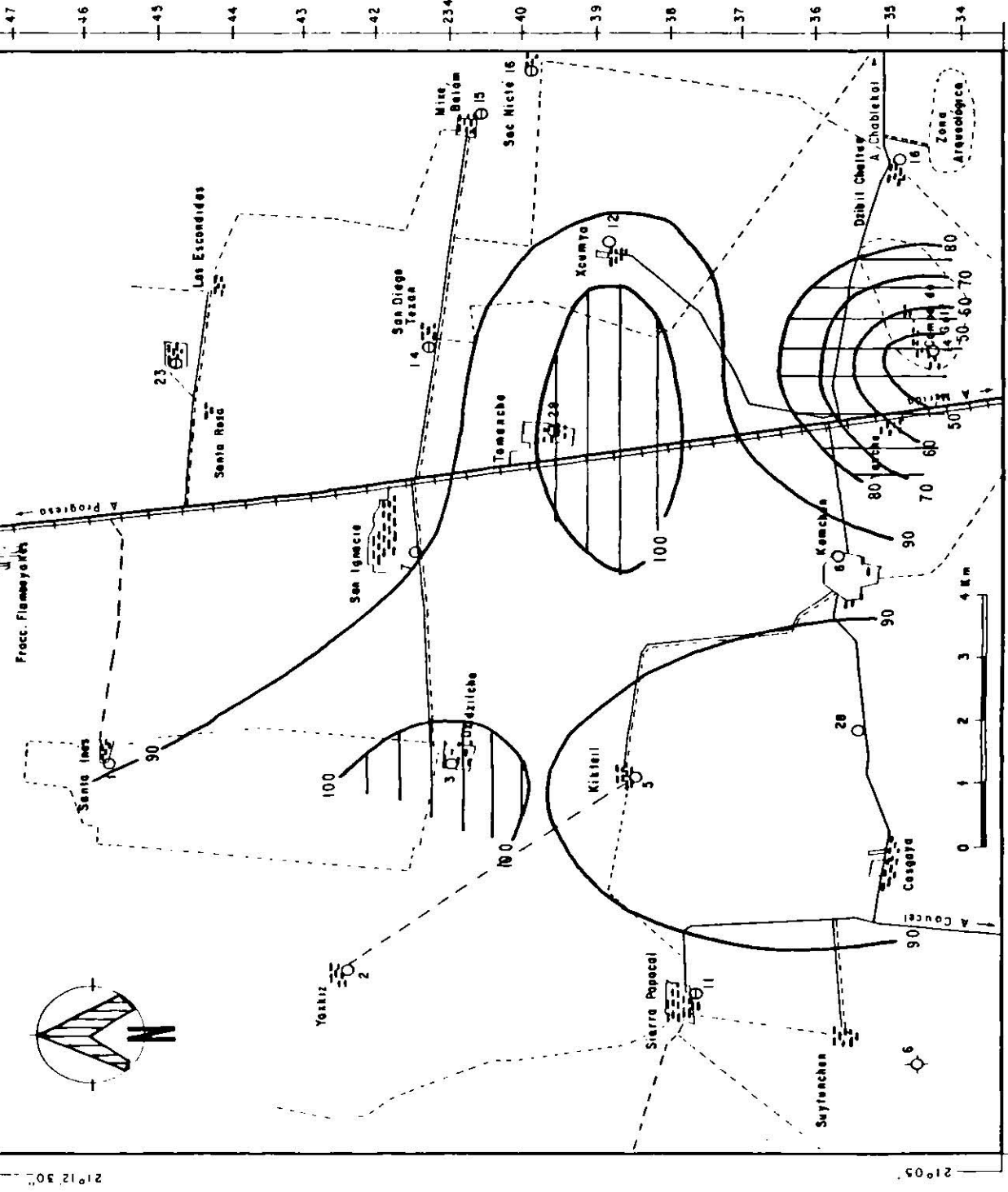
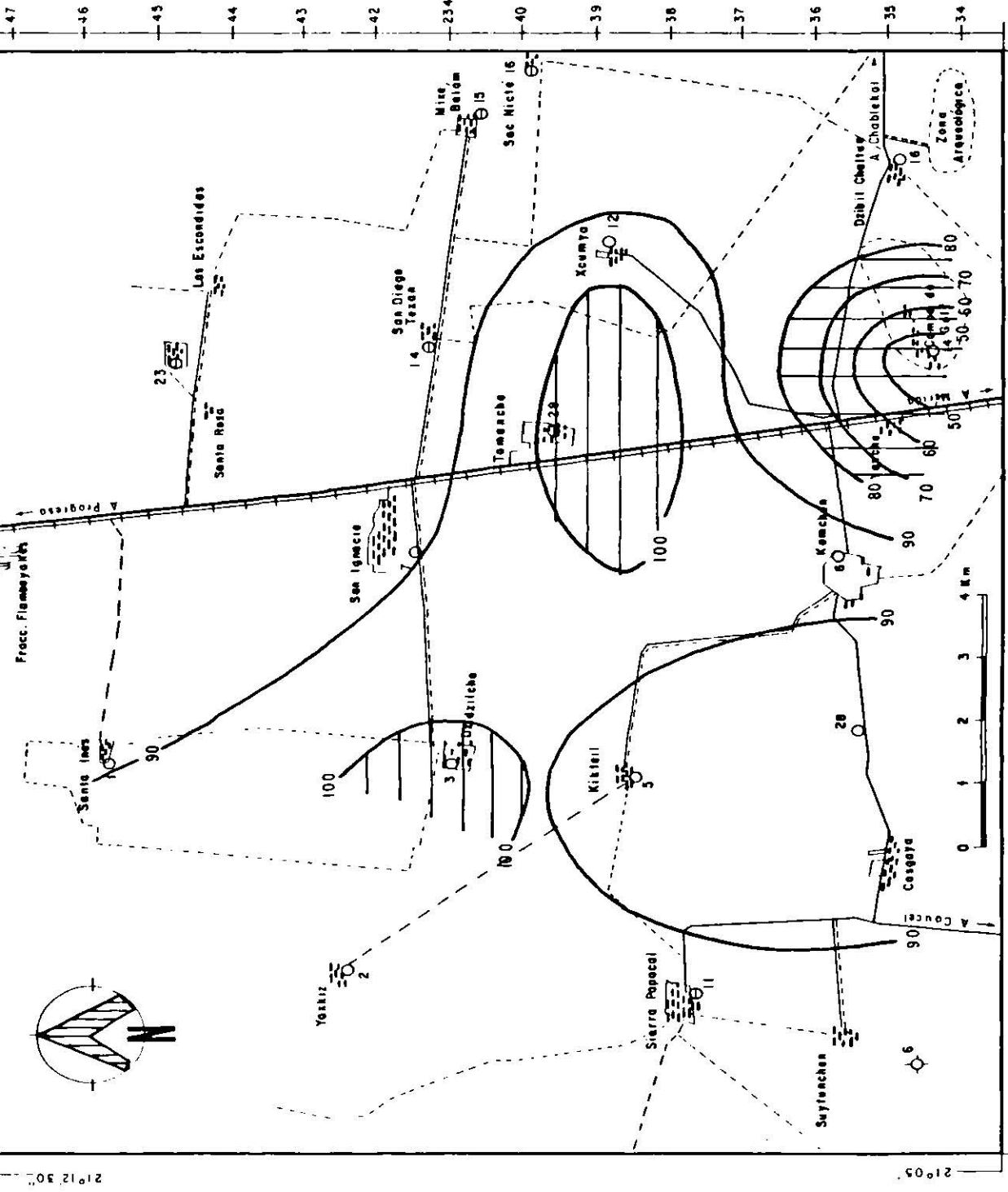
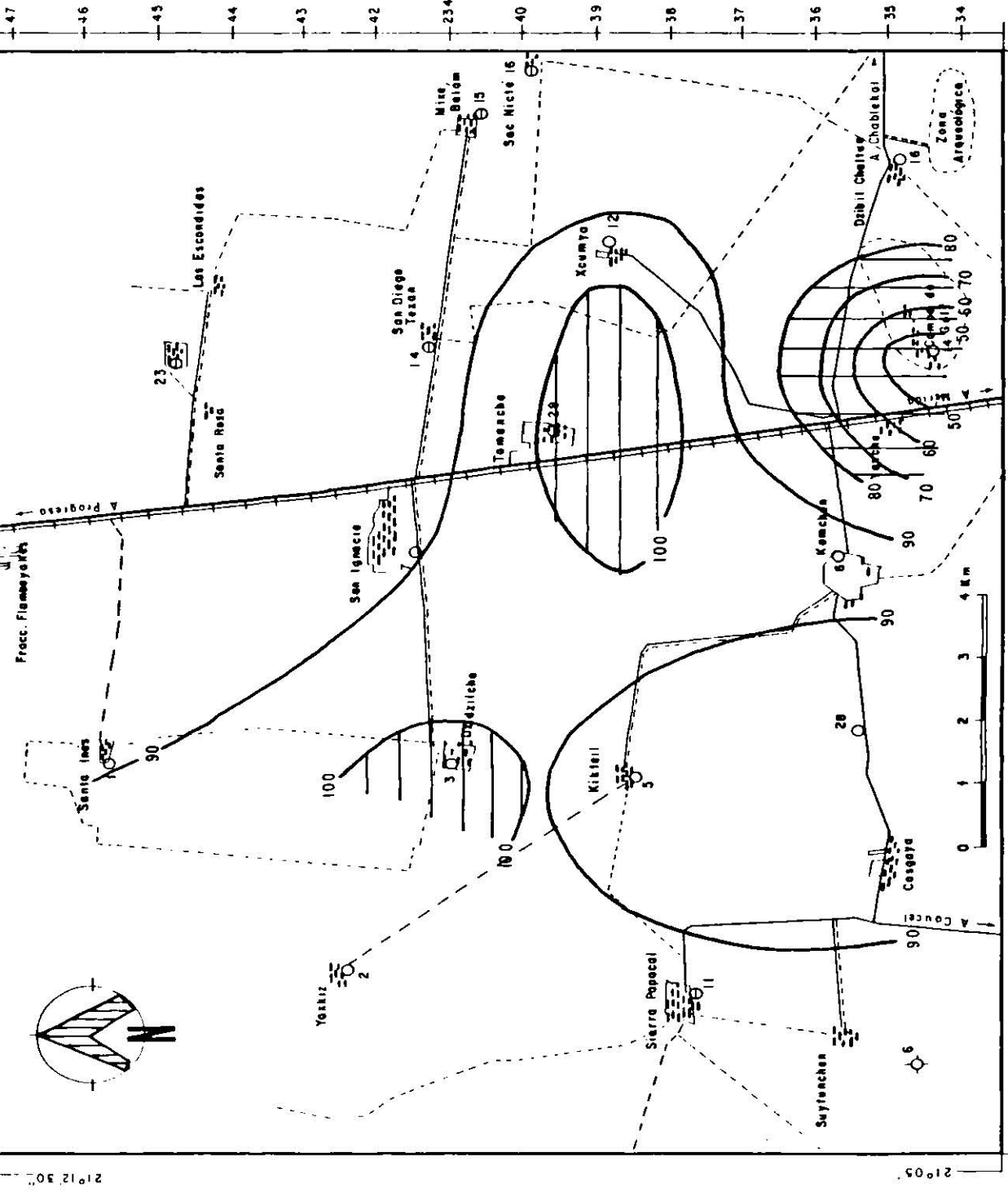
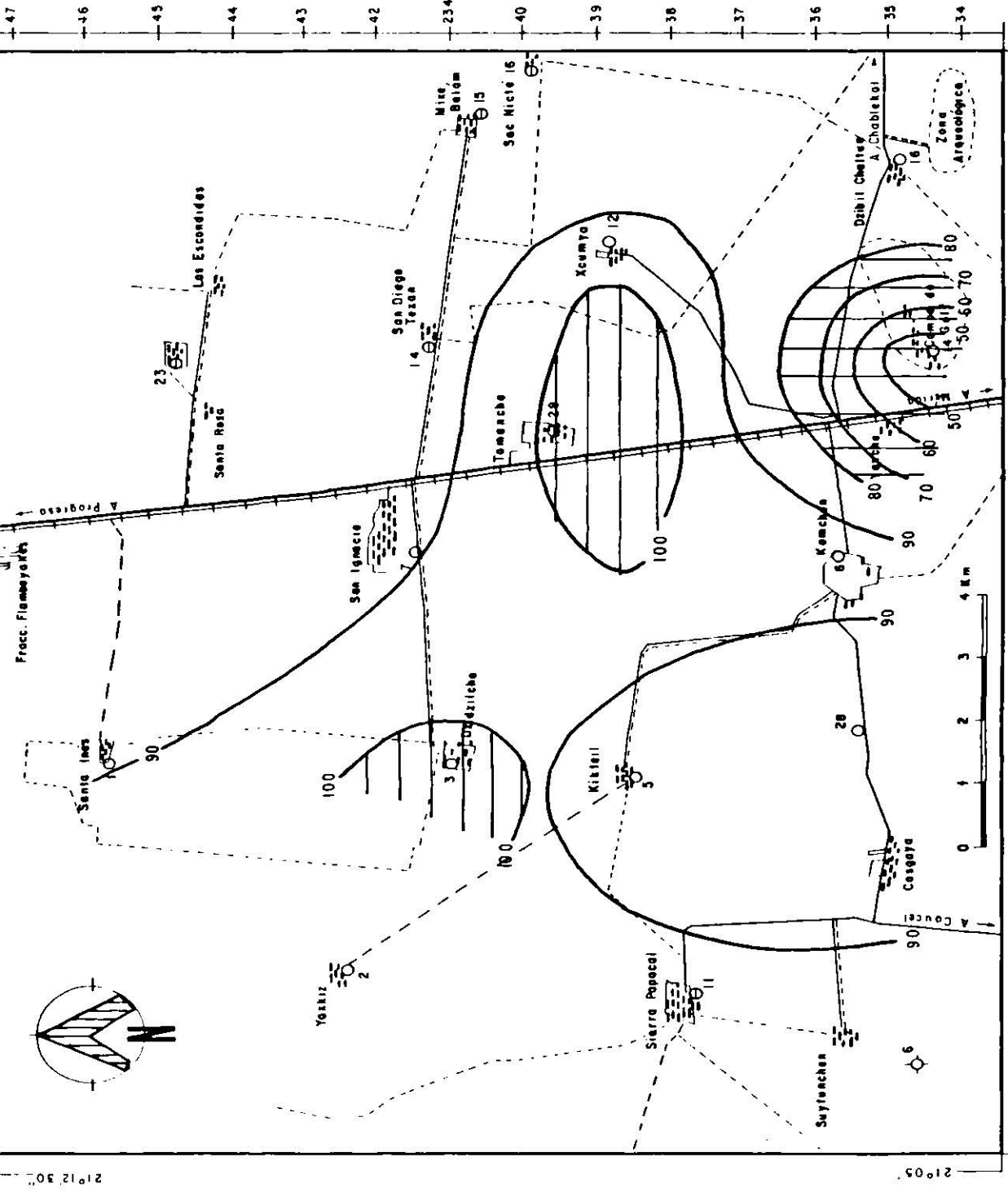
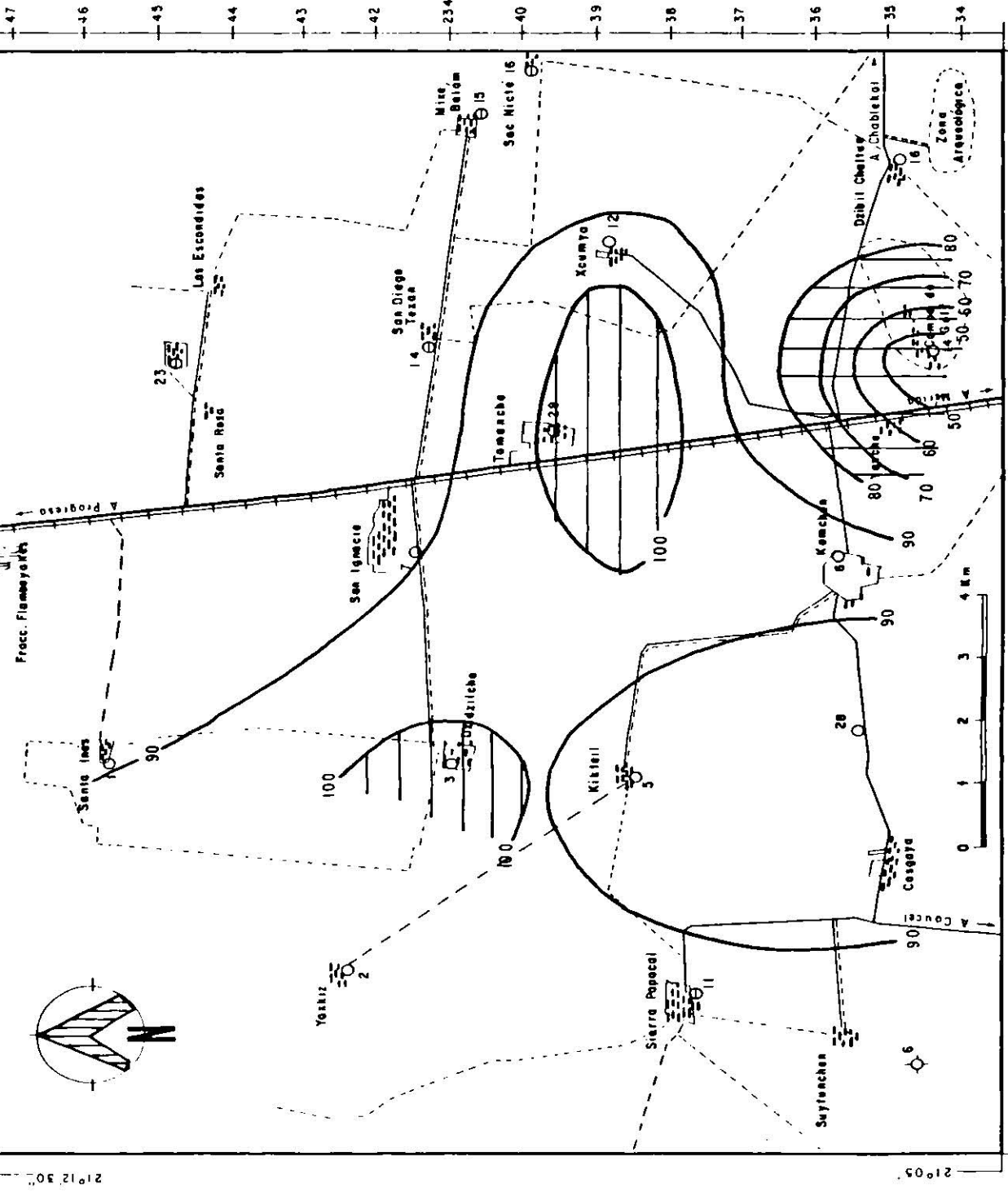
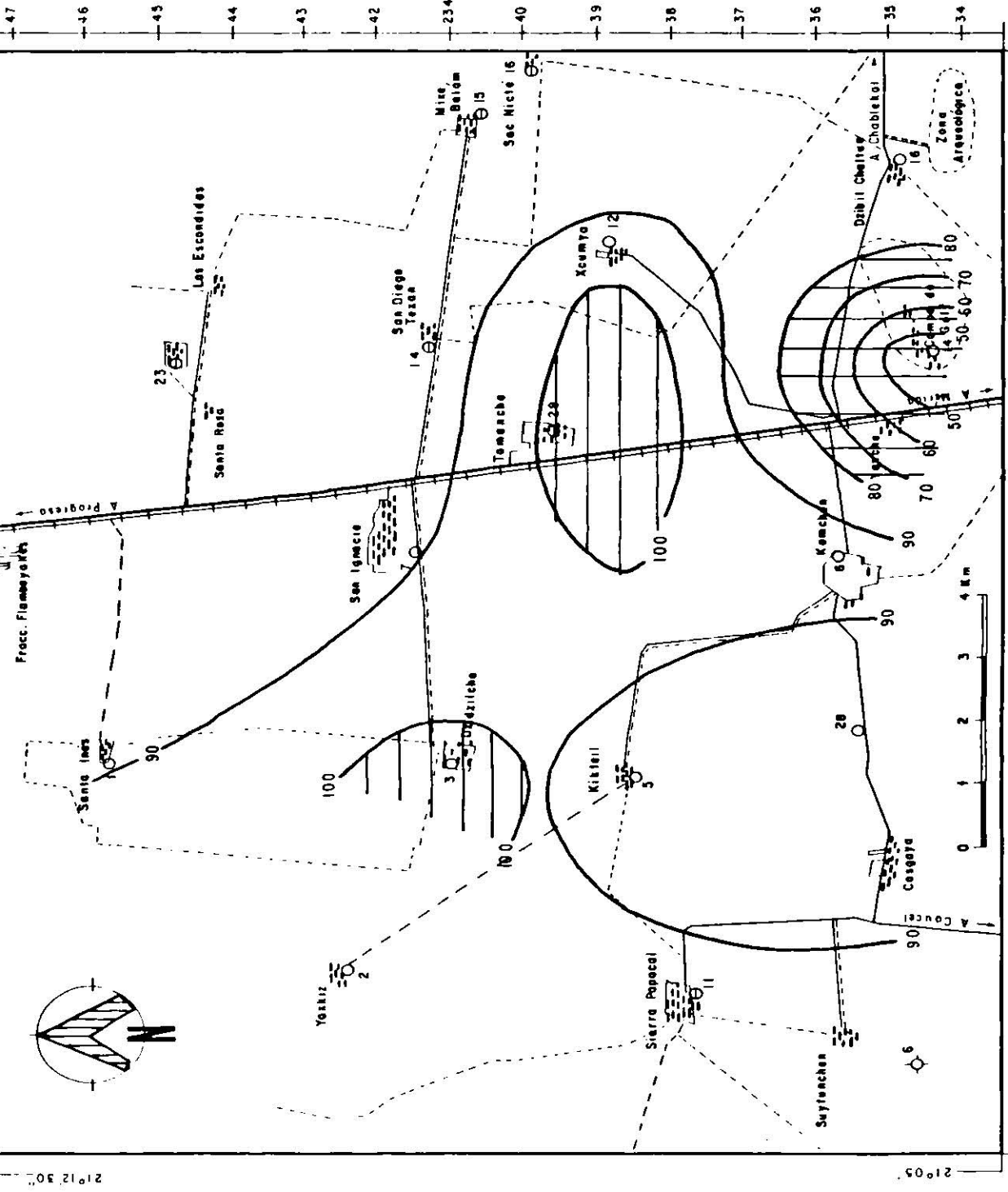
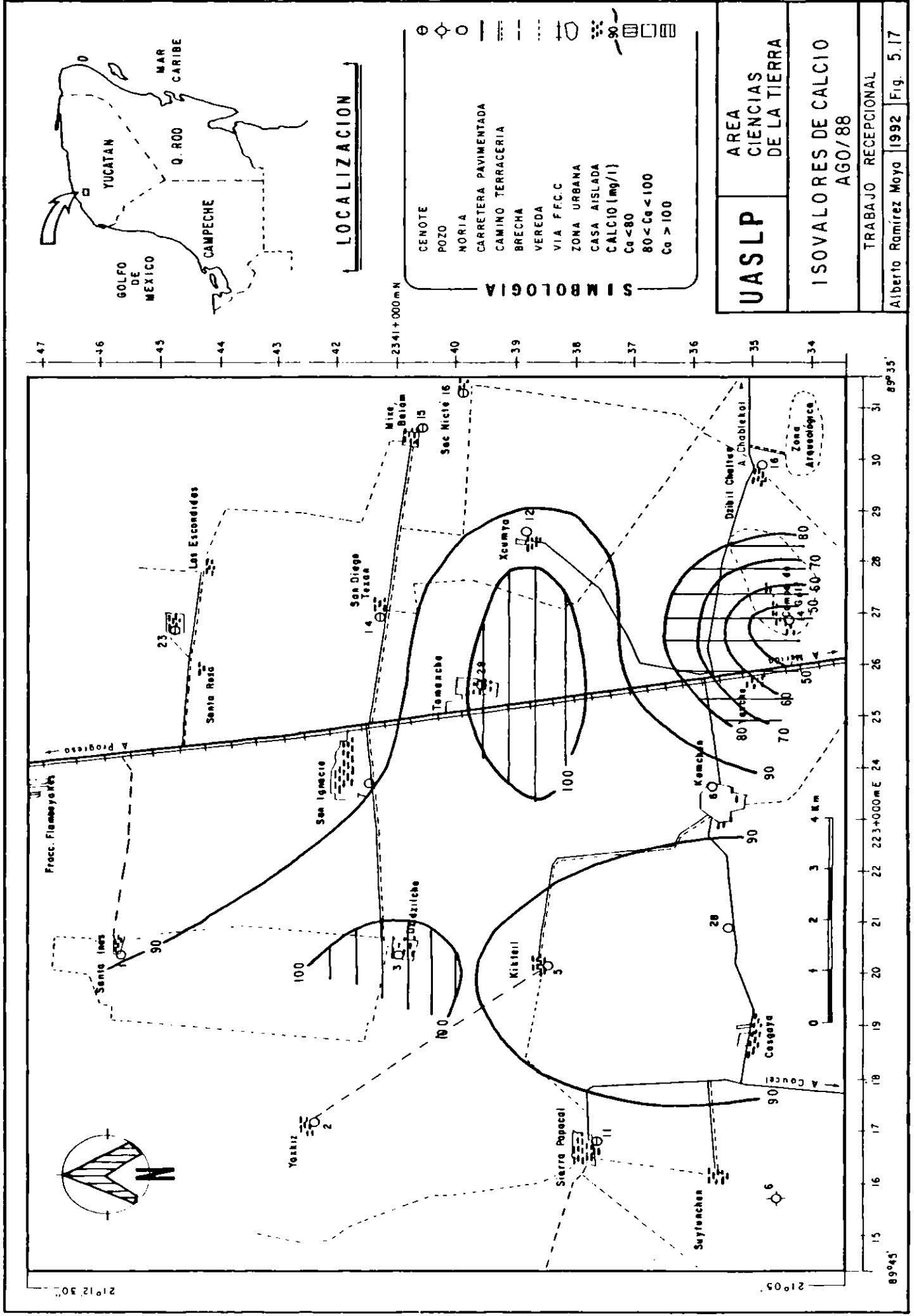
ISOVALORES DE BICARBONATO  
AGO/88

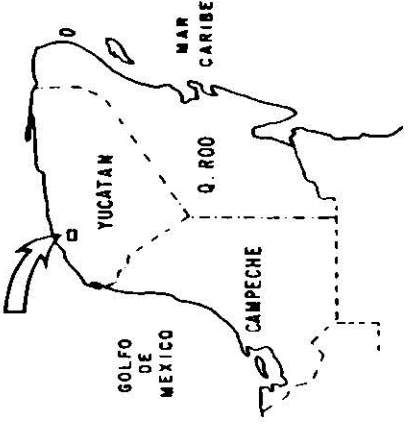
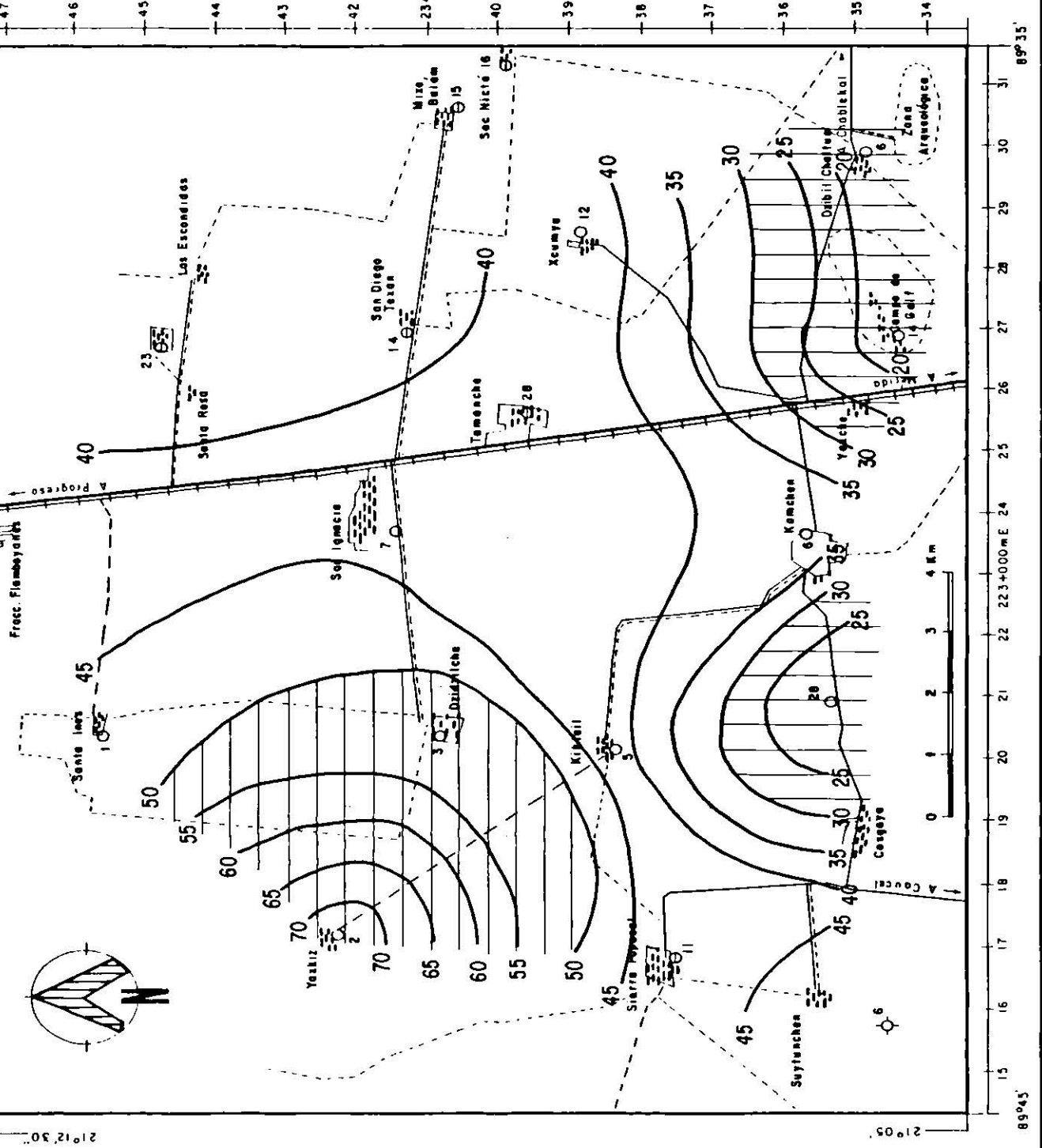
TRABAJO RECEPTIONAL

Alberto Ramirez Mayo 1992 Fig. 5.14









LOCALIZACION

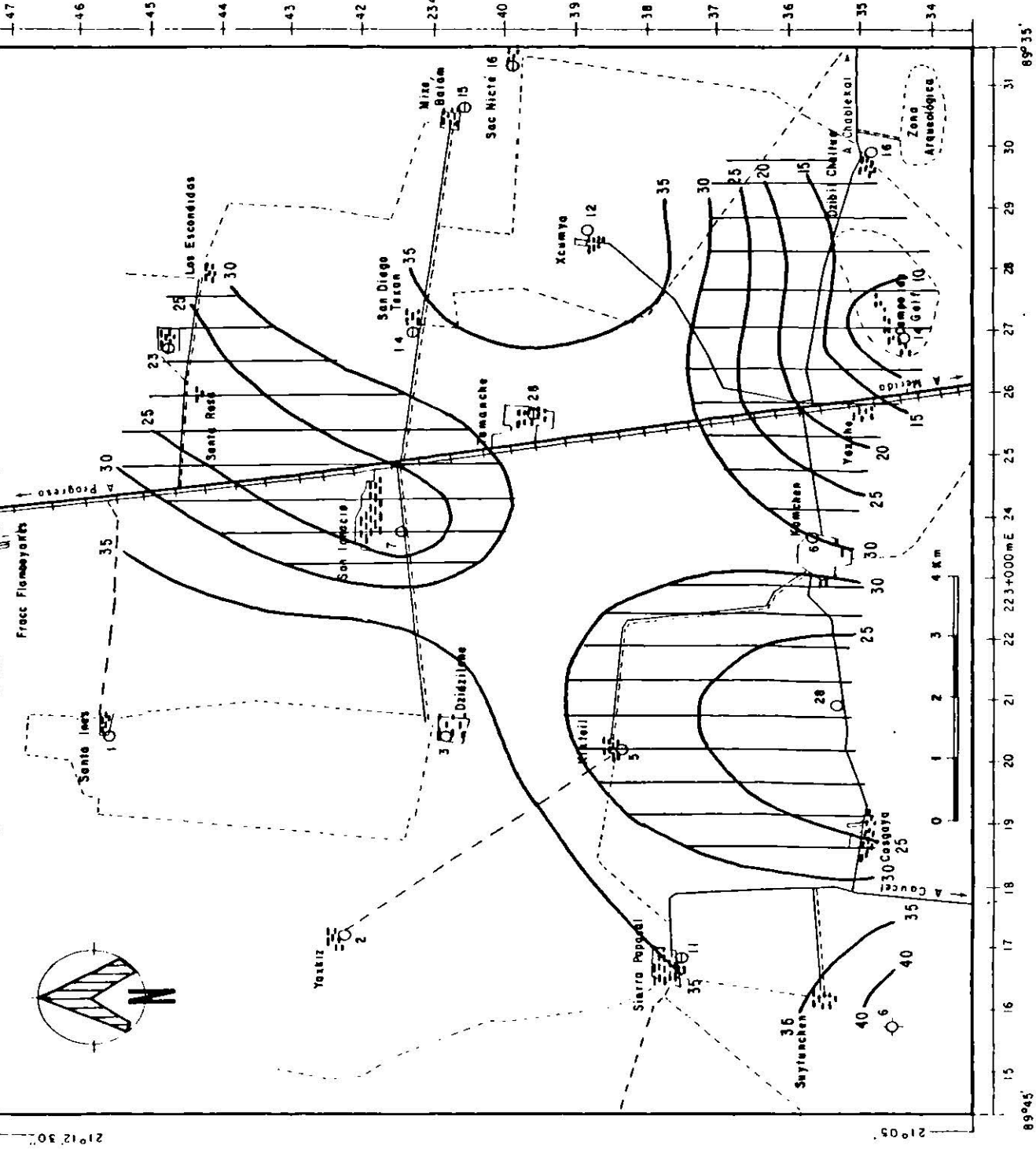
2341+000m N

**SIMBOLOGIA**

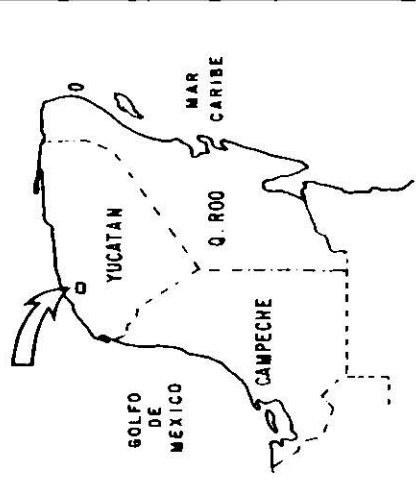
○	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
—	CAMINO TERRACERIA
—	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA F.F.C.C.
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
—	MAGNESIO mg/l
—	Mg < 30
—	30 < Mg < 50
—	Mg > 50

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE MAGNESIO FEB / 88	
TRABAJO RECEPTACIONAL	
Alberto Ramirez Moya   1992   Fig. 5.18	





21°12'30" 21°05' 89°45' 89°35'



**LOCALIZACION**

**SIMBOLOGIA**

- GENOTE
- POZO
- NORIA
- CARRETERA PAVIMENTADA
- CAMINO TERRACERIA
- BRECHA
- VEREDA
- VIA FCC
- ZONA URBANA
- CASA AISLADA
- MAGNESIO (mg/l)
- Mg < 30
- Mg > 30

**UASLP**

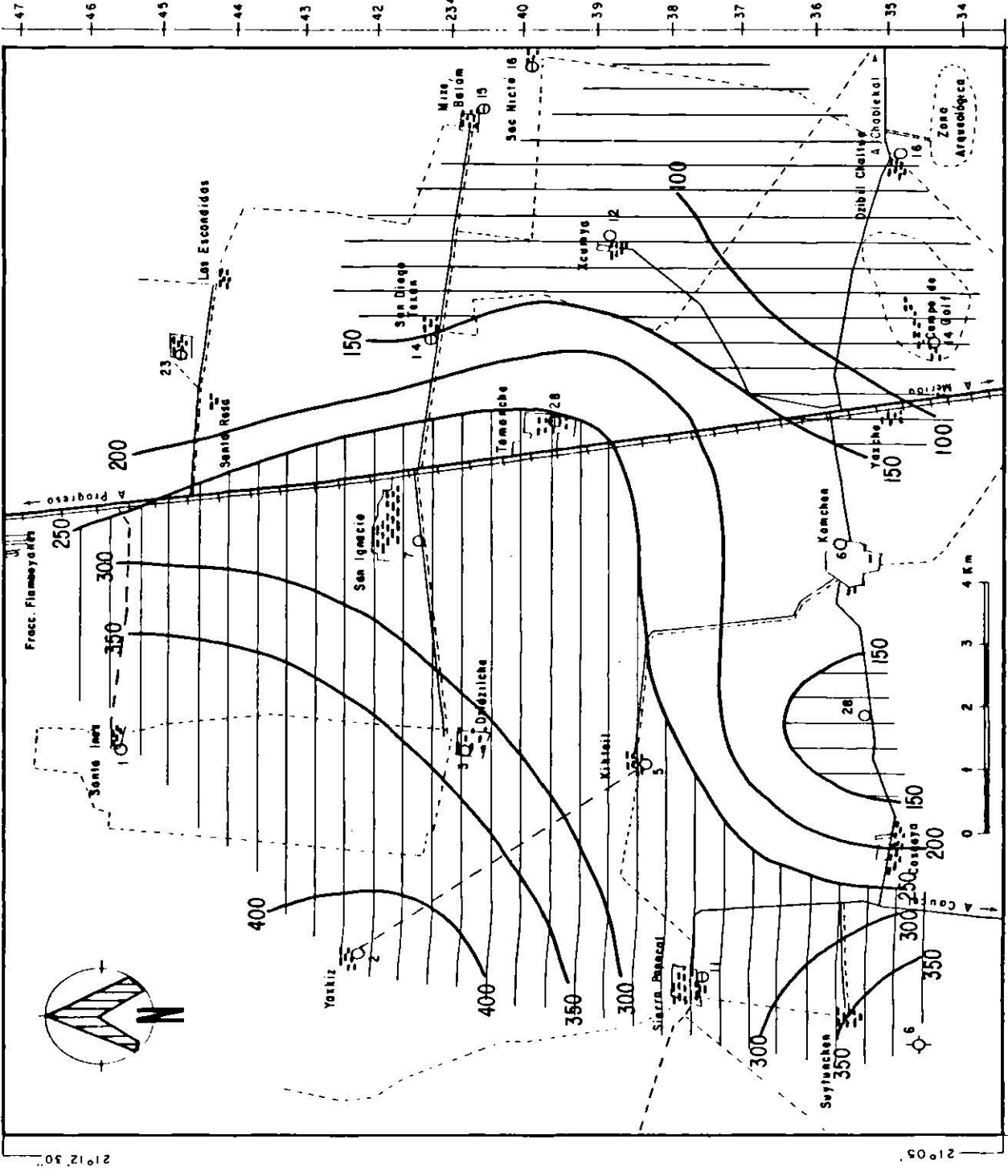
AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

ISOVALORES DE MAGNESIO AGO/88

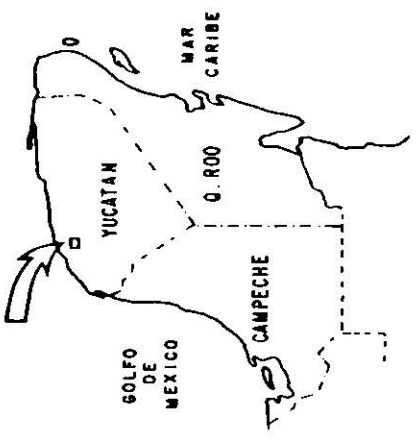
TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.20





21° 05' 21° 12' 30" 89° 45' 89° 55'



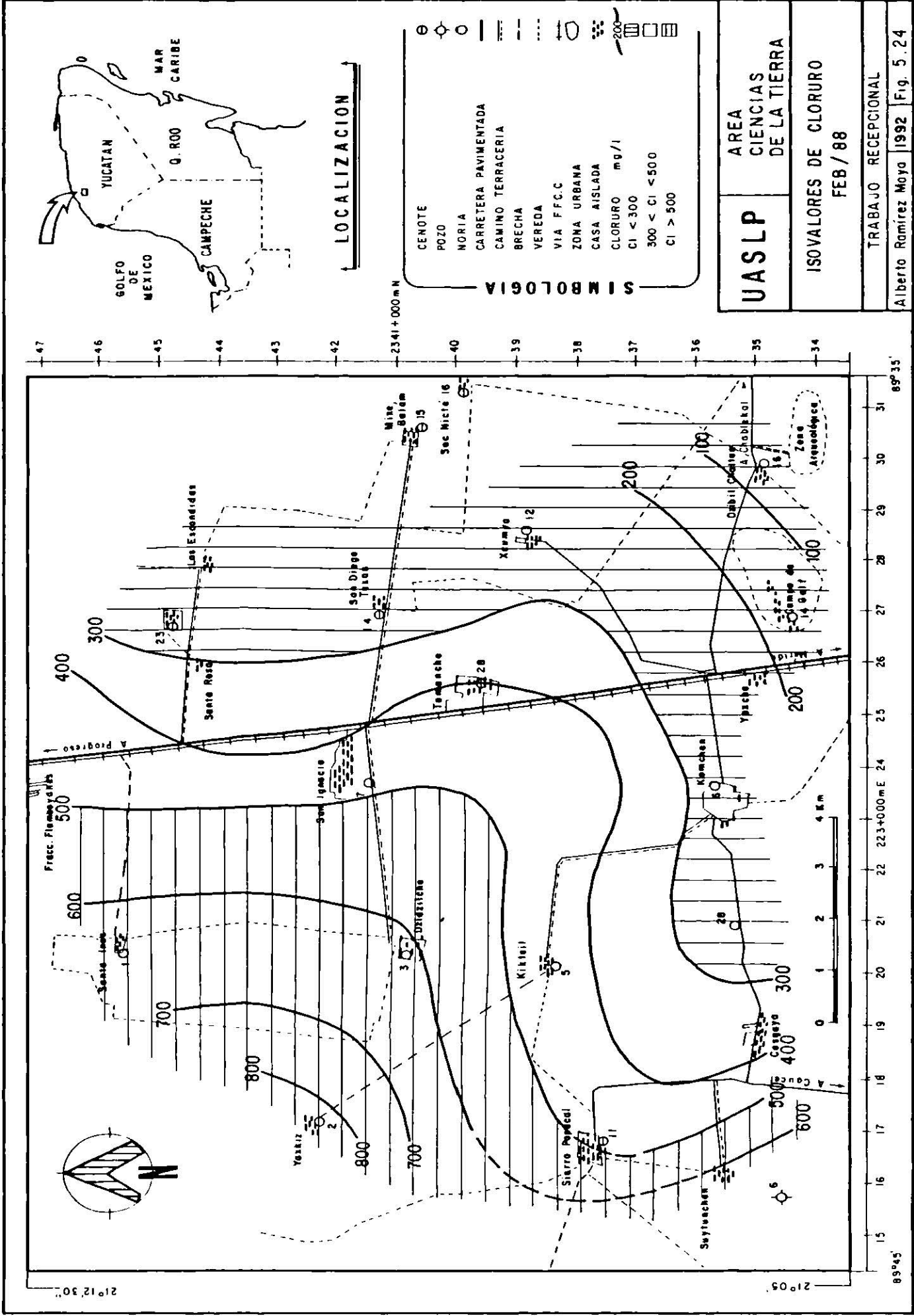
**LOCALIZACION**



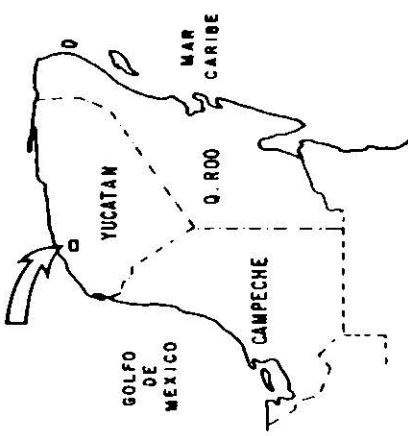
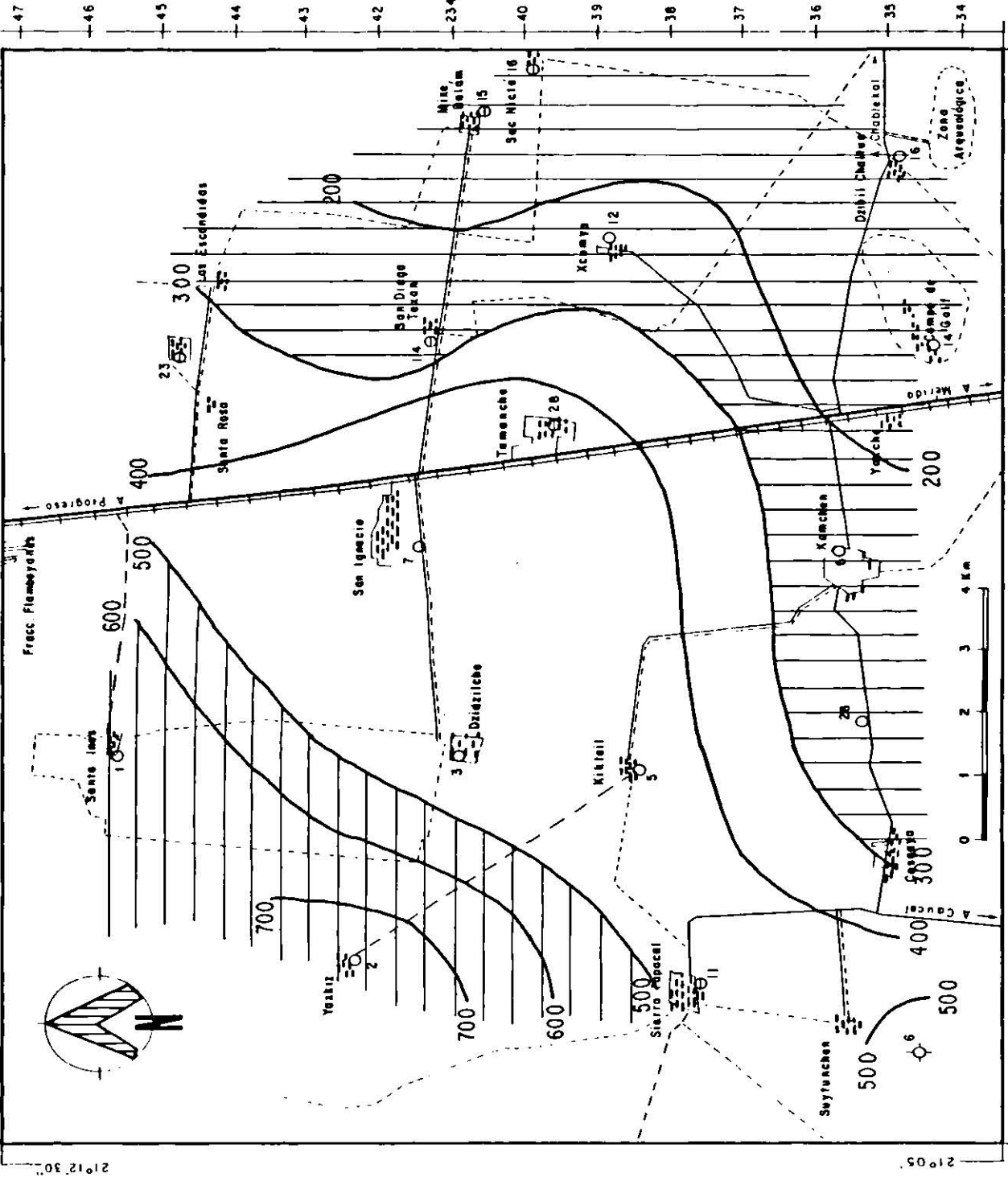
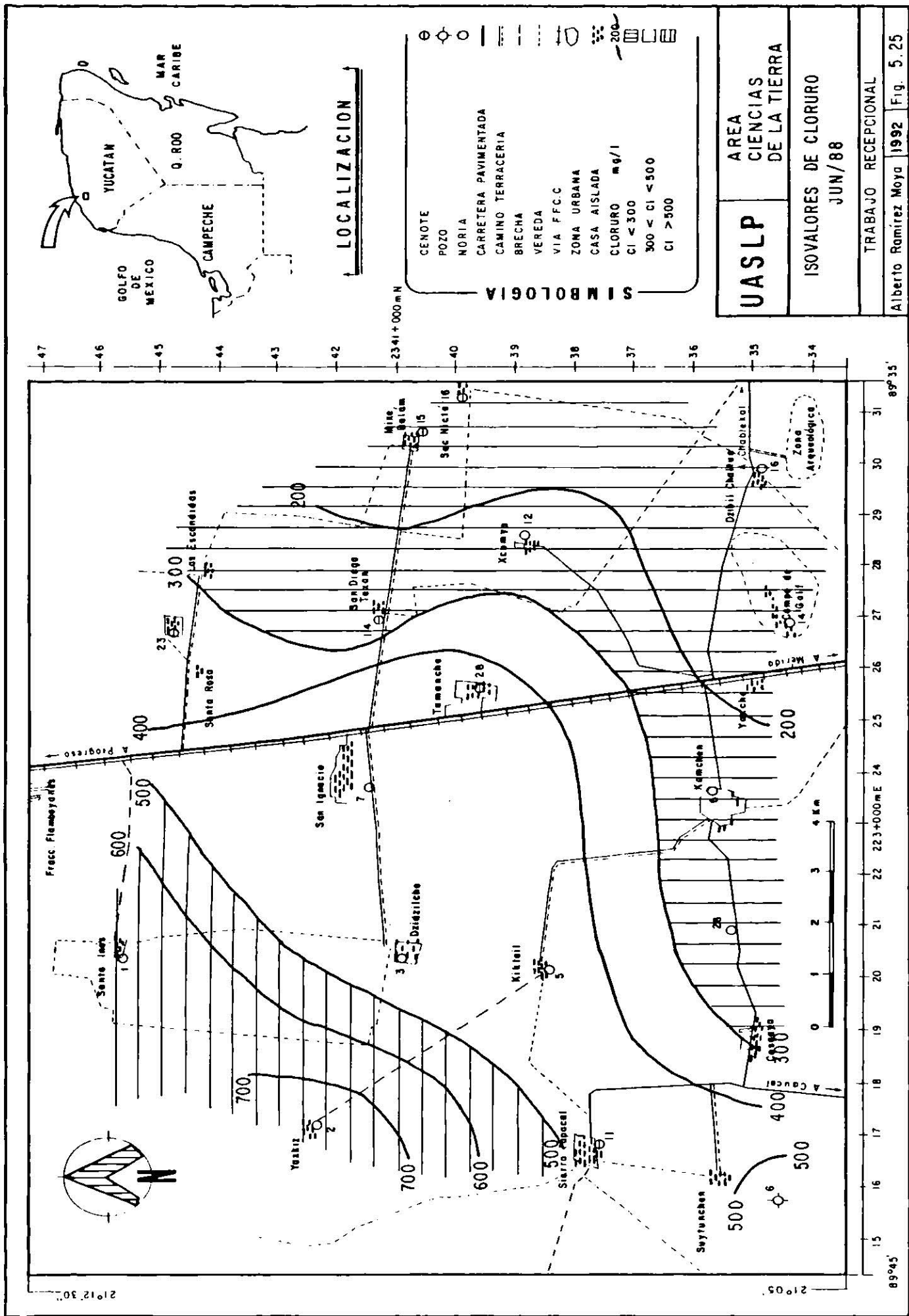
<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE SODIO FEB/88	
TRABAJO RECEPTIONAL	
Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.21	







TRABAJO RECEPTIONAL  
 Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.24



LOCALIZACION

- SIMBOLOGIA**
- CENOTE
  - ◊ POZO
  - NORIA
  - CARRETERA PAVIMENTADA
  - CAMINO TERRACERIA
  - BRECHA
  - VEREDA
  - VIA F.F.C.C
  - ZONA URBANA
  - CASA AISLADA
  - CLORURO mg/l
  - CI < 300
  - 300 < CI < 500
  - CI > 500

**UASLP**  
 AREA CIENCIAS DE LA TIERRA

ISOVALORES DE CLORURO  
 JUN/88

TRABAJO RECEPTIONAL  
 Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.25

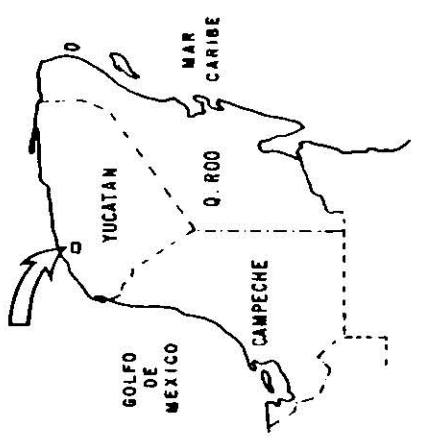
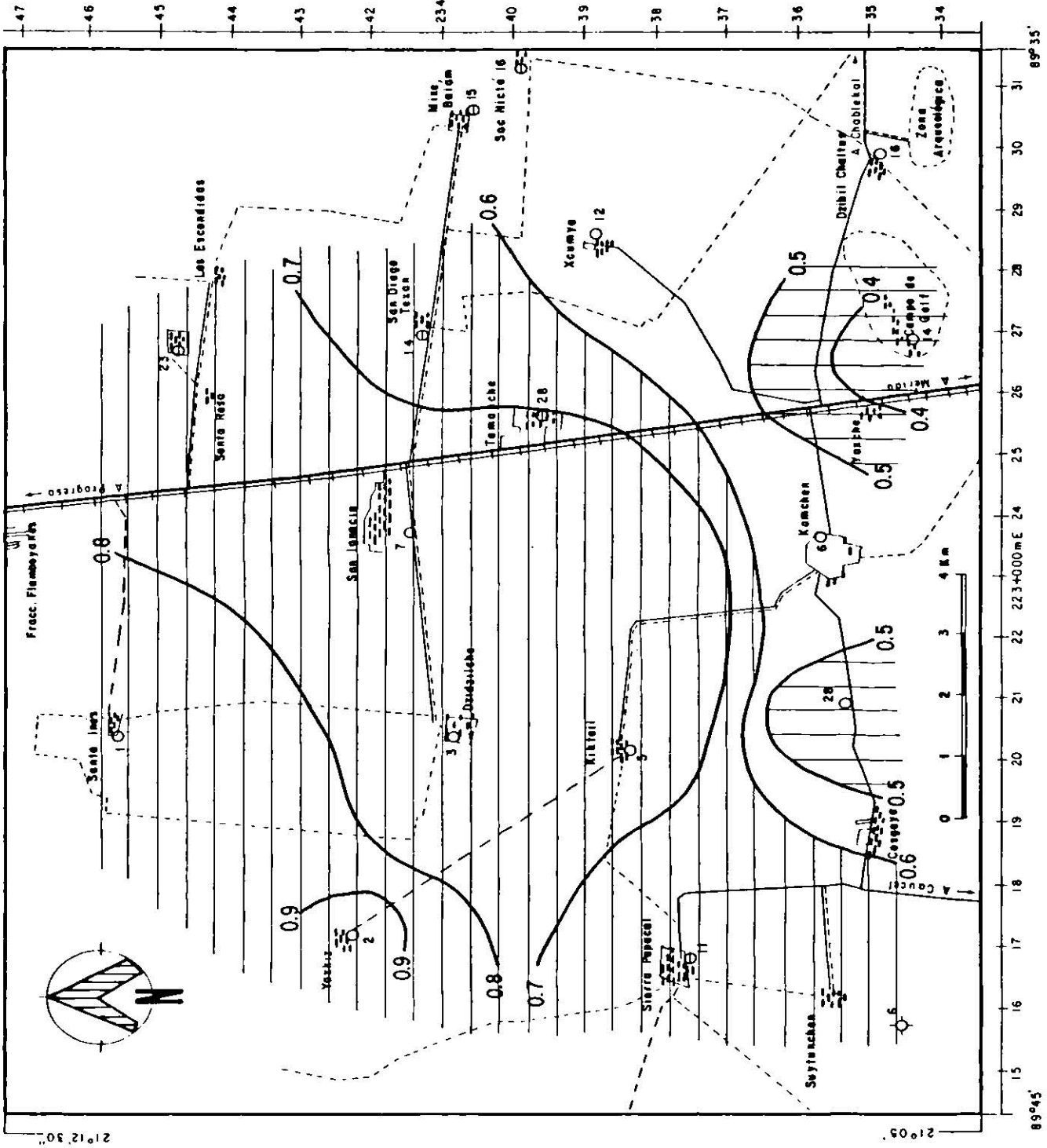
21°12'30"

21°05'

89°45'

89°35'





LOCALIZACION

**SIMBOLOGIA**

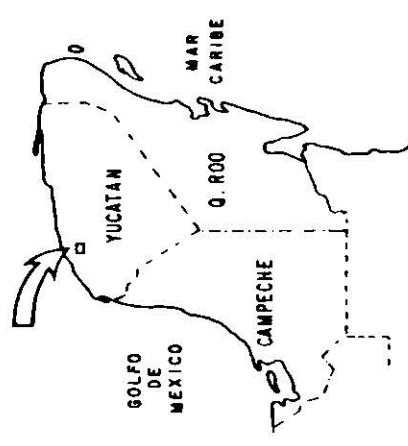
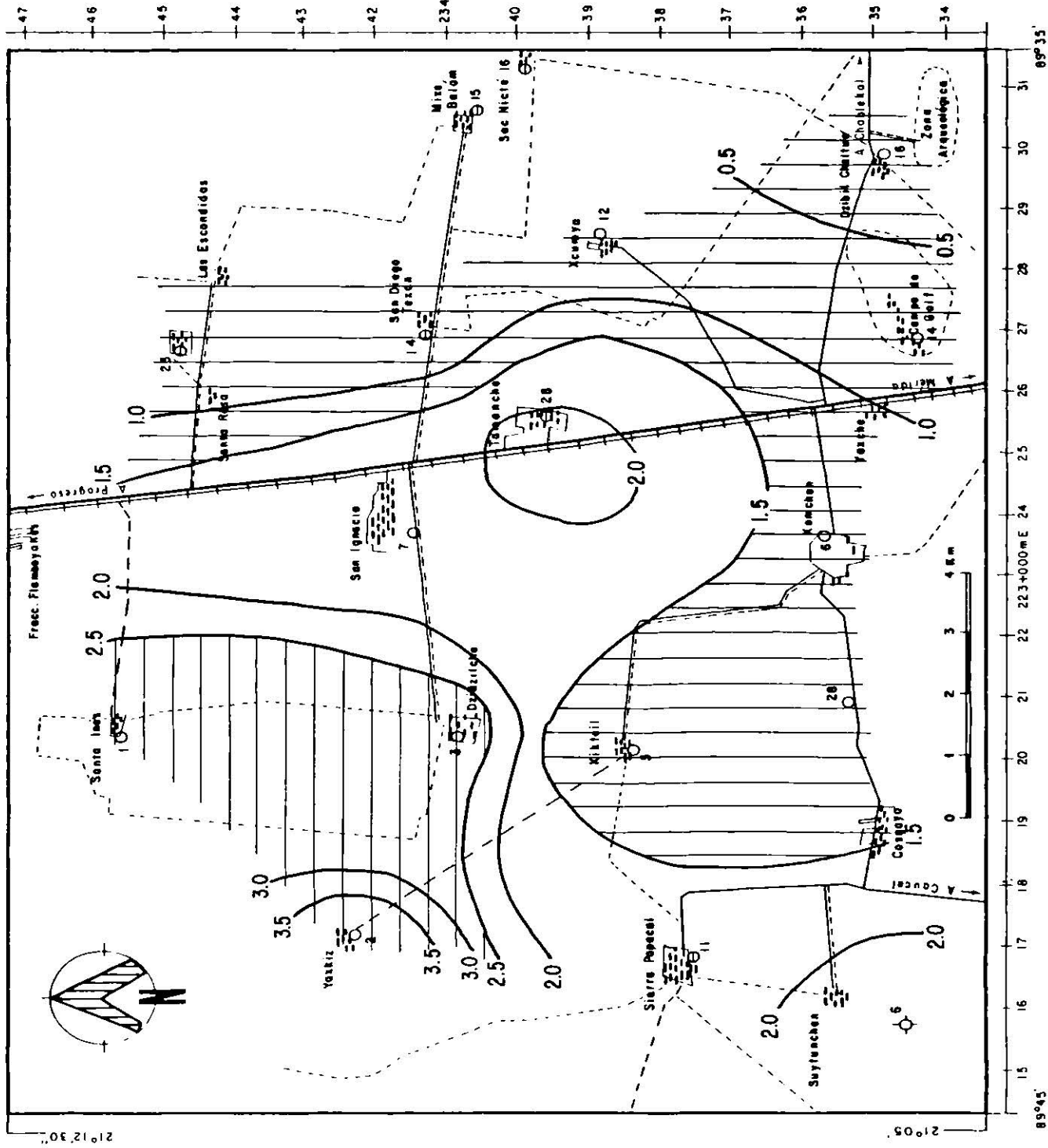
○	CENOTE
⊙	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
- - -	CAMINO TERRACERA
⊖	BRECHA
⊕	VEREDA
—	VIA F.F.C.C
⊙	ZONA URBANA
⊙	CASA AISLADA
⊙	MAGNESIO/CALCIO mg/l
⊙	Mg/Co < 0.5
⊙	0.5 < Mg/Co < 0.6
⊙	Mg/Co > 0.6

UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE MAGNESIO/CALCIO FEB / 88	
TRABAJO RECEPTACIONAL	Alberto Ramirez Moya   1992   Fig. 5.27







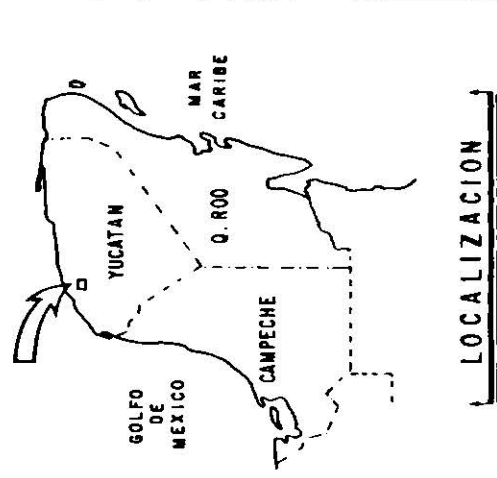
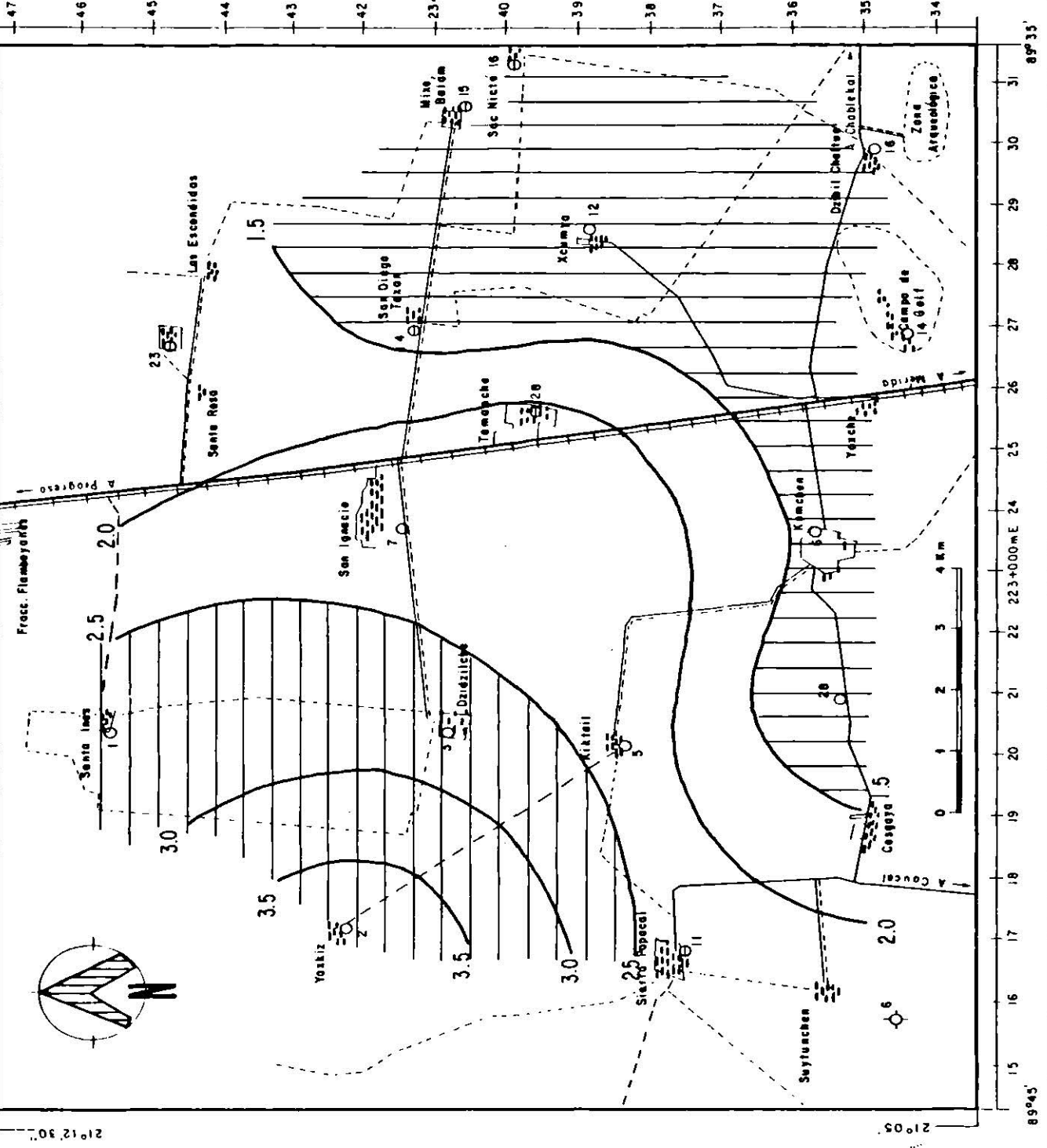


LOCALIZACION

**SIMBOLOGIA**

⊙	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
- - -	CAMINO TERRACERIA
⊞	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA FFCC
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
⊞	CLORURO / BICARBONATO meq/l
⊞	1.5 < Cl / HCO <sub>3</sub> < 1.5
⊞	1.5 < Cl / HCO <sub>3</sub> < 2.5
⊞	Cl / HCO <sub>3</sub> > 2.5

UASLP	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE CLORURO / BICARBONATO FEB / 88	
TRABAJO RECEPCIONAL	Alberto Ramirez Moja   1992   Fig. 5_30



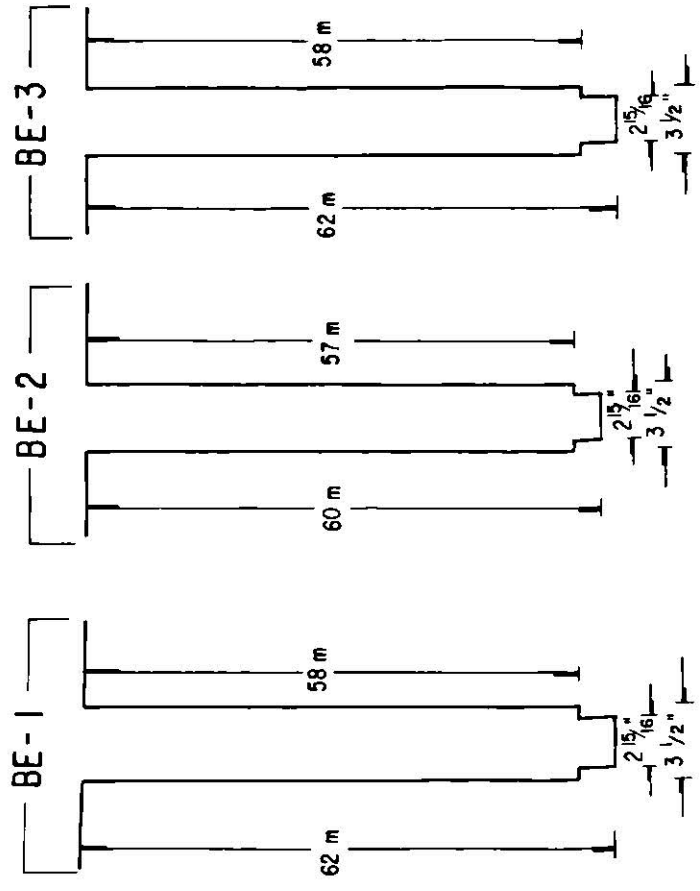
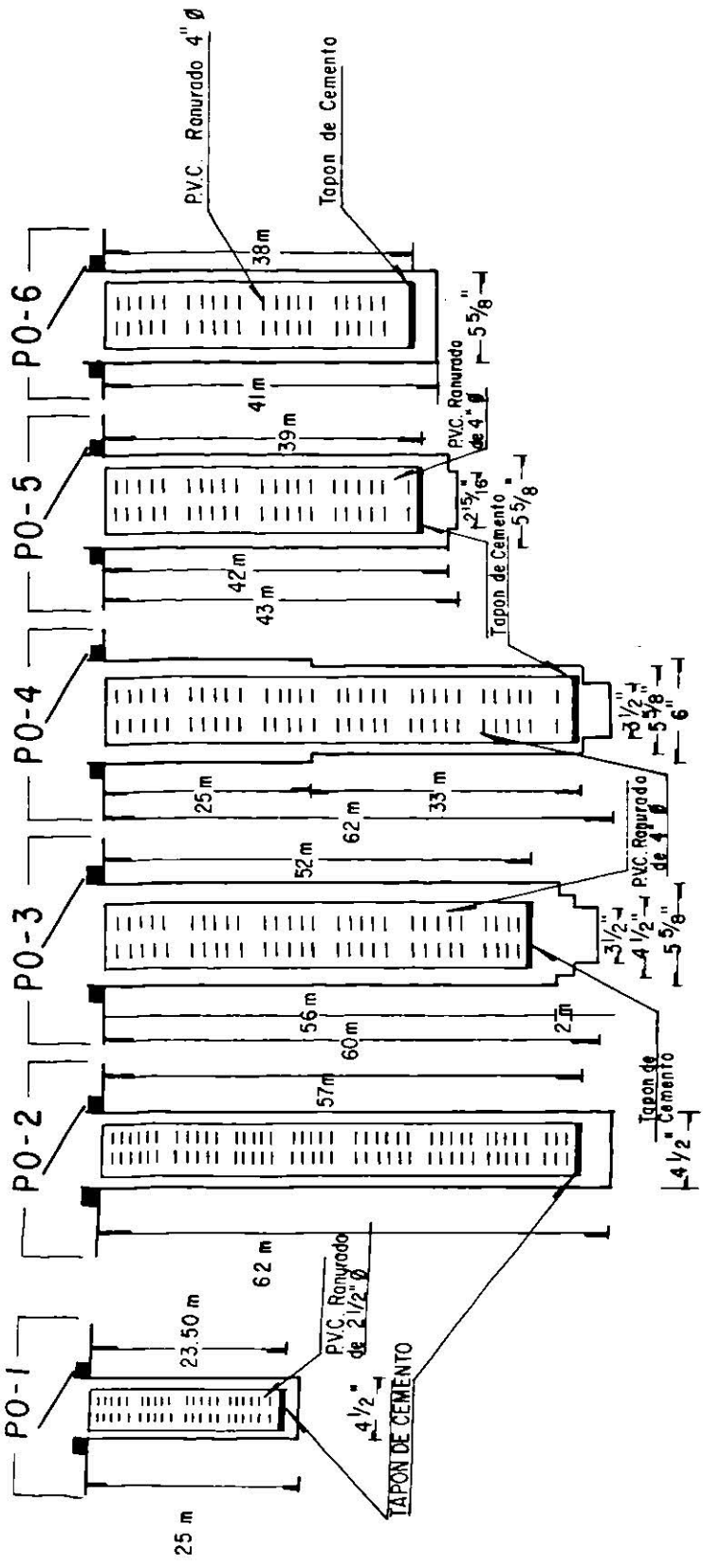
**LOCALIZACION**

**SIMBOLOGIA**

○	CENOTE
○	POZO
○	NORIA
—	CARRETERA PAVIMENTADA
—	CAMINO TERRACERIA
—	BRECHA
—	VEREDA
—	VIA F.F.C.C.
—	ZONA URBANA
—	CASA AISLADA
—	CLORURO/BICARBONATO mg/l < 1.5
—	CL / HCO <sub>3</sub> < 1.5
—	CL / HCO <sub>3</sub> > 2.5

<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
ISOVALORES DE CLORURO/BICARBONATO	
JUN / 88	
TRABAJO RECEPTIONAL	Alberto Ramirez Moya 1992 Fig. 5.31





PO — POZO DE OBSERVACION  
 BE — BARRENO EXPLORATORIO

<b>UASLP</b>		AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
<b>TERMINACION DE POZOS</b>		
TRABAJO RECEPCIONAL		
Alberto Ramírez Moya 1992 Fig. 6.1		



---

# **ANEXO 1**

---

---

---

---

---

**UASLP**

---

---

---

---

---

# ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE MUESTRAS DE MUESTRAS DE AGUA

ORDEN MUESTRA	FECHA MUESTRO	PUNTO HIDROLÓGICO	CALCIO COMO Ca	MAGNESIO COMO Mg	SODIO COMO Na	POTASIO COMO K	DUREZA TOTAL COMO CaCO <sub>3</sub>	ALCALINIDAD		TEMPERATURA		PH		CONDUCT. ELÉCTRICA		MATERIA ORGÁNICA COMO RhNO	ANHIDRIDO CARBÓNICO COMO CO <sub>2</sub>	FOSFOS COMO P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SILICE TOTAL COMO SiO <sub>2</sub>	BICARBONATO/CARBONATO COMO HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CLORURO COMO Cl	SULFATO COMO SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	NITRATO COMO NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SOLIDOS DISUELTOS
								F	A.M.	CAMPO	LAB	CAMPO	LAB	CAMPO	LAB									
01	M-1	10/02/88	4.635	19.70	65.40	8.80	305.10	0	223.8	23	-	7.31	725	910	9.67	0.0	-	7.50	273	0	144	19.88	3.80	324.50
02	M-2	10/02/88	5.741	18.50	80.60	3.40	266.70	0	335	25	-	7.5	752	900	6.76	0.0	-	266.2	433	0	55.80	13.20	0.74	287.5
03	M-3	10/02/88	5.25	40.20	140	28.10	490.60	0	446	25	-	7.3	1621	1690	10.30	0	-	7.50	544	0	215	41.70	1.78	1179.0
04	M-4	10/02/88	4.605	36.20	164	29.70	408.80	0	368	24.5	-	7.5	1355	1610	5.15	0	-	6.30	449	0	284	40.70	1.40	1117.0
05	M-5	10/02/88	4.845	24.90	148	22.40	337.60	0	270	24	-	7.3	1145	1380	34.20	0	-	4.30	329	0	235	67.60	3.83	779.30
06	M-6	10/02/88	4.80	45.80	366	17.60	463.60	0	379	28	-	7.3	2170	2580	14.20	0	-	9.20	463.6	0	630	8.70	0.70	1611.5
07	M-7	10/02/88	7.455	42.20	280	9.10	423.80	0	389.50	26.5	-	7.2	442	2090	0.06	0	-	10.0	465.0	0	423.0	46.10	1.22	387.30
08	M-8	10/02/88	4.40	43	275	18	311.60	0	391.40	24	-	7.5	584	2100	8.80	0	-	9.20	481	0	411.80	66.0	0.67	1460.70
09	M-9	10/02/88	4.68	30.80	94	5.50	327	0	382	27	-	7.5	289	1115	3.15	0	-	8.30	466	0	120	24.70	2.83	831.40
10	M-10	10/02/88	9.35	38.60	195	6.60	381	0	408.30	27	-	7.2	480	1660	7.0	0	-	9.40	494	0	280	41	0.60	1162.40
11	M-11	10/02/88	4.80	38	150	7.50	391	0	397.70	25	-	7.3	399	1480	7.0	0	-	11.50	485	0	530	24.60	0.37	1043.60
12	M-12	11/02/88	3.3	71	448	17.50	617.50	0	327	24	-	7.2	782	3230	9.60	0	-	8.70	399	0	530	90.60	3.13	1896.30
13	M-13	11/02/88	3.84	52.70	340	34	519.60	0	334.50	27	-	7.2	646	2600	8.80	0	-	11.30	409	0	620	74.20	1.17	1666.70
14	M-14	11/02/88	6.23	40.50	280	9.50	404.30	0	327	27	-	7.3	552	2090	404.3	0	-	11.30	399	0	460	60.40	0.31	1353
15	M-22	11/02/88	2.76	49.50	390	26.50	634.0	0	315	26.5	-	7.2	721	2650	11.8	0	-	8.30	384	0	650	79	0.62	1683
16	M-29	11/02/88	5.665	40.30	265	8.10	401.50	0	296.80	25.5	-	7.3	558	1970	5.75	0	-	8.50	362	0	440	60	0.65	1280.6
** 3ER. MUESTRO **																								
01	M-1	28/08/88	2.96	37	240	40	390	0	273	29	-	7.28	1868	1920	28	6.0	-	7.70	334	0	441	77	0.71	1288.5
02	M-2	28/08/88	3.84	39	274	45	418	0	287	28	-	6.97	2220	2160	5.60	0	-	14.10	350	0	517	46	0.74	1408
03	M-3	28/08/88	4.4	28	138	27.20	330.40	0	264	28	-	7.05	2838	1430	8.80	0	-	6.40	372	0	290	47	0.71	966.60
04	M-4	28/08/88	4.605	30.40	196	18.10	355.20	0	277	28	-	7.02	1692	1640	6.30	0	-	7.70	338	0	350	61	0.30	1078.4
05	M-5	28/08/88	5.25	38	148	35.40	406.50	0	294	27	-	7.17	1726	1550	7.20	0	-	9	359	0	325	48	0.20	1053.50
06	M-6	28/08/88	4.655	6.40	40	2.20	146	0	144.30	27	-	7.76	492	478	9.13	0	-	6.60	176	0	55	23	0.13	357.60
07	M-7	28/08/88	5.741	14	55	12	275	0	284.30	28	-	7.13	904	850	6.30	0	-	9.20	303	0	110	32	1.0	614.60
08	M-8	28/08/88	7.455	34	240	14.70	385	0	256.60	28	-	6.97	2010	1860	6.90	0	-	9.80	311	0	441	47.80	1.0	1196.60
09	M-9	28/08/88	6.23	29.70	60	50	318.50	0	298.50	28	-	6.77	1023	1010	6.30	0	-	7.90	344	0	136	79	0.28	761.0
10	M-10	28/08/88	4.80	30	150	10.60	348.50	0	255.00	27	-	7.01	1482	1400	4.0	0	-	13.90	311	0	282	57.60	0.74	944.60
11	M-11	28/08/88	4.68	24	85	7.70	299.0	0	251.70	28	-	7.19	1101	1000	5.0	0	-	7.70	307	0	170	24.70	0.44	707
12	M-12	28/08/88	9.35	24.50	128	5.40	306.0	0	260	28	-	7.16	1154	1200	17	10.0	-	12.20	317	0	220	37.90	0.35	878
13	M-13	28/08/88	4.80	40.30	343	26.50	406	0	498.5	29	-	6.98	2330	2300	3.15	0	-	10	344	0	587	49.40	0.21	1517.40
14	M-14	28/08/88	4.945	22	120	7.30	290	0	233.80	28	-	7.27	1226	1140	11.60	0	-	11.30	290	0	225	26.30	0.50	784
15	M-15	28/08/88	5.665	31.40	250	11.90	391.80	0	254.0	28	-	7.13	2160	1860	5.0	0	-	6	310	0	440	61	0.51	1217

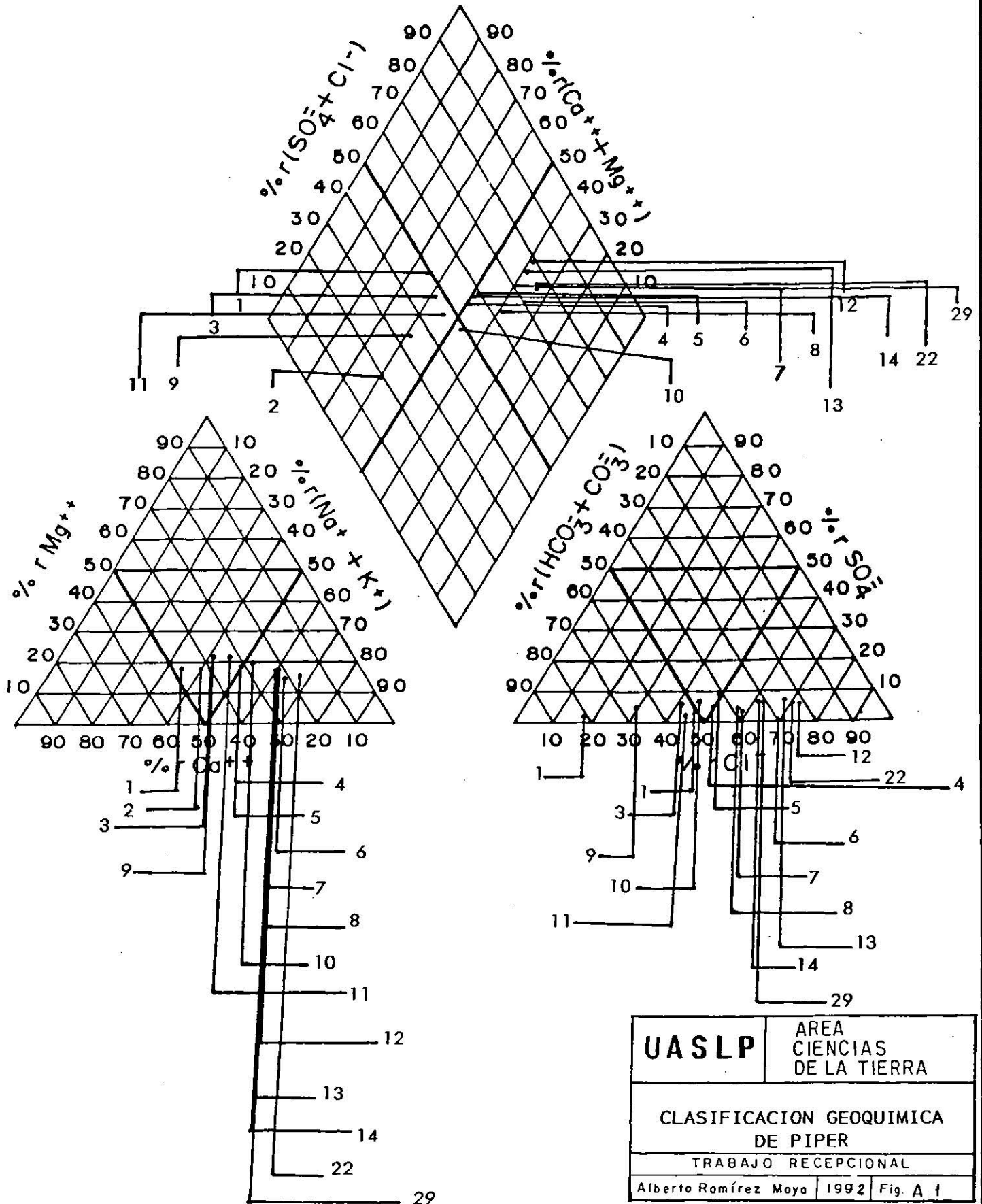
TABLA A.1



# CLASIFICACION GEOQUIMICA

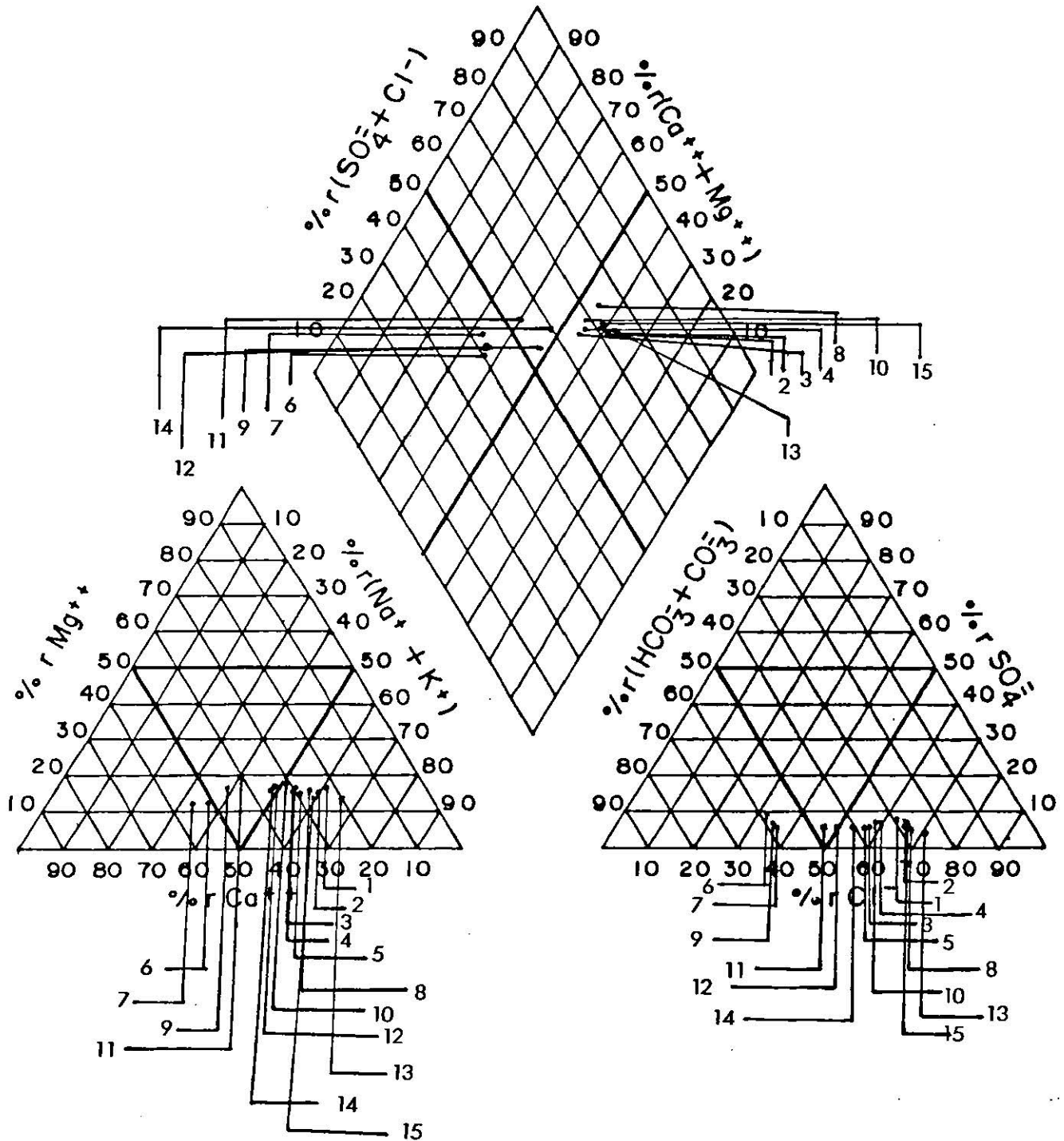
MUESTRA	FECHA MUESTREO	PUNTO HIDROLOGICO		SIMPLE			PARA RIEGO		GEOQUIMICA						
		UBICACION	FUENTE	STD	DUREZA	SAR	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	WILCOX	ANION	CATION	CLAS	CHASE	PALMER		
											S1	S2	S3	A1	A2
** 1ER. MUESTREO **															
M-1	10/02/88	4.635	N-14	634.50	306.10	1.62	725	C3-S1	HC03	Ca	III 33	17	0	0	49
M-2	10/02/88	5.741	N-16	687.0	266.2	2.14	752	C3-S1	HC03	Ca	I 21	0	0	20	60
M-3	10/02/88	5.25	N-12	1179	490.60	2.74	1421	C3-S1	HC03	Ca	III 41	6	0	0	53
M-4	10/02/88	4.605	N-6	1117	406.90	3.53	1356	C3-S1	CI	Na	III 49	5	0	0	45
M-5	10/02/88	4.945	N-29	929.50	337.60	3.5	1145	C3-S1	CI	Na	III 51	9	0	0	40
M-6	10/02/88	4.80	P-6	1651.50	463.60	7.38	2170	C4-S2	CI	Na	III 64	6	0	0	30
M-7	10/02/88	7.455	C-11	1387.50	423.80	5.9	442	C3-S2	CI	Na	III 60	3	0	0	38
M-8	10/02/88	4.40	N-5	1400	311.60	5.86	584	C3-S2	CI	Na	III 60	3	0	0	38
M-9	10/02/88	4.68	C-15	831.40	327.0	-	289.0	** ANALISIS DE	MUESTRA	NO CONFIABLE **					
M-10	10/02/88	9.35	C-23	1162.4	384.0	4.32	480	C3-S1	HC03	Ca	I 52	0	0	1	47
M-11	10/02/88	4.80	C-14	1043.6	391	3.29	399	C3-S1	HC03	Ca	III 46	1	0	0	53
M-12	11/02/82	3.3	N-2	1996.3	617.5	7.83	782	C4-S2	CI	Na	III 62	18	0	0	21
M-13	11/02/82	3.84	N-3	1666.70	519.60	6.48	646	C4-S2	CI	Na	III 60	14	0	0	26
M-14	11/02/82	6.23	C-7	1353.0	404.3	6.05	552	C3-S2	CI	Na	III 61	8	0	0	32
M-22	11/02/82	2.96	N-1	1683	436	8.11	721	C4-S2	CI	Na	III 67	9	0	0	24
M-29	12/02/82	5.065	N-32	1280.6	403.5	5.73	536	C3-S2	CI	Na	III 59	10	0	0	30
** 3ER. MUESTREO **															
M-01	28/08/88	2.96	N-1	1268.5	390	5.36	1966	C3-S2	CI	Na	III 60.26	11.68	0.0	0	28.06
M-02	28/08/88	3.84	N-3	1408.0	418	5.82	2270	C4-S2	CI	Na	III 60.9	12.7	0	0	26
M-03	28/08/88	4.4	N-5	966.6	330.4	3.77	2638	C4-S2	CI	Na	III 53	10.1	0	0	37
M-04	28/08/88	4.605	N-6	1098.4	365.2	4.45	1692	C3-S1	CI	Na	III 55	11.7	0	0	33
M-05	28/08/88	5.25	N-12	1053.5	406.5	3.18	1726	C3-S1	CI	Na	III 47	15	0	0	37
M-06	28/08/88	4.635	N-14	357.6	146	1.43	492	C2-S1	HC03	Ca	III 38	3.3	0	0	58.7
M-07	28/08/88	5.741	N-16	614.6	275	1.44	904	C3-S1	HC03	Ca	III 33	9	0	0	58
M-08	28/08/88	7.455	C-11	1198.6	385.0	5.31	2010	C3-S2	CI	Na	III 58	14	0	0	28
M-09	28/08/88	6.23	C-07	761	318.5	1.46	1023	C3-S1	HC03	Ca	III 38	5	0	0	57
M-10	28/08/88	4.80	C-14	994.6	348.5	3.49	1482	C3-S1	CI	Na	III 49	15	0	0	36
M-11	28/08/88	4.68	C-15	707	299	-	1101	*****ANALISIS DE MUESTRA**							
M-12	28/08/88	9.35	C-23	828	306	3.18	1154	C3-S1	CI	Na	III 48	9	0	0	43
M-13	28/08/88	4.80	P-06	1517.4	406	7.39	2530	C4-S2	CI	Na	III 66	9	0	0	25
M-14	28/08/88	4.945	N-28	784	293	3.04	1226	C3-S1	CI	Na	III 48	11	0	0	41
M-15	28/08/88	5.065	N-32	1217	391.80	5.48	2150	C3-S2	CI	Na	III 59	14	0	0	27

- Agua Clasificada como: - Bicarbonatada - Calcica
- 1ER. MUESTREO - Clorurada - Sodica



<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
	CLASIFICACION GEOQUIMICA DE PIPER
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Rom3rez Moya	1992 Fig. A.1

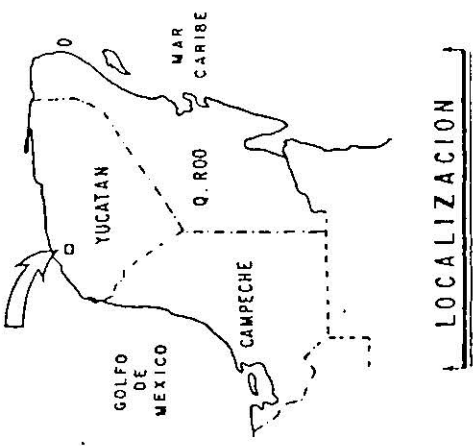
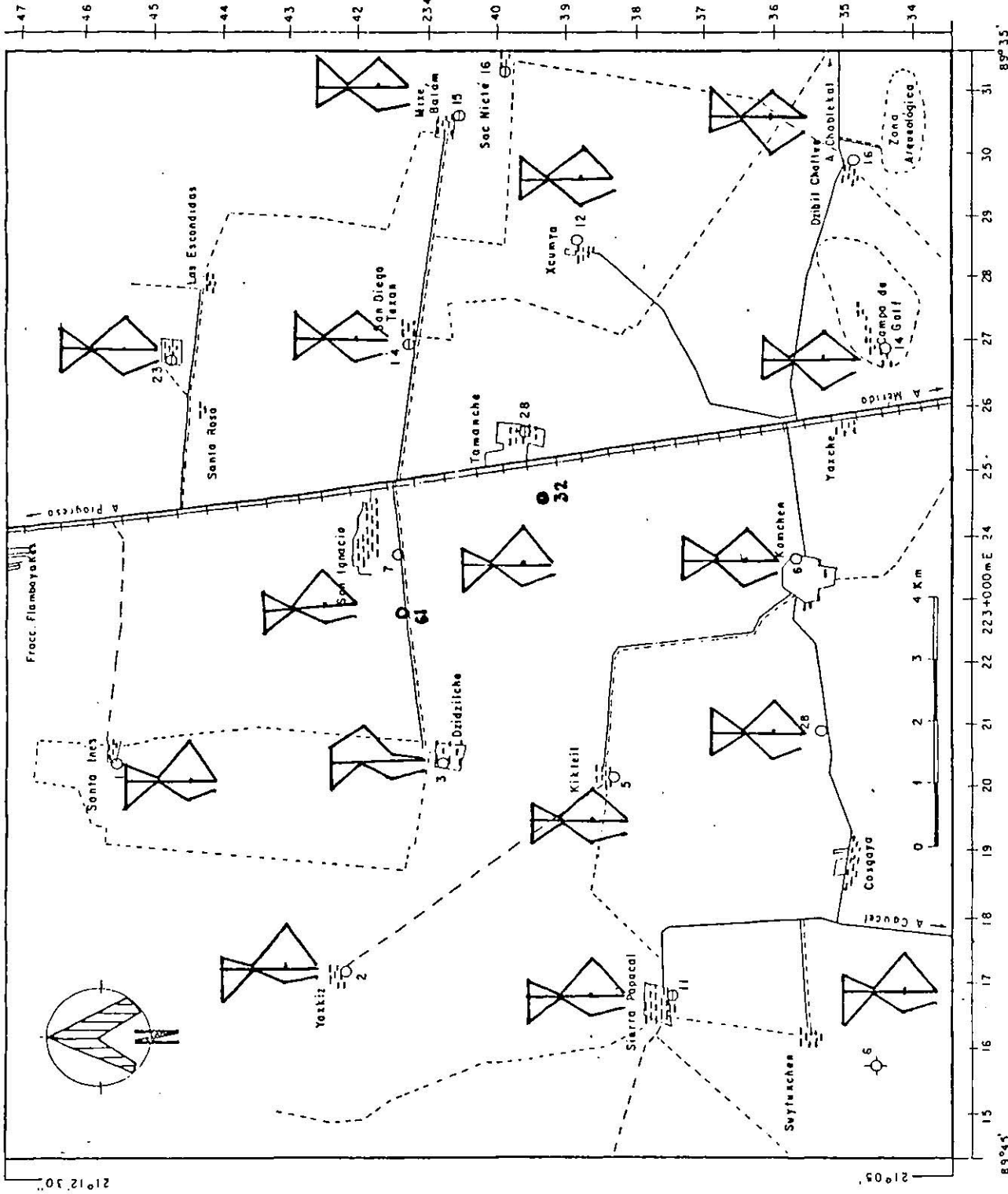
- Agua Clasificada como: - Clorurada - Sodica
- 3ER. MUESTREO - Bicarbonatada - Calcica



<b>UASLP</b>	AREA CIENCIAS DE LA TIERRA
	CLASIFICACION GEOQUIMICA DE PIPER
TRABAJO RECEPCIONAL	
Alberto Ramírez Moya	1992   Fig. A.2







SIMBOLOGIA

- ⊕ CENOTE
- POZO
- MORIA
- ▬ CARRETERA PAVIMENTADA
- ▬▬▬ CAMINO TERRACERIA
- ▬ BRECHA
- ▬ VEREDA
- ▬ VIA F.F.C.C
- ▬ ZONA URBANA
- ▬ CASA AISLADA
- ⚡ DIAGRAMA DE STIFF

**UASLP**

AREA  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA

DIAGRAMA DE STIFF MOD.  
2DO. MUESTREO JUN/88

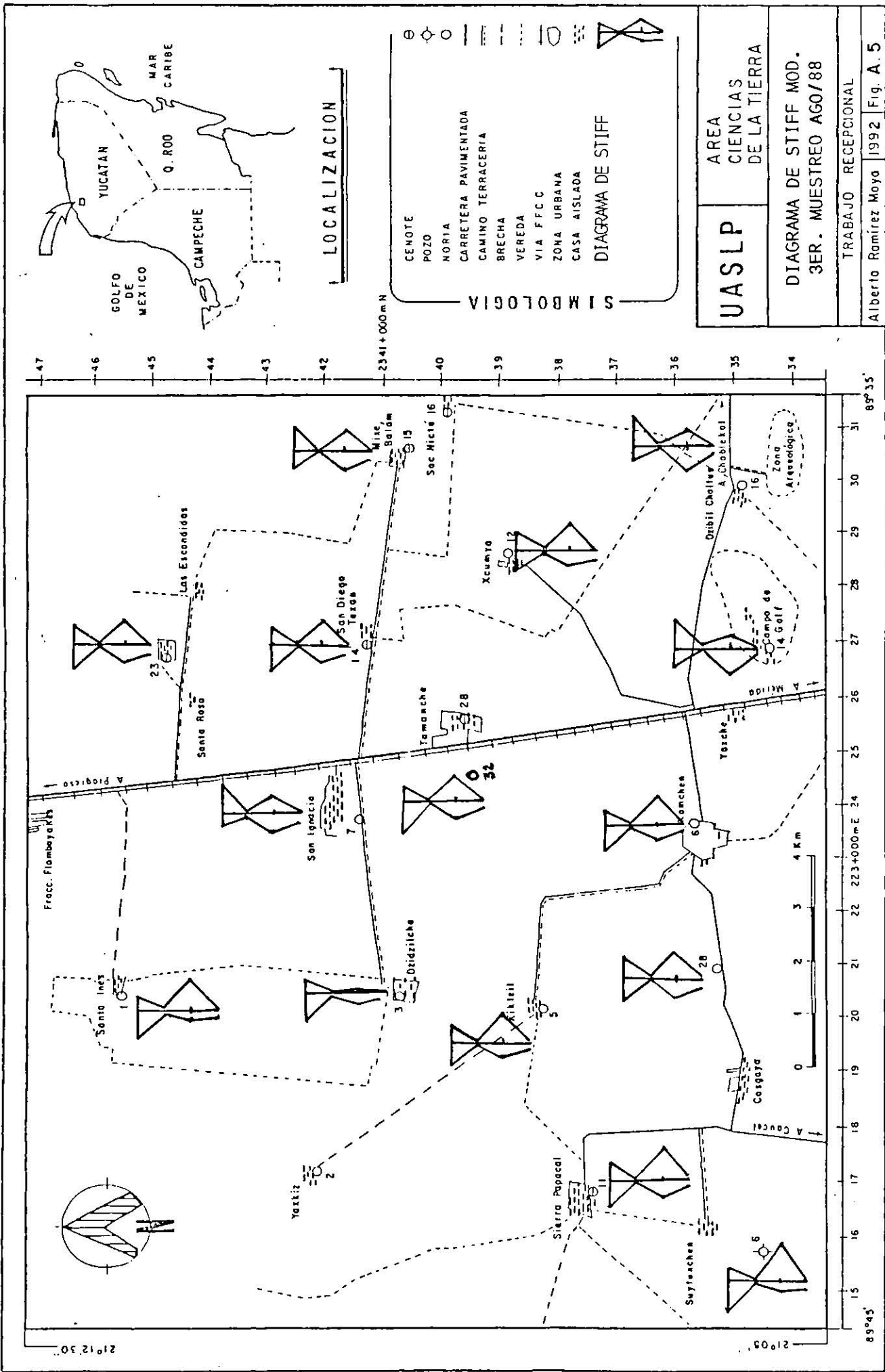
TRABAJO RECEPTACIONAL

Alberto Rom3rez Moya 1992 | Fig. A. 4

Esc.: 1 mm = 1 meq/l

% Meq/l % Meq/l

Na	100%	HCO <sub>3</sub>
K	50%	SO <sub>4</sub>
Ca	25%	Cl
Mg	0%	NO <sub>3</sub>



Esc.: 1 mm = 1 meq/l



Tabla A.5

ORDENES DE LA 7ª APROXIMACION	ETIMOLOGIA	EQUIVALENTES APROXIMADOS DE LA DE BALDWIN
1º = Entisol	Lat. "Juvent" Juventud	Suelos azonales y algunos low-Humic Gley
2º Vertisoles	Lat. "Verto" Invertir	Grumosoles
3º Inceptisoles	Lat. "Inceptum" Incipiente	Ando, Sol Brun Acide, algunos - brown forest, low-Humic Gley, y Humic Gley
4º Aridisoles	Lat. "Aridus" Aridos (seco)	Desierto, Desierto rojo, sierozum, solonchak, algunos pardos y pardos rojizos y solonetz asociados.
5º Molisoles	Lat. "Mollis" Blando (molicie)	Chestnut, chernozem, pradera, -- rendzinas, algunos pardos, pardos forestales y solonetz y Humic Gley asociados.
6º Spodosoles	Lat. "Spodos" Ceniza (podsol)	Podsoles, pardos podsólicos y -- podsoles hidropédicos.
7º Anfiboles	Sílabas sin sentido Pedalfer (ácido)	Grey-pardo podsólico, Grey Wooded pardo no cálcico, chernozem degradado, plomsoles y algunos - half-bog asociados.
8º Ultisoles	Lat. "Ultimus" Ultimo	Podsoles rojo amarillento, marrón rojizo laterítico de los E.E.U.U. y planosoles y half-bog asociados.
9º Oxisoles	De Oxido Oxido	Suelos de tateritas latosoles
10º Histosoles	Griego "histos" Histología, tejido	Suelo turboso



## ELEMENTOS QUIMICOS

En orden alfabético

En orden de número atómico

Elemento	Símbolo	Número atómico	Elemento	Símbolo	Número atómico	Número atómico	Elemento	Símbolo	Número atómico	Elemento	Símbolo
Actinio	Ac	89	Lutecio	Lu	71	1	Hidrógeno	H	52	Teluro	Te
Aluminio	Al	13	Magnesio	Mg	12	2	Helio	He	53	Yodo	I
Americio	Am	95	Manganeso	Mn	25	3	Litio	Li	54	Xenón	Xe
Antimonio	Sb	51	Mendelevio	Md	101	4	Berilio	Be	55	Cesio	Cs
Argón	Ar	18	Mercurio	Hg	80	5	Boro	B	56	Bario	Ba
Arsénico	As	33	Molibdeno	Mo	42	6	Carbono	C	57	Lantano	La
Astatinio	At	85	Niobio	Nb	41	7	Nitrógeno	N	58	Cerio	Ce
Azufre	S	16	(Columbio) (Cb)			8	Oxígeno	O	59	Praseodimio	Pr
Bario	Ba	56	Neodimio	Nd	60	9	Flúor	F	60	Neodimio	Nd
Berilio	Be	4	Neón	Ne	10	10	Neón	Ne	61	Prometio	Pm
Berkelio	Bk	97	Neptunio	Np	93	11	Sodio	Na	62	Samario	Sm
Bismuto	Bi	83	Níquel	Ni	28	12	Magnesio	Mg	63	Europio	Eu
Boro	B	5	Nitrógeno	N	7	13	Aluminio	Al	64	Gadolinio	Gd
Bromo	Br	35	Nobelio	No	102	14	Silicio	Si	65	Terbio	Tb
Cadmio	Cd	48	Oro	Au	79	15	Fósforo	P	66	Disprobio	Dy
Calcio	Ca	20	Osmio	Os	76	16	Azufre	S	67	Holmio	Ho
Californio	Cf	98	Oxígeno	O	8	17	Cloro	Cl	68	Erbio	Er
Carbono	C	6	Paladio	Pd	46	18	Argón	Ar	69	Tulio	Tm
Cerio	Ce	58	Plata	Ag	47	19	Potasio	K	70	Iterbio	Yb
Cesio	Cs	55	Platino	Pt	78	20	Calcio	Ca	71	Lutecio	Lu
Cinc	Zn	30	Plomo	Pb	82	21	Escandio	Sc	72	Hafnio	Hf
Cloro	Cl	17	Plutonio	Pu	94	22	Titanio	Ti	73	Tántalo	Ta
Cobalto	Co	27	Polonio	Po	84	23	Vanadio	V	74	Tugsteno	
Cobre	Cu	29	Potasio	K	19	24	Cromo	Cr		(Wolframio)	W
Criptón	Kr	36	Praseodimio	Pr	59	25	Manganeso	Mn	75	Renio	Re
Cromo	Cr	24	Prometio	Pm	61	26	Hierro	Fe	76	Osmio	Os
Curio	Cm	96	Protoactinio	Pa	91	27	Cobalto	Co	77	Iridio	Ir
Disprobio	Dy	66	Radio	Ra	88	28	Níquel	Ni	78	Platino	Pt
Einsteinio	E	99	Radón	Rn	86	29	Cobre	Cu	79	Oro	Au
Erbio	Er	68	Renio	Re	75	30	Cinc	Zn	80	Mercurio	Hg
Escandio	Sc	21	Rodio	Rh	45	31	Galio	Ga	81	Talio	Tl
Estaño	Sn	50	Rubidio	Rb	37	32	Germanio	Ge	82	Plomo	Pb
Estroncio	Sr	38	Rutenio	Ru	44	33	Arsénico	As	83	Bismuto	Bi
Europio	Eu	63	Samario	Sm	62	34	Selenio	Se	84	Polonio	Po
Fermio	Fm	100	Selenio	Se	34	35	Bromo	Br	85	Astatinio	At
Flúor	F	9	Silicio	Si	14	36	Criptón	Kr	86	Radón	Rn
Fósforo	P	15	Sodio	Na	11	37	Rubidio	Rb	87	Francio	Fr
Francio	Fr	87	Talio	Tl	81	38	Estroncio	Sr	88	Radio	Ra
Gadolinio	Gd	64	Tántalo	Ta	73	39	Itrio	Y	89	Actinio	Ac
Galio	Ga	31	Tecnecio	Tc	43	40	Zirconio	Zr	90	Torio	Th
Germanio	Ge	32	Teluro	Te	52	41	Niobio	Nb	91	Protactinio	Pa
Hafnio	Hf	72	Terbio	Tb	65		(Columbio) (Cb)		92	Uranio	U
Helio	He	2	Torio	Th	90	42	Molibdeno	Mo	93	Neptunio	Np
Hidrógeno	H	1	Tulio	Tm	69	43	Tecnecio	Tc	94	Plutonio	Pu
Hierro	Fe	26	Titanio	Ti	22	44	Rutenio	Ru	95	Americio	Am
Holmio	Ho	67	Tungsteno			45	Rodio	Rh	96	Curio	Cm
Indio	In	49	(Wolframio) W		74	46	Paladio	Pd	97	Berkelio	Bk
Iridio	Ir	77	Uranio	U	92	47	Plata	Ag	98	Californio	Cf
Iterbio	Yb	70	Vanadio	V	23	48	Cadmio	Cd	99	Einsteinio	E
Itrio	Y	39	Xenón	Xe	54	49	Indio	In	100	Fermio	Fm
Lantano	La	57	Yodo	I	53	50	Estaño	Sn	101	Mendelevio	Md
Lawerencio	Lw	103	Zirconio	Zr	40	51	Antimonio	Sb	102	Nobelio	No
Litio	Li	3							103	Lawrencio	Lw

TABLA A,7  
CLASIFICACION DE MEDIOS SEDIMENTARIOS

MEDIOS	GRABAU (1930)	TWENHOFEL (1939)	DUMBAR & RODGERS (1957)	SELLEY (1970)	CROSBY (1972)	BLATT et al. (1972)
CONTINENTALES	<p>Desérticos</p> <p>Eluviones. Coluviones.</p> <p>Eólicos.</p> <p>Abanicos aluviales. Fluviales y torrenciales. Llanuras de inundación.</p> <p>Subacuáticos</p> <p>Glaciales. Lacustres. Palustres. Deltas.</p>	<p>Terrestres</p> <p>Glacial.</p> <p>Desértico.</p> <p>Piedemonte.</p> <p>Fluvial</p> <p>Aluvial.</p> <p>Lacustre. Palustre. Hipogeo.</p> <p>Deltas. Estuarios. Lagoon.</p> <p>Litoral.</p>	<p>Subaéreos</p> <p>Endorrelicos.</p> <p>Amplios.</p> <p>Piedemonte.</p> <p>Abanicos aluviales. Llanuras de inundación. Fluviales Intermedios.</p> <p>Glaciales. Lacustres.</p> <p>Lagoon. Superficies mareales.</p> <p>Playas. Acantilados.</p> <p>Arrecifales.</p>	<p>Eólicos.</p> <p>Anastomosados (Braided).</p> <p>Meandriformes.</p> <p>Lacustres.</p> <p>Deltas.</p> <p>Clásticos. Mixtos. Carbonatados.</p> <p>Arrecifales.</p> <p>Plataforma.</p> <p>Turbiditas.</p>	<p>Gravitacional.</p> <p>Eólicos.</p> <p>Fluvial.</p> <p>Glacial. Lacustre. Palustre.</p> <p>Deltas.</p> <p>Bahías. Marismas. Barreras. Llanura costera Acantilado.</p> <p>Arrecifales.</p> <p>Arrecifales. Litorales. Evaporítico. Plataforma.</p> <p>Carbonatado. Terrígeno. Euxínico. Turbidítico. Pelágico. Terrígenos.</p>	<p>Terrígeno.</p> <p>Eólico.</p> <p>Abanico aluvial. Llanura de inundación: Anastomosada. Meandriforme.</p> <p>Glacial. Lacustre. Palustre.</p> <p>Canales y «levees». Estuarios. Bahías y lagoon. Marismas. Playas e islas barrera. Intermareal. Supramareal. Glacial marino.</p> <p>Arrecifes. Bancos. Evaporítico. Plataforma gradada. Plataforma carbonatada. Cuenca.</p> <p>Talud y cañón. Abanicos submarinos. Cuenca oceánicas profundas. Pelágicas. Terrígenas profundas. Depresiones oceánicas profundas.</p>
MIXTOS O TRANSICION						
MARINOS	<p>Litorales</p> <p>Intermareales. Estuarios. Lagoon. Mares epicontinentales.</p> <p>Batiálicos (Sub) Neríticos</p> <p>Batiálicos.</p> <p>Abisales: Pelágicos. Terrígenos.</p>	<p>Neríticos.</p> <p>Batiálicos.</p> <p>Abisales.</p>	<p>Costeros Mareales</p> <p>Neríticos.</p> <p>Batiálicos.</p> <p>Abisales.</p>	<p>Arrecifales.</p> <p>Plataforma.</p> <p>Turbiditas.</p>	<p>Neríticos</p> <p>Arrecifales. Litorales. Evaporítico. Plataforma.</p> <p>Carbonatado. Terrígeno. Euxínico. Turbidítico. Pelágico. Terrígenos.</p>	<p>Neríticos</p> <p>Arrecifes. Bancos. Evaporítico. Plataforma gradada. Plataforma carbonatada. Cuenca.</p> <p>Talud y cañón. Abanicos submarinos. Cuenca oceánicas profundas. Pelágicas. Terrígenas profundas. Depresiones oceánicas profundas.</p>

