

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL AREA PLAYA DEL CARMEN,
ESTADO DE QUINTANA ROO.”**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O G E O L O G O
P R E S E N T A
MIGUEL FRANCISCO DURON PEREZ

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE INGENIERIA
Dirección
60-I-122



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

Señor DURON PEREZ MIGUEL FRANCISCO.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Juan Manuel Lesser Illades, para que lo desarrolle como tesis -- para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOLOGO.

"ESTUDIO GEOHIDROLOGICO DEL AREA PLAYA DEL CARMEN, ESTADO DE QUINTANA ROO"

- I GENERALIDADES.
 - II GEOGRAFIA.
 - III FISIOGRAFIA.
 - IV GEOLOGIA.
 - V HIDROLOGIA SUPERFICIAL.
 - VI HIDROLOGIA SUBTERRANEA.
 - VII HIDROGEOQUIMICA.
 - VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como - - requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así - como de la disposición de la Coordinación de la Administración - Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., 29 de septiembre de 1982.

EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espriú.

JJE' MRV!gtg

I N D I C E

R E S U M E N

PAGINA

CAPITULO	I.	<u>GENERALIDADES</u>	3
	I.1	Antecedentes	3
	I.2	Introducción	4
	I.3	Objetivos	6
	I.4	Aspectos Legales	7
CAPITULO	II.	<u>GEOGRAFIA</u>	9
	II.1	Localización	9
	II.2	Comunicaciones	9
CAPITULO	III.	<u>FISIOGRAFIA</u>	11
	III.1	Provincia Fisiográfica	11
	III.2	Geomorfología	11
	III.2.1	Aparato Kárstico	12
	III.2.2	Clasificación y descripción del Aparato Kárstico	12
	III.2.2.1	Descripción superficial	13
	III.2.2.2	Descripción subterránea	13
CAPITULO	IV.	<u>GEOLOGIA</u>	16
	IV.1	Estratigrafía	17
	IV.2	Geología Estructural	28
CAPITULO	V.	<u>HIDROLOGIA</u>	
	V.	Hidrología Superficial	31
	V.1	Climatología	31
	V.1.a)	Precipitación pluvial	32
	V.1.b)	Temperatura	33
	V.1.c)	Evaporación potencial	33
	V.1.d)	Evapotranspiración real	34
	V.1.2	Balance Hidrológico	35
	V.1.2.a)	Recarga	35
	V.1.2.b)	Extracción	36
	V.1.2.c)	Volúmen de Agua Explotable	36
CAPITULO	VI.	<u>HIDROLOGIA SUBTERRANEA</u>	38
	VI.1	Obras de exploración	38
	VI.1.1	Barrenos exploratorios	38
	VI.1.2	Pozo exploratorio	39
	VI.1.3	Diseño y construcción	39
	VI.1.4	Equipo y método de perforación	40
	VI.2	Características del acuífero	41
	VI.2.a)	Piezometría	44
	VI.2.b)	Profundidad al nivel estático	46
	VI.2.c)	Elevación del nivel estático	46
	VI.2.d)	Dirección del flujo subterráneo	47

	VI.3.	Aforo	48
	VI.3.1	Objetivos	48
	VI.3.2	Equipo	49
	VI.3.3	Método	50
CAPITULO	VII.	<u>HIDROGEOQUIMICA</u>	
	VII.1	Características físico-químicas del agua.	52
	VII.1.1	Familias de agua	52
	VII.1.2	Perfil de conductividad eléctrica	53
	VIII.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	56
		<u>BIBLIOGRAFIA</u>	

INDICE DE FIGURAS

Figura No.

- II.1 Plano de localización general
- II.2 Localización de la zona de estudio.
- III.1 Provincia Fisiográfica
- III.2.2 Corte en planta de una caverna.
- IV. Geología de la península de Yucatán.
- IV.2 Tabla de correlación estratigráfica
- IV.3 Sección Geológica Xcaret
- IV.4 Tectónica de la península de Yucatán
- V.1 Localización de estaciones climatológicas
- V.a Relación precipitación - variaciones del nivel estático.
- V.c Area de polígono correspondiente dentro de los límites de la zona de estudio.
- VI.1.a,b,c,d. Gráficas de barrenos exploratorios.
- VI.1.3 Características generales del pozo de observación.
- VI.2.a Hidrógrafos de pozos y cenotes de observación.
- VI.2.d Localización topográfica de barrenos pozos y cenotes de observación.
- VI.3.3 Gráfica del aforo
- VI.3.3' Gráfica de cloruros-STD y tabla comparativa de calidad del agua.
- VII.1.1. Diagrama de Piper.
- VII.1.2 Sección C.E. STD Playa del Carmen-Vicente Guerrero.
- VII.1.3 Sección Xcaret

R E S U M E N

La zona de estudio está localizada en la parte --
oriental de la Península de Yucatán, cercana a la costa Es
te del estado de Quintana Roo. El objetivo general de este
trabajo fué localizar una zona de captación de agua de bue-
na calidad para abastecer al proyecto denominado Central --
Termoeléctrica Xcaret, que en su primera etapa utilizará 42
l/s de agua de buena calidad para operar 2 unidades de 84 -
MW cada una, de donde se pretende tener una capacidad insta-
lada de 168 MW.

De acuerdo a las características Geohidrológicas
de la Península de Yucatán se propuso la alternativa "km --
5 + 000" mediante la cual se logró determinar una zona de -
captación donde por medio de una batería de 6 pozos se po--
drán extraer 48 l/s de agua sódico clorurada con parámetros
físico-químicos dentro del límite permisible para uso indus-
trial.

GENERALIDADES

I. GENERALIDADES

I.1 Antecedentes.

La Comisión Federal de Electricidad pretende construir una Central Termoeléctrica en el estado de Quintana Roo, mediante la Coordinadora Ejecutiva Campeche-Yucatán-Quintana Roo, la cual solicitó a la Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos el estudio geohidrológico correspondiente, por medio de la Subjefatura de Geología para plantas termoeléctricas.

El estudio preliminar se inició con el análisis depurativo de información geohidrológica previamente recopilada en las diferentes dependencias gubernamentales avocadas a estudios y proyectos geohidrológicos en el estado de Quintana Roo. (Inf. Geohidrológica del área playa del Carmen Q. Roo SARH 1981. Estudio de fuentes de abastecimiento para agua potable Chetumal, Q. Roo, Estudios y Proyectos, S. A. SAHOP, 1979. Estudio de las fuentes de abastecimiento para agua potable Cozumel, Q. Roo. Estudios y Proyectos, S. A. SAHOP, 1979. Estudio Hidrogeológico e Hidrogeoquímico de la península de Yucatán SARH 1976).

Dicha información menciona en forma general las características geohidrológicas de la península de Yucatán y en particular, las precauciones que deberán tomarse para extraer agua en las costas del estado de Quintana Roo, ha--

ciendo hincapié en el fenómeno de la intrusión salina.

Posteriormente se procedió a verificar la información realizando un recorrido de campo a nivel regional en donde se realizó un censo de aprovechamientos en lugares accesibles, cercanos al área de estudio.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el censo de aprovechamientos, se propuso perforar una serie de barrenos exploratorios y un pozo de observación. Estas perforaciones se realizaron para determinar directamente la posición de la interfase salina y cuantificar el caudal máximo de extracción sin alterar el equilibrio hidrodinámico del acuífero.

I.2 INTRODUCCION

El propósito del presente estudio es definir una zona de captación que satisfaga las necesidades de consumo de agua del Proyecto Central Termoeléctrico Xcaret, que en su etapa de operación será de 42 l/s ($151.2 \text{ m}^3/\text{hora}$) de agua de buena calidad para uso industrial.

Para lograr lo anterior se recomendó la alternativa denominada Km 5 + 000 que consistió en lo siguiente:

Construcción de un camino de acceso con dirección perpendicular a la línea de costa, con origen en el km 285 de la carretera federal No. 307 Chetumal-Cancún, precisamente donde entroncará el acceso principal de la Central Termoeléctrica Xcaret, con una longitud inicial de 5 km. Posteriormente se efectuó la perforación de 4 barrenos exploratorios localizados en los kms 0+700 2+100, 3+600 y 5+000 con diámetro NQ (3 1/2") y recuperación de muestra, a una profundidad de 30 m en los cuales utilizando un conductivímetro portátil dotado de 50 m de cable, se pudieran tomar lecturas de la conductividad eléctrica, para conocer el espesor de agua dulce.

Para este caso como los resultados fueron alentadores, se planteó la necesidad de perforar un pozo de observación para realizar pruebas y aforo, asimismo para conocer la calidad físico-química del agua después de cierto tiempo de bombeo.

Paralelamente a esta alternativa se realizaron -- las siguientes actividades:

- *). Recopilación, análisis y procesamiento de la información de 5 estaciones climatológicas -- ubicadas en el área.

- *) . Censo local y regional de aprovechamientos.
- *) . Nivelación topográfica de la red de observación y de algunas cavernas.
- *) . Control piezométrico 3 veces por semana de 7 aprovechamientos durante un año hidrológico - con el fin de conocer las fluctuaciones del nivel freático y su respuesta a las variaciones de la precipitación.

I.3 OBJETIVOS

Los propósitos del presente trabajo se mencionan a continuación.

- * Definir una zona de captación para obtener -- un caudal de extracción de 42 l/s, lo cual podría ser por medio de uno o varios pozos.
- * Determinar el caudal de extracción óptimo por pozo.
- * Elaborar un programa de mantenimiento de los pozos que incluyera piezometría así como realización de análisis físico-químicos del agua durante la etapa de operación de la Central - Termoeléctrica Xcaret, considerando una vida útil de 35 años.

I.4 ASPECTOS LEGALES

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos por medio de la Dirección General de Aprovechamientos - Hidráulicos, ha decretado zona de veda al Municipio de Cozumel, Q.Roo, zona dentro de la cual se ubica el proyecto, el motivo de la veda es llevar un registro de los nuevos alumbramientos para evitar la invasión del agua salada. Por lo que existe la necesidad de tramitar el permiso correspondiente para perforación de pozos y extracción de agua mediante el cumplimiento de los requisitos que impone dicha Secretaría.

Estos requisitos se refieren principalmente a la justificación de un nuevo alumbramiento y el uso al que se destinará el caudal extraído.

Además de los datos complementarios como son: nombre de la compañía perforadora, tipo de equipo de perforación, localización y límites, título de propiedad o permiso ejidal del predio donde se perfora, datos constructivos del pozo terminado, caudal de extracción, gráfica de aforo, corte litológico, etc.

G E O G R A F I A

II. GEOGRAFIA

II.1 Localización

El proyecto Central Termoeléctrico Xcaret se encuentra ubicado en el estado de Quintana Roo, municipio de Cozumel a 4 km al sur del poblado Playa del Carmen y a 73 - km al sur de la ciudad Can Cún.

Las coordenadas geográficas del proyecto son aproximadamente 20°36' de latitud norte y 87°05' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich (Fig. II.1).

La zona de estudio esta delimitada por la línea - de costa, 20 km al norte, 20 km al sur y 40 km al oeste del sitio del proyecto y comprende una área de 1 650 km² aproximadamente (Fig. II.2).

II.2 COMUNICACIONES

La zona de estudio se localiza en el estado de -- Quintana Roo, donde se ubica el poblado Playa del Carmen, - Municipio de Cozumel y se encuentra comunicado por la carretera federal No. 307 que une a las ciudades de Cancún-Felipe Carrillo Puerto-Chetumal.

Dicha vía entronca en su extremo norte con la carretera federal No. 180 que une a las ciudades de Mérida- -

Valladolid-Cancún, en la parte central se enlaza con la carretera federal No. 64 que une a las ciudades de Mérida-Felipe Carrillo Puerto y en la parte sur se conecta con la carretera federal No. 186, que comunica a las ciudades de Escárcega y Chetumal.

Por vía aérea se llega al poblado de Playa del Carmen, el cual cuenta con una pequeña pista pavimentada capaz de recibir únicamente avionetas y aeronaves pequeñas, sin embargo, se puede decir que ese medio de comunicación es bastante aceptable ya que existen vuelos regulares que parten de las ciudades de Cancún o Cozumel hacia Playa del Carmen. El tiempo de vuelo de Cozumel-Playa del Carmen es de 7 minutos mientras que de Cancún vía Cozumel se estima en 30 minutos. Tanto Cozumel como Cancún cuentan con aeropuerto internacional.

Por vía marítima existe un servicio de transbordadores que hacen salidas diarias Cozumel-Playa del Carmen, con tiempo de recorrido de una hora aproximadamente.

Por vía telefónica existe en el poblado una caseta de Teléfonos de México con servicio deficiente. No existe comunicación ferroviaria. La estación más cercana se encuentra a 230 km, en la Cd. de Valladolid; tampoco se cuenta con oficina de Correos ni de Telégrafos.

FISIOGRAFIA

III. FISIOGRAFIA

III.1 PROVINCIA FISIOGRAFICA

El área de estudio se localiza en la región sureste del territorio nacional, parte nororiental del estado de Quintana Roo, en la clasificación de provincias fisiográficas establecida por Raisz con adaptaciones de E. Aguilera - 1976 queda dentro de la provincia fisiográfica de la península de Yucatán, cerca de el límite marcado por la subprovincia de la planicie kárstica y costa baja (Fig. III.1).

III.2 GEOMORFOLOGIA

La península de Yucatán es una plataforma constituida principalmente por rocas calcáreas, cuyo rasgo distintivo es una topografía plana con pequeñas elevaciones sobre el nivel del mar y pendientes descendentes hacia la costa. Las elevaciones máximas corresponden a la Sierrita de Ticul, situada en la porción noroeste, con una altitud de 100 a 150 msnm y la colina de San Felipe con 400 msnm localizada al sur, cerca de los límites con Guatemala.

En el área de estudio se observó la existencia de la pendiente descendente hacia la costa con alturas de 12 msnm a una distancia de 8 km del mar y de 1 a 2 msnm en las proximidades de la playa, presentando pequeños desniveles entre estos puntos, originados por hundimientos relacionados con sumideros y dolinas cuya abundancia es otra caracte

rística de la península.

III.2.1 Aparato Kárstico

Dentro del marco geológico de la península se con juntan 3 elementos que forman lo que se conoce como un "Apa rato Kárstico Viviente" (Llopis Llado, 1970).

- a) Rocas carbonatadas fracturadas.
- b) Abundante precipitación pluvial, originando -- que gran cantidad de agua circule a través de las rocas realizando trabajo de disolución y - erosión.
- c) Nivel de base kárstico muy profundo con respeg to a la superficie del terreno natural.

Este aparato involucra aspectos interesantes res- pecto a la geohidrología de la región, induciéndose que el agua meteórica se infiltra rápidamente recargando el acufe ro a través de fracturas, dolinas y sumideros.

III.2.2 Clasificación y Descripción del Aparato Kárstico.

De acuerdo a la clasificación de Cvijic (Llopis - Llado, 1970) podemos decir que existe un aparato kárstico - completo, que gradualmente se transforma en un Merokarst -- costero, a medida que se acerca a la línea de costa. El tí- po del Karso es conforme, pues de manera general la tenden- cia del buzamiento de las capas es en dirección hacia el --

mar (Llopis Llado, 1970).

III.2.2.1 Descripción Superficial

Dentro de la zona de estudio se pueden describir las características del paisaje kárstico como sigue:

- a) Ausencia total de circulación superficial
- b) Campos de lapiaz bien desarrollados.
- c) Abundantes dolinas, simas y sumideros de dimensiones variables.
- d) Espesor pequeño e irregular de suelo 10 a 20 cms y en forma de manchones, generalmente relleno de huecos.

III.2.2.2 Descripción Subterránea

Las formas subterráneas observadas en las cavernas se pueden clasificar en 3 tipos:

- a) Formas de Erosión.- Por lo general han sido borradas, debido a que son las primeras en desarrollarse aunque se observaron de tipo circular, lenticular y estrellado.
- b) Formas Clásticas.- En las formas clásticas se pueden distinguir: conos de bloques, caos de bloques y hemiconos.

c) Formas de Reconstrucción.- Se pueden dividir - de acuerdo a la posición que guarden dentro de la caverna en:

- 1) Zenitales.- Se encuentran en el techo de la caverna y son: estalactitas, columnas y cortinas estalactíticas, cabe hacer notar que algunas columnas se desarrollaron sobre la raíz de las plantas freatofitas.
- 2) Parietales.- Localizadas en las paredes de las cavernas, las cortezas parietales que se encontraron fueron de tipo liso, botroidal y mamelonar.
- 3) Pavimentarias.- Ubicadas sobre el piso y -- son los estalagmitas, coladas estalagmíticas, Gours con perlas de las cavernas y macizos. (Fig. III.2.2 Corte en planta de una caverna).

Por lo anterior y de acuerdo al estado evolutivo superficial del Karst se puede concluir que se encuentra en estado de madurez dentro del ciclo Geomorfológico Kárstico a diferencia de la Evolución Subterránea que está comenzando su período de Senilidad.

G E O L O G I A

IV. GEOLOGIA

La plataforma de Yucatán es una región constituida por rocas de origen marino, la cual ha estado bajo subsidencia lenta, pero continuamente, permitiendo el depósito de más de 3000 m de sedimentos hacia la parte oeste y de 1500 aproximadamente sobre la porción noreste. (Yucatán field trip guide book 2a. edición New Orleans Geological Society, 1967).

Cubierta por rocas calcáreas del Terciario y Cuaternario.

El Cuaternario aflora hacia las zonas costeras y corresponde a depósitos calcáreos que han sido expuestos después de una ligera emersión de la península.

Los sedimentos Terciarios, se encuentran practicamente en posición horizontal ó 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 varios centenares de metros. (Lesser Illades J.M. Conacyt - NSF 704 - SARH, 1976).

En el área de estudio dentro del predio del sitio Xcaret, se perforó un barreno a 141 m de profundidad con --

diámetro NQ (3 1/2") y recuperación de núcleo y no se encontraron las margas mencionadas anteriormente (C.F.E. 1982 G. Avila y M. Durón). (Fig. IV Geología de la península de Yucatán).

IV.1 ESTRATIGRAFIA

A continuación se hace una descripción de las formaciones que afloran en la península de Yucatán según Butterlin y Bonet 1960, (J.M. Lesser Conacyt- NSF 704 SARH, -- 1976*) (Tabla de correlación estratigráfica Fig. IV.2).

Paleoceno (?) Eoceno

Paleoceno (?) Eoceno no diferenciado

Comprende un conjunto de rocas que no contienen fósiles determinables, sin embargo por relaciones estratigráficas con la Formación Chichen-Itzá, indican que son de la misma edad ó más antiguas, o sea Paleoceno. Son calizas compactas de micro a macrocristalinas, color amarillo a blanco, están generalmente dolomitizadas, silicificadas ó simplemente recristalizadas, lo que explica que los fósiles estén ausentes o indeterminables. Su relación estratigráfica con las formaciones Icaiche y Chichen-Itzá, indican que por lo menos parte de las calizas en cuestión son de la misma edad que las formaciones Icaiche y Chichen-Itzá y representan una fase lateral de ellas.

En el pozo Corinto No. 1 de Petróleos Mexicanos, localizado en la región de Palizada, estado de Campeche, se encontró bajo las calizas con microfauna del Eoceno, unas calizas cristalinas poco dolomitizadas, sin microfauna que representa quizá el equivalente de estas calizas no diferenciadas. (*).

Eoceno Inferior

Formación Icaiche - (Ei)

Está formada por rocas calizas de origen lacustre, con yeso y anhídrita. Las calizas se encuentran frecuentemente dolomitizadas o silicificadas y solo la presencia de yeso las distingue de las rocas del Eoceno-Paleoceno descritas anteriormente.

Esta formación ha sido encontrada en el centro de la región meridional, desde 20 km al norte de Soh-Laguna -- hasta 30 km al sur de Xpujil; pero, hacia el norte, debe extenderse por lo menos hasta Chumul en donde existen importantes yacimientos de yeso. Hacia el sur, forma una gran parte de la cuenca septentrional de la provincia de Petén (Lloyd y Dengo, 1960). Sobre la carretera Chetumal-Xpujil--Escárcega, su límite oriental corresponde exactamente a las fronteras entre los estados de Campeche y Quintana Roo (km 95). Su límite Occidental al oeste Xpujil, no se ha precisado. (*) Se desconoce su espesor.

Eoceno

Formación Chichen-Itzá

Se trata de calizas fosilíferas que presentan ligeras variaciones litológicas las que han permitido dividir las en tres miembros:

Miembro Xbacal (Ex).- Representada por calizas de color amarillo, blanco y gris, se presenta en capas de espesor delgado a mediano, a veces masivas, pudiendo pasar a verdaderas margas amarillas o incluso a lutitas verdosas. - Estas rocas forman pliegues, con echados que alcanzan 20° ó más en oposición a los otros miembros de la formación.

El miembro Xbacal, forma un grupo de afloramientos al norte y probablemente al oeste de Escárcega, Campeche. La localidad tipo corresponde a los afloramientos del km 28.5 de la carretera Champotón-Escárcega en donde la microfauna es rica y típica. Su espesor debe llegar a varios cientos de metros. (*)

Miembro Piste (Ep).- Representado por calizas blancas ó amarillentas, a veces masivas, los echados son nulos o muy débiles (5° a 10°) y de orientación variable, excepto en el estado de Campeche en donde las calizas están plegadas en anticlinales, dispuestos regularmente, cuyos ejes tienen una dirección dominante NNW-SSE. Constituye

una gran parte de la región central y centro-occidental de la península. Su espesor como el de otros miembros y formaciones, es difícil de precisar, debido a la monotonía de las calizas y a la discontinuidad de los afloramientos. Sin embargo, considerando la extensión de los afloramientos, el espesor debe llegar a varios cientos de metros. La localidad-tipo, es la misma que para la formación Chichen-Itzá y se encuentra en el km 112.8 de la carretera Mérida-Puerto Juárez, al Oeste del poblado Pisté. (*)

Miembro Chumbec (Ech).- Representada por calizas masivas, blancas y cristalinas, con aspecto de mármoles sacaroides, han sido encontradas únicamente en la región del poblado Libre Unión sobre el km 81.7 a 87.9 de la carretera Mérida-Puerto Juárez, su espesor no debe pasar de 100 m (*).

Mioceno Superior.- Plioceno

Formación Bacalar (Mb)

Corresponde a calizas margosas, blancas y amarillentas, poco compactas. Hacia las partes inferiores pasan a margas donde en ocasiones, se encuentran finas capas de yeso.

Esta formación aflora en la parte SE del estado de Quintana Roo, formando yacimientos discontinuos, en particular sobre la carretera Chetumal-Bacalar-Carrillo Puerto,

hasta el km 60 y hasta la región de Sacxan hacia el oeste.

La localidad tipo se localiza sobre el km 41 de la carretera Chetumal-Carrillo Puerto, al norte de Bacalar y se desconoce su espesor (*).

Formación Estero Franco (Mef).-

Constituída por calizas y dolomitas amarillentas, cristalinas, en capas regulares, a menudo delgadas de 5 a 10 cm de espesor con nódulos de calcita, de textura sacaroíde. En el km 21 de la carretera Chetumal-Xpujil, se encuentran intensamente plegadas, con un echado máximo de 67°.

Estas calizas forman la mayor parte de la orilla izquierda del Río Hondo y afloran sobre la carretera Chetumal-Escárcega, entre los kms 20.5 y 40.

La Formación Estero Franco parece cubrir a la Formación Bacalar y su edad debería estar comprendida entre el Mioceno Superior y el Pleistoceno. Probablemente sea un equivalente lateral, de toda o parte de la Formación Carrillo Puerto. Sin embargo, hay que hacer notar que las calizas -- que se encuentran en su prolongación estructural, en Belice pertenecen al Eoceno. Su espesor debe de ser de alrededor de 100 m. (*).

Formación Carrillo Puerto (Pcp)

Los niveles inferiores están representados por coquinas de alrededor de un metro de espesor, cubiertas por calizas compactas, ricas en peneroplidae. Pasan más arriba a calizas cada vez más impuras, a veces arcillosas, de color amarillento a rojizo. Los niveles superiores de la Formación, están representados por calizas blancas, compactas, masivas, los echados observados son débiles, a veces nulos y generalmente orientados hacia el NNE. La localidad tipo corresponde al km 112 de la carretera Peto-Carrillo Puerto. (*) .

Varios pozos perforados por Petróleos Mexicanos - (L.Ramos, 1979) en el norte de Yucatán han atravesado esta Formación, siendo el máximo espesor encontrado a 240 m en el pozo Sacapul No. 1, pero como esta Formación aflora, el espesor debe ser mayor.

Superficialmente y dentro del área de estudio es esta la Formación más ampliamente distribuida y está representada por una caliza de color blanco a crema que intemperiza en tonos grisáceos, de textura microcristalina, compacta con estratos masivos y con interestratificaciones de arenas calcáreas y horizontes con abundantes fósiles, llegando en ocasiones a formar verdaderas coquinas, en algunas partes presenta residuos arcillosos de color rojo como producto del fenómeno de disolución que ataca a la roca.

Los estratos están dispuestos horizontalmente y -
presentan un intenso fracturamiento.

Dentro de los fósiles reconocidos en estudios paleontológicos de rocas de esta Formación se pueden mencionar las siguientes especies: *Archais Angulatus*, *Archais* sp., *Gypsina* sp., *Lythophyllum*, *Lythoporella*, *Sorites* sp.

La presencia del Género *Archais* es lo que determina la edad de Plioceno Superior, pues se le considera como fósil índice de la Formación. (Bonet -Butterlin, 1960).

Además rocas de esta formación fueron analizadas petrográficamente por el Laboratorio de Geoquímica y Petrografía de C.F.E., el cual las clasifica como Biomicritas, presentando como Ortoquímicos calcita micrítica con calcita espática en poca cantidad teniendo como Aloquímicos, abundantes fósiles y como minerales Accesorios algunas muestras presentaron arcillas y anhidrita.

Se desconoce el espesor real de la Formación dentro de la zona de Estudio pero se sabe que en el Barreno Exploratorio No. 1 a 140 m de profundidad está reportada una Edad del Mioceno Medio a Superior (probablemente la Formación Bacalar)?, por lo que debe de tener un espesor menor de 140 m aunque a juicio del Analista (Fco. Palomino 1982,) esta Edad -

debe de tomarse con cierta reserva.

El medio ambiente de depósito de estas rocas fue marino de circulación abierta dentro del dominio sublitoral poco profundo, dentro de la zona alumbrada por el sol con intervenciones ocasionales de estados de mayor energía como lo sugieren las intercalaciones de partículas arenosas.

Pleistoceno - Holoceno

Caliza de Moluscos (Q)

Comprende calizas coquiníferas, masivas de color blanco a crema que deben formar una banda de afloramientos, más o menos amplia, a lo largo de las costas norte y oeste de la península, interrumpida solamente al norte y sur de Campeche, en donde las Formaciones del Eoceno se extienden hasta el mar.

Es probable que las calizas consolidadas pertenecan al Pleistoceno, pudiendo ser del Holoceno los niveles mas elevados. (*).

Esta Formación abarca, dentro de el área de estudio, una serie de coquinas, calciruditas y calcarenitas de color crema que intemperiza a gris verdoso, de textura clásica, mal clasificada con partículas del tamaño de la arena gruesa con una matriz de arena muy fina, los Aloquímicos --

consisten de Oolitos y restos desgastados y rotos de conchas de moluscos, gasterópodos, corales, ostrácodos; las rocas son deleznable, las partículas están unidas sólo por compactación, en estratos masivos y como rasgo distintivo presentan estratificación cruzada.

El medio ambiente de depósito de estos sedimentos fue Eólico-Costero y de playa (Ward -Wilson, 1974) en el que las corrientes litorales, la acción del oleaje, las mareas y sobre todo el viento jugaron un papel muy importante (Aguayo-Bello-Araujo-UNAM, 1978). Otro factor importante fueron los eventos eustáticos que ocurrieron en las costas de Quintana Roo a fines del Pleistoceno y principio del Holoceno los cuales determinaron la extensión, tierra adentro de estos sedimentos.

También se presentan localmente cuerpos de caliza arrecifal formada por organismos bien conservados, aglutinados, formando una trabazón muy compacta.

Los niveles superiores, o sea los más recientes están representados por sedimentos de playa, constituidos por arenas calcáreas finas, sueltas, de color blanco a crema, moderadas a bien clasificadas, constituidas por oolitas, fragmentos de conchas y bioclastos de corales.

El espesor de estos sedimentos no alcanza más de 25 m o tal vez 30 m en la costa acuniándose hasta desaparecer a 2 km de ésta, tierra adentro.

Análisis Paleontológicos de rocas de esta Formación revelan la presencia de distintos géneros de gasterópodos tales como *Coronia*, *Turritela* sp., *Ostrea* sp., *Cardium*; Pelecípodos, algas coralinas, (género *Halimeda*), entre los corales que constituyen la caliza arrecifal se tienen las siguientes especies: *Manicina aerolata*, *Porites porites*, *Montastrea cavernosa*, *Diploria labyrinthiformis*. (Aguayo, Bello, Araujo, UNAM, 1978).

Por otro lado y con apoyo de barrenos exploratorios se elaboró una sección geológica en la cual se puede apreciar la distribución de las formaciones y ligeros cambios de facies. (Ver sección geológica Xcaret Fig. IV.3).

A continuación se hace una descripción general de los barrenos cerca a la línea de costa (500 m) en los cuales existe la siguiente litología:

De 0 a 2 m se encuentra una capa de caliza compacta de color crema a blanco cremoso con vetillas de sílice color pardo.

De 2 a 20 m se presentó una alternancia de calizas con vetillas de sílice con grado de karstificación variable y calizas arenosas. Las calizas arenosas son de grano medio, color cremoso y con abundantes fragmentos de conchas, esporádicamente aparece una capa de arcilla color blanco no mayor de 5 cm de espesor.

De los 20 a los 30 m se encontró una caliza kárstica con oquedades que varían en dimensión de pequeñas fisuras a aberturas de 5 o 6 cm de longitud, el interior tiene tonalidades amarillentas y ocasionalmente rojizas.

Cabe hacer notar que de los 2 a los 30 m varía el contenido faunístico llegando en ocasiones a constituir coquinas.

A partir de los 1 800 m de la costa se tienen 5 barrenos con la siguiente litología:

De 0 a 2 m se presenta una caliza compacta de color crema a blanco cremoso con vetillas de sílice color pardo.

De 2 a 20 m se presenta una variación de caliza blanco kárstico con tonalidades amarillentas y rojizas apareciendo algunas veces aragonita rellenando parcialmente --

las oquedades, aparecen también pequeños horizontes de arena interestratificados con variable contenido de fósiles.

De 20 a 30 m se perforó un horizonte de caliza dolomítica color blanco con abundante micro y macro fauna y - karsticidad media.

IV.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Recientes investigaciones realizadas por la New Orleans Geological Society, 1967 han encontrado 3 zonas -- principales de fracturas dentro de la Península de Yucatán.

1) Zona de Río Hondo.

Con una orientación preferencial NE-SW y caracterizada por una serie de fallas normales que se prolongan sobre la costa oriental de la Península.

2) Sierra de Ticul.

Con una dirección NW-SE consiste de una sola falla normal.

3) Fracturas Holbox.

Presentan una tendencia casi norte-sur y aún no se establece si realmente son fracturas o fallas.

Dentro del área de estudio se observan dos siste-

mas de fracturas uno paralelo a la falla de Ticul y con la cual probablemente no se encuentre relacionado debido a -- que la falla de Ticul está perfectamente delimitada y el -- otro sistema paralelo al Río Hondo. Localmente se aprecia el reflejo de estos dos sistemas en la Caleta de Xcaret. - (ver plano IV.4 Tectónica de la península de Yucatán).

H I D R O L O G I A

V. HIDROLOGIA SUPERFICIAL

Dentro de la zona de estudio no existen corrientes superficiales, debido a la baja topografía y a la kársticidad del terreno, por lo que únicamente se mencionan los siguientes parámetros.

VI.1 CLIMATOLOGIA

Las características hidrológicas de una región están determinadas por su estructura geológica, geografía y en forma dominante por el clima que prevalece.

Entre los factores climatológicos que afectan las características hidrológicas de una región están: la cantidad y distribución de la precipitación pluvial, la temperatura, la evapotranspiración y los efectos de los vientos.

En la península de Yucatán prevalece un alto rango de precipitación, promedio de 1100 mm anuales, una temperatura promedio de 26°C y una evaporación potencial de 1700 mm

Para evaluar las condiciones climáticas que prevalecen en la zona de estudio, su distribución a través del tiempo y el rango de sus variaciones se recopilaron datos de precipitación pluvial, temperatura y evaporación potencial de 5 estaciones climatológicas situadas dentro y cerca del área de estudio. El período estudiado fué de 15 años. Dichas

estaciones climatológicas están localizadas en las siguientes poblaciones del estado de Quintana Roo: Victoria, Leona Vicario, Puerto Morelos, Nuevo Xcan y Cozumel, de donde se analizaron los datos existentes (ver plano V.1; Localización de Estaciones Climatológicas).

a) PRECIPITACION PLUVIAL

Para realizar el análisis de volúmenes de precipitación pluvial, primero se calculó la precipitación media anual utilizando el método de Thiessen de donde resultó una media anual de 1226.65 mm, los cuales multiplicados por -- 1650 km^2 que se consideran como superficie de la zona de estudio arrojan un volumen precipitado de $2023.97 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$

PRECIPITACION ANUAL PROMEDIO EN EL AREA DE ESTUDIO

AREA DE ESTUDIO = 1650 km^2

ESTACION	AREA DE INFLUENCIA (km^2)	%	PREC.MEDIA ANUAL (mm)	COL.3X COL.4
LEONA VICARIO	233.139	14.13	1174.37	165.93
PUERTO MORELOS	153.784	9.32	1120.78	104.45
COZUMEL	138.699	8.40	1516.87	127.42
VICTORIA	1116.870	67.69	1217.27	823.97
NUEVO XCAN	7.409	0.45	1085.44	4.88
PRECIPITACION PLUVIAL ANUAL PROMEDIO EN EL AREA DE ESTUDIO =				1226.65 mm

(Ver Fig. V-a- Relación precipitación variaciones del nivel estático).

b) TEMPERATURA

La temperatura dentro de la zona es en general homogénea, sin grandes variaciones durante el año, aunque se puede apreciar que los meses de Abril a Octubre se consideran como los de mayor temperatura, de los registros analizados se obtuvo un promedio anual de 24.28°C.

Para determinar la temperatura y la evaporación, se utilizó el mismo método. (Custodio Llamas página 303, capítulo 2.6 tomo I).

TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN EL AREA DE ESTUDIO

ESTACION	AREA DE INFLUENCIA (km ²)	%	TEM. MEDIA ANUAL (°C)	COL.3 x COL.4
LEONA VICARIO	233.139	14.13	23.73	3.35
PUERTO MORELOS	153.784	9.32	26.97	2.51
COZUMEL	138.699	8.40	25.54	2.14
VICTORIA	1116.870	67.69	23.88	16.16
NUEVO XCAN	7.409	0.45	26.39	<u>0.12</u>
TEMPERATURA MEDIA ANUAL EN EL AREA DE ESTUDIO =				24.28°C

c) EVAPORACION POTENCIAL

La evaporación potencial está relacionada con la temperatura, se pudo observar ya que en los meses con mayor temperatura existe una mayor evaporación, esto es de abril a Octubre.

EVAPORACION ANUAL PROMEDIO EN EL AREA DE ESTUDIO

ESTACION	AREA DE INFLUENCIA* (km ²)	%	EVAPORACION ANUAL (mm)	COL.3 x COL. 4
LEONA VICARIO	233.319	14.13	1548.75	218.84
PUERTO MORELOS	153.784	9.32	1799.28	167.69
COZUMEL	138.699	8.40	1799.63	151.17
VICTORIA	1116.870	67.69	1382.04	935.50
NUEVO XCAN	7.409	0.45	1614.71	<u>7.27</u>
EVAPORACION MEDIA ANUAL EN EL AREA DE ESTUDIO =				1480.47 mm

* AREA DEL POLIGONO CORRESPONDIENTE DENTRO DE LOS LIMITES DE EL AREA DE ESTUDIO (Ver. Fig. V-C)

d) EVAPOTRANSPIRACION REAL

La evapotranspiración real se calcula por la fórmula de L Turc (Custodio Llamas Tomo I, 1976).

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + p^2/L^2}}$$

P = Precipitación media anual = 1226.65 mm.

L = $300 + 25T + 0.05 T^3$

T = Temperatura media anual = 24.28°C

Aplicando la fórmula resulta

$E_r = 1011.253$ mm.

Tomando en cuenta datos experimentales y de campo

respecto a la rápida infiltración que prevalece debido a la alta permeabilidad de la roca se toma el 80% de esta cifra (Lesser Illades, 1981).

$$E_r = 0.80 \times 1011.25 \text{ mm} = 809 \text{ mm}$$

$$\text{Evapotranspiración real} = 809 \text{ mm}$$

V.1.2 BALANCE HIDROLOGICO

Para obtener el balance hidrológico en la zona de estudio unicamente se consideró, la cantidad de agua que se infiltra directamente al subsuelo proveniente de la precipitación pluvial, menos la evapotranspiración real y la cantidad de agua extraída por 5000 habitantes distribuidos en esta área, ya que no existen corrientes superficiales, ríos, arroyos que aporten determinado caudal a estimar.

a) Recarga

La recarga del acuífero está dada por la siguiente fórmula:

$$VI = (P - E_r) A$$

$$VI = \text{Volúmen infiltrado}$$

$$P = \text{Precipitación}$$

$$E_r = \text{Evapotranspiración real}$$

$$A = \text{Area}$$

$$VI = (1.2265 \text{ m} - 0.809 \text{ m}) 1650 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$VI = 689.12 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{año}$$

b) Extracción

Considerando la baja densidad de población existente en el área, y donde el uso del agua subterránea para zonas de cultivo, industrias y ganadería, actualmente es mínimo, se tomó la siguiente relación para calcular el volumen de agua extraído anualmente.

VE = 5000 habitantes x 300 l/habitante/día x 365 días da como resultado un volumen extraído - de:

$$\text{Volumen extraído} = 0.5475 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año.}$$

c) Volúmen de Agua Explotable

De lo anterior se obtiene que:

$$\begin{aligned} \text{Volúmen de agua explotable} &= \text{Volúmen infiltrado} - \text{Extracción.} \\ &= (689.12 - 0.5475 \times 10^6 \text{ m}^3) \\ \text{Volúmen explotable} &= 688.57 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cifra que debe tomarse con cierta reserva ya que no considera los problemas relacionados con la calidad de agua - en la costa del estado de Quintana Roo.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA

VI. HIDROLOGIA SUBTERRANEA

En general las características litológicas de la península de Yucatán y en particular las condiciones geológicas que prevalecen en la zona de estudio, precisaron la realización de obras de exploración tendientes a conocer la posición exacta del espesor de agua dulce y las dimensiones del acuífero, permitiendo con ello definir correctamente la zona de captación y el caudal de extracción sin alterar las condiciones hidrodinámicas del acuífero.

VI.1 OBRAS DE EXPLORACION

VI.1.1 Barrenos Exploratorios

Con objeto de conocer la distribución vertical -- del acuífero, en cuanto a calidad del agua se refiere, se perforaron 4 barrenos exploratorios sobre el camino de acceso de 5 km de longitud con dirección perpendicular a la línea de costa y con origen en el km 285 de la carretera federal No. 307 Chetumal-Cancún, la profundidad de los barrenos fué de 30 m con diámetro NQ (3 1/2") y recuperación de núcleo.

Durante la perforación se obtuvieron registros de tiempos de penetración, corte litológico y pérdidas de circulación una vez terminado el barreno se realizó el correspondiente registro de conductividad eléctrica y temperatura

(ver gráficas de barrenos exploratorios Figs. VI.1-a, b, c, d) en donde se apreciaba claramente que a determinada profundidad aumentan bruscamente los valores de conductividad -- eléctrica, por lo que se infiere que a esa profundidad se encuentra el contacto de agua dulce con agua salada.

VI.1.2 Pozo Exploratorio

Una vez terminados los barrenos y conociendo la posición de la interfase salina se procedió a perforar un pozo exploratorio localizado al fin del camino mencionado anteriormente.

La profundidad del pozo se determinó de 18.05 m con diámetro de 12 1/4" ampliando a 17 1/2".

VI.1.3 Diseño y construcción

Para elaborar el diseño del pozo se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: (ver Fig. VI.1.3 Características generales del pozo de observación).

- * Altura del nivel estático sobre el nivel medio del mar de 0.67 m con variaciones de ± 0.20 m.
- * Piezometría obtenida en alumbramientos cercanos con un historial mínimo de un año.
- * Profundidad real de la interfase salina -15 m a partir del nivel medio del mar.

* Abatimiento máximo permisible - 0.10 m.

El pozo se construyó con tubería de ademe tipo PV C por ser este material de alta resistencia a la corrosión. La longitud de tubería ranurada fué de 6.98 m con ranura de 3 mm; y 11.52 m de tubería lisa de 12" de diámetro por 1/2" de espesor.

VI.1.4 Equipo y Método de Perforación

En los trabajos de perforación de los barrenos se utilizó el equipo "Long Year" Modelo 34, acoplado a un motor de combustión interna y una bomba de inyección de agua marca "Long Year" acoplada a un motor de combustión interna -- marca Lister.

La perforación fue con broca de diamante, por rotación con sistema de lubricación y enfriamiento por agua.

Una vez perforado un tramo de 0.60 m o más de -- acuerdo con las características del terreno, se desacopla -- la tubería, se envía un pescador que extrae el tubo inte -- rior del cual se recupera la muestra, ésta se saca y se co -- loca en cajas de madera de 1 m de longitud por 0.40 m de -- ancho y 0.08 m de altura, previamente construídas en donde, con separadores, se indica la profundidad correspondiente -- de la muestra.

Esta es descrita y se conserva para estudios posteriores. La perforación del pozo de observación se utilizó el sistema de rotación con aire y espumante con un equipo de perforación marca "Ingersoll Rand" Modelo T4-W Serie No. 11806 montado sobre un camión de arrastre.

La perforación exploratoria se hizo con broca tricónica de insertos de tungsteno tipo botón de 12 1/4" de -- diámetro y la ampliación se realizó con rima de 17 1/2" de diámetro.

VI.2 CARACTERISTICAS DEL ACUIFERO

Con el apoyo básico de las observaciones realizadas durante la etapa de exploración y el posterior análisis de los resultados obtenidos, se lograron definir las si -- guientes características del acuífero.

Las rocas karstificadas que se encuentran en el -- área de estudio, definen lo que se denomina como un acuífero libre costero de naturaleza kárstica, comunicado hidráulicamente con el mar.

Por ser un acuífero libre es factible de ser re-- cargado en toda su superficie, de acuerdo, entre otras co-- sas con el patrón de precipitación del área.

Debido al alto grado de karsticidad, la porción - del acuífero estudiada posee una alta permeabilidad, tal como se menciona en toda la literatura geohidrológica de la - península de Yucatán. Esta característica repercutirá en -- abatimientos mínimos y recuperación casi instantánea del nivel de los pozos posterior al bombeo.

La comunicación hidráulica del acuífero con el -- mar Caribe refleja problemas cuando la exploración se efectúa en las proximidades de la línea de costa. En este tipo de acuíferos el agua salada penetra tierra adentro y se encuentra abajo del agua dulce a una profundidad dependiente del potencial de agua dulce. Este caso implica que se debe de cuidar que la explotación de agua a efectuar no deteriore la calidad del agua a obtener.

Teóricamente la profundidad del agua salada está dada por la fórmula de Ghyben - Herzberg, (Custodio Llamas 1976, Tomo II), que se puede expresar de la siguiente manera:

$$h_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad 40 \quad h_f$$

donde:

h_s = Profundidad de la interface a partir del nivel del mar.

h_f = Nivel del agua dulce sobre el nivel del mar.
(potencial de agua dulce)

ρ_f = Densidad del agua dulce (1.0000)

ρ_s = Densidad del agua salada (1.0250)

Aplicada la fórmula y tomando los datos obtenidos en el barreno 0 + 700 tenemos:

$$h_f = 0.548 \text{ m.} \quad h_s = 40 \times 0.548 \text{ m} = 21.92 \text{ m.}$$

Profundidad teórica que no se cumple, ya que las mediciones de conductividad eléctrica indicaron que la interfase salina en ese punto se encuentra a una profundidad a partir del nivel medio del mar de 14.65 m por lo que para el área de estudio se puede utilizar la siguiente relación.

$$h_s = 26.7 h_f$$

Lo que representa el 66.8% del valor teórico calculado por la ecuación de Ghyben - Herzberg.

Las razones de esta discrepancia puede ser que - el medio es heterogeneo, anisotrópico y que el agua no tiene regimen laminar.

Debido a que el agua dulce y el agua de mar son dos líquidos miscibles en cualquier proporción, se forma -

una zona de mezcla entre las 2 cuando son puestas en contacto denominada interfase salina. El espesor de la interfase varía de acuerdo con los fenómenos de dispersión que ocurren en el acuífero, los cuales están ligados a la densidad de los líquidos y fluctuaciones del nivel piezométrico entre ambos, además de otras causas.

El acuífero descargó sus aguas directamente en el mar creando un estado de equilibrio entre agua dulce y agua salada. Este estado es modificado cuando se inicia la explotación del agua dulce haciendo que la interfase avance tierra adentro. En el caso de que la extracción sea sobre la interfase, esto provocará un movimiento ascendente hasta una nueva posición de equilibrio. La resolución del problema es controlar este movimiento, evitando que la zona de mezcla en su ascenso, alcance el pozo de bombeo y lo contamine.

La forma como se controla este fenómeno es construyendo pozos parcialmente penetrantes que no alcancen la interfase salina y evitar abatimientos mayores de 0.10 m, -tomando esto aunado a un control estricto del caudal de extracción.

a) Piezometría

Para efecto de llevar un control piezométrico se

seleccionaron 7 alumbramientos en donde se efectuaron mediciones al nivel estático 3 veces por semana durante un año hidrológico comprendido en el período del 10. de junio de 1982 al 31 de mayo de 1983.

Los alumbramientos están distribuidos de la siguiente manera:

- 2 Norias ubicadas en el poblado Playa del Carmen
- 2 Cenotes, 1 barreno y 1 pozo localizados en las cercanías del km 285 de la carretera federal No. 307 frente al acceso principal del Proyecto C.T. Xcaret.
- 1 Barreno perforado en terrenos del sitio de la C.T. Xcaret.

Se elaboró un hidrógrafo para cada alumbramiento con los datos obtenidos del nivel estático sobre el nivel medio del mar (Fig. VI.2.a Hidrógrafos de pozos y cenotes de observación). Las fluctuaciones de este en el tiempo, comparadas con la precipitación pluvial, indican que la recarga del acuífero es casi inmediata pues después de una lluvia copiosa el nivel freático asciende. (Fig. V.-a - Relación precipitación pluvial - Variaciones del nivel estático).

El movimiento de las mareas afecta el acuífero, sobre todo en los pozos cercanos al mar (CR 22) elevando el

nivel del agua del pozo si aumenta el nivel del agua del mar amortiguándose el efecto muy rápido al alejarse de la costa.

b) Profundidad al Nivel Estático

La profundidad al nivel estático en la zona de estudio varia con respecto a la distancia a partir de la línea de costa; a 300 m se encontró a 3 m a 7 km fué de 11 m y a 40 km de 13 m.

Aunque, en algunos casos, por efectos de hundimientos del terreno natural, este nivel se presenta a menos profundidad.

c) Elevación del Nivel Estático

De la misma manera, la elevación del nivel estático con respecto al nivel medio del mar, aumenta conforme este se encuentra mas alejado de la línea de costa. Se tienen valores de 0.30 m a 300 m y de 0.67 m a 7 km. Dichas elevaciones no son constantes como lo atestiguan los hidrógrafos.

El gradiente hidráulico se calculó tomando la elevación del nivel estático en un barreno localizado a 7 km y la de un cenote cercano a la playa. El resultado fué de 4×10^{-5} .

d) Dirección del Flujo Subterráneo

Por consideraciones regionales se sabe que la dirección del agua subterránea en la península de Yucatán es en forma radial a partir aproximadamente del centro de esta, llegando en dirección perpendicular a la línea de costa. (Conacyt SARH, NSF 704 Fig. No. 6.2 Pág. 42, 1976).

Localmente y basándonos en la elevación del nivel estático sobre el nivel medio del mar, de los alumbramientos nivelados (Fig. VI.2.d Localización topográfica de buenos pozos y cenotes de obs). se trazaron curvas de igual elevación, para conocer la dirección general del flujo del agua subterránea en el plano horizontal. Esto en alrededores del sitio de la C.T. Xcaret.

La dirección del flujo subterráneo está controlado por factores litológicos (cambios de fases) y estructurales (direcciones preferenciales de fracturamiento).

La configuración de las líneas de flujo son prueba que el agua llega en dirección perpendicular a la línea de costa, notándose una zona de mayor permeabilidad hacia la parte sur del sitio de la C.T. Xcaret.

Esta dirección se debe de tomar con cierta reserva, ya que no se consideraron los componentes verticales de

las líneas de flujo.

VI.3 AFORO

Un aforo se realiza para conocer la cantidad de agua que se puede extraer en un pozo y nos permite evaluar el abatimiento relacionado con un aumento de caudal, así como la calidad del agua en relación al tiempo de bombeo: Datos que van a repercutir en la selección del equipo de bombeo apropiado.

En este caso se efectuó el método de gasto directo utilizando un medidor de flujo conectado en la tubería de descarga.

VI.3.1 Objetivos

- * Conocer caudal óptimo de extracción puntual
- * Conocer el abatimiento a ese caudal óptimo sin permitir que aquel alcance un valor mayor de -- 0.10 m.
- * Determinar un posible incremento de salinidad -- de acuerdo al caudal extraído y al tiempo de -- bombeo.
- * Cálculo del equipo de bombeo, para la etapa de operación del pozo.

VI.3.2 Equipo

El equipo a seleccionar debe de tener la capacidad suficiente para obtener más del 75% del caudal que se pretenda extraer, para este caso, se utilizó un equipo de bombeo con las siguientes características.

- * Bomba vertical tipo turbina lubricada por aceite.
- * Colador de 0.50 m terminado en punta de lápiz.
- * Cuerpo de tazones de 6" de diámetro, modelo 7BS marca Johnston con 10 tazones y 2 metros de longitud.
- * Columna de 6" de diámetro con una longitud de 12.20 m.
- * Cabezal de descarga marca Johnston No. 703
- * Cabezal de engranes en ángulo recto marca Prode_{ma} - Torreón. Equipo acoplado por medio de una flecha a un motor de combustión interna marca Perkins con 60 HP de potencia a 1800 r.p.m.
- * Un medidor de flujo marca Badger de 4" de diámetro colocado a 6 m del cabezal de descarga.
- * Una válvula de paso de 4" de diámetro para controlar el caudal.
- * 400 m de tubería PVC de 4" de diámetro instalados en la descarga.

Como complemento de la prueba se utilizó un cronómetro, un flexómetro, un tacómetro, una sonda eléctrica, un termómetro y un conductivímetro portátil.

VI.3.3 Método

En la península de Yucatán, un aforo tradicional tiene una duración de 24 a 36 horas o menos, debido principalmente a que los abatimientos en los pozos son mínimos y se estabilizan rápidamente. Además, la longitud de la tubería de descarga por lo general es de 20 a 30 m, lo que ocasiona que el poco tiempo de iniciarse el bombeo, el agua se infiltre rápidamente en las cercanías del pozo. Originando recirculación del agua.

Para evitar el fenómeno de recirculación se dispuso que la longitud de la tubería de descarga fuera de 400 m. Distancia calculada para el espaciamiento entre dos pozos.

La duración del aforo fué de 72 horas dividido -- en 2 etapas.

La primera etapa fué para conocer el caudal máximo de extracción con un abatimiento menor a 0.10 m. Comprendió 28 horas, utilizándose las primeras 14 horas para aumentar el caudal en forma escalonada y las restantes para dis-

disminuirlo similarmente hasta llegar al caudal inicial.

El bombeo comenzó con 3 l/s llegando hasta 20 l/s determinando un abatimiento máximo de 0.08 m.

La segunda etapa tuvo una duración de 44 horas -- con un caudal inicial de 7.5 l/s y uno final de 12 l/s (Ver Fig. VI.3.3 Gráfica del aforo).

El incremento del caudal en esta segunda etapa, estuvo en función de que los valores de la conductividad -- eléctrica del agua se mantuviera constantes y menores de -- 2000 micromhos/cm.

La conductividad eléctrica se registró cada media hora y los valores obtenidos variaron de 1100 a 1800 micromhos/cm. al inicio y al final de la prueba respectivamente.

Durante la prueba se tomaron muestras de agua por duplicado, cada hora a partir de la hora de bombeo No. 32 - a la 41 y de la hora No. 63 a la 72, las cuales se enviaron al Laboratorio de Geoquímica de C.F.E. para su análisis Físico- Químico respectivo. (Fig. VI.3.3¹ Gráfica de Cloruros STD y tabla comparativa de calidad del agua).

H I D R O G E O Q U I M I C A

VII. HIDROGEOQUIMICA

VII.1 Características Físico-Químicas del Agua

Durante el censo regional se seleccionaron 33 alumbramientos de donde se obtuvieron muestras de agua en dos etapas:

La primera etapa se realizó del 23 al 26 de junio enviando las muestras de agua al Laboratorio de la P.T. Nanchí-Cocom en Mérida, Yuc.

La segunda etapa se efectuó del 17 al 20 de Agosto en esta ocasión se llevaron las muestras al Laboratorio de Geoquímica de la C.F.E. en Tenayuca, Estado de México.

VII.1.1 Familias de Agua

Con los datos proporcionados por los laboratorios, se hizo una clasificación de Familias de Agua de acuerdo al ión dominante, resultando una gran similitud en ambos casos y las diferencias observadas pueden ser debido a que la Primera etapa se realizó después de una semana de precipitación pluvial considerable y la muestra fue tomada superficialmente, mientras que durante la segunda etapa la muestra fue tomada a la profundidad total de cada alumbramiento.

Una vez analizados estos datos, se vaciaron en los Diagramas de Piper, donde se observa que predominan dos

tipos de Familias (Ver Fig. VII.1.1 Diagramas de Piper).

- 1) Sódica clorurada - Cerca de la línea de costa
- 2) Cálcica bicarbonatada - Alejada de la línea de costa.

El agua del acuífero es sódico clorurada cerca a la línea de costa porque el agua de mar que contiene gran cantidad de ión cloro y ión sodio se mezcla con el agua dulce, en una franja de aproximadamente 8 km de ancho. Y es cálcica bicarbonatada alejada de la línea de costa, pues el acuífero es calcáreo y el agua disuelve el ión bicarbonatado y el ión calcio de este.

La calidad del agua para uso industrial es variable. El agua cálcica bicarbonatada es de buena calidad y el agua sódico clorurada varia de buena calidad con concentraciones de cloruros menores a 300 ppm de mala calidad cuando rebasa esta cantidad, encontrándose esta en una franja paralela a la línea de costa de aproximadamente 3.5 km de ancho.

VII.1.2 Perfil de conductividad eléctrica

De los resultados anteriores y utilizando los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos de ambos Laboratorios, se elaboraron 2 secciones de 53

km de longitud orientadas casi perpendicularmente a la línea de costa, en donde se observa que el agua disminuye su concentración de sales conforme los puntos de muestreo se encuentran más alejados de la costa. (Ver. Fig. VII.1.2).

Localmente y basados en registros de conductividad eléctrica, obtenidos por medio de un conductivímetro portátil digital dotado de una sonda de 50 m se elaboró la sección Xcaret, en la cual a partir de 10 alumbramientos entre cenotes, norias y barrenos exploratorios se tomaron lecturas cada 50 cm a partir del nivel estático hasta el fondo del alumbramiento.

La sección con origen en el mar caribe y perpendicular a la línea de costa, tiene una longitud de 6750 m - sobre la posible zona de captación se observa un espesor de 15 m de agua de buena calidad con valores menores de 2000 micromhos/cm. Un espesor de centímetros de agua salobre con valores de 2000 a 5000 micromhos/cm y finalmente agua salada con valores mayores a 5000 micromhos por lo que se considera agua de mar (Ver Fig. VII.1.3 sección Xcaret.).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

* En la zona de estudio existe un acuífero libre kárstico costero.

* El espesor de agua dulce en las proximidades - del sitio de la C.T. Xcaret va de centímetro en la línea - de costa, hasta 15 metros a 7 km de esta.

* La variación del nivel estático es una respuesta al índice de precipitación.

* La altura mínima del nivel estático en un año hidrológico fue de 0.30 m a 2 km de la línea de costa; en el pozo PO-1

* En el pozo construido un caudal de 12 l/s re-- gistra un abatimiento de 0.06 m para 72 horas de bombeo.

* La calidad del agua durante 72 horas de bombeo permanece con variaciones despreciables y de acuerdo a los iones dominantes se clasifica como sódico clorurada.

* Los parámetros físico-químicos del agua extraída en el pozo están dentro de los límites permisibles para uso de agua industrial.

*La dirección del flujo subterráneo es perpendicular a la costa, presentando mayor permeabilidad la parte sur del sitio.

* Los datos obtenidos en el balance hidrológico - no contemplan la calidad química del agua.

* La zona de captación deberá de localizarse al NW del sitio de la C.T., al final del camino de acceso. La línea de la batería de pozos deberá de localizarse paralela a la línea de costa.

* Se recomiendan los pozos en un mínimo de 6, perforados a 19 m de profundidad con diámetro final de 17 1/2" donde se instalará ademe tipo PVC de 12" de diámetro.

* La distancia entre cada pozo será de 400 m.

* El diseño de los pozos podrá ser el mismo utilizando en el pozo de observación, con ligeras variaciones en cuanto a la longitud del tramo ranurado se refiere. Esto se hará de acuerdo con las condiciones locales encontradas.

*El caudal de extracción recomendable es de 8 l/s por pozo.

BIBLIOGRAFIA

Aguayo, Bello, del Vechio, Araujo.- Estudio Sedi-
mentológico en las costas del Caribe área Tulum -
Cancún, Isla Mujeres. Instituto de Geología UNAM
1978.

Bonet, Fand J., Butterlin 1967.- Stratigraphy of
the northern part of the Yucatán, península. In -
Yucatán, field trip guide book, second edición, -
New Orleans Geological Society.

Butterlin J. 1963.- Paleogeografía de la parte Me-
ridional del Golfo de México.

Custodio E., y Llamas M.R. 1976.- Hidrología Sub-
terránea (tomo I y II) Editorial Omega.

Estudios y Proyectos, S.A. 1978.- Estudio de las
Fuentes de Abastecimiento para Agua Potable Chetu-
mal, Q.Roo, Contrato No. BIOJ/08/58/78. SAHOP.

Estudios y Proyectos, S.A. 1978.- Estudio de las
Fuentes de Abastecimiento para Agua Potable Cozu-
mel, Q. Roo, Contrato No. BIOJ-08/58/78. SAHOP.

Ingeniería Industrial.- Estudio Geohidrológico
Cancún, Nueva Zona de Captación 1979.

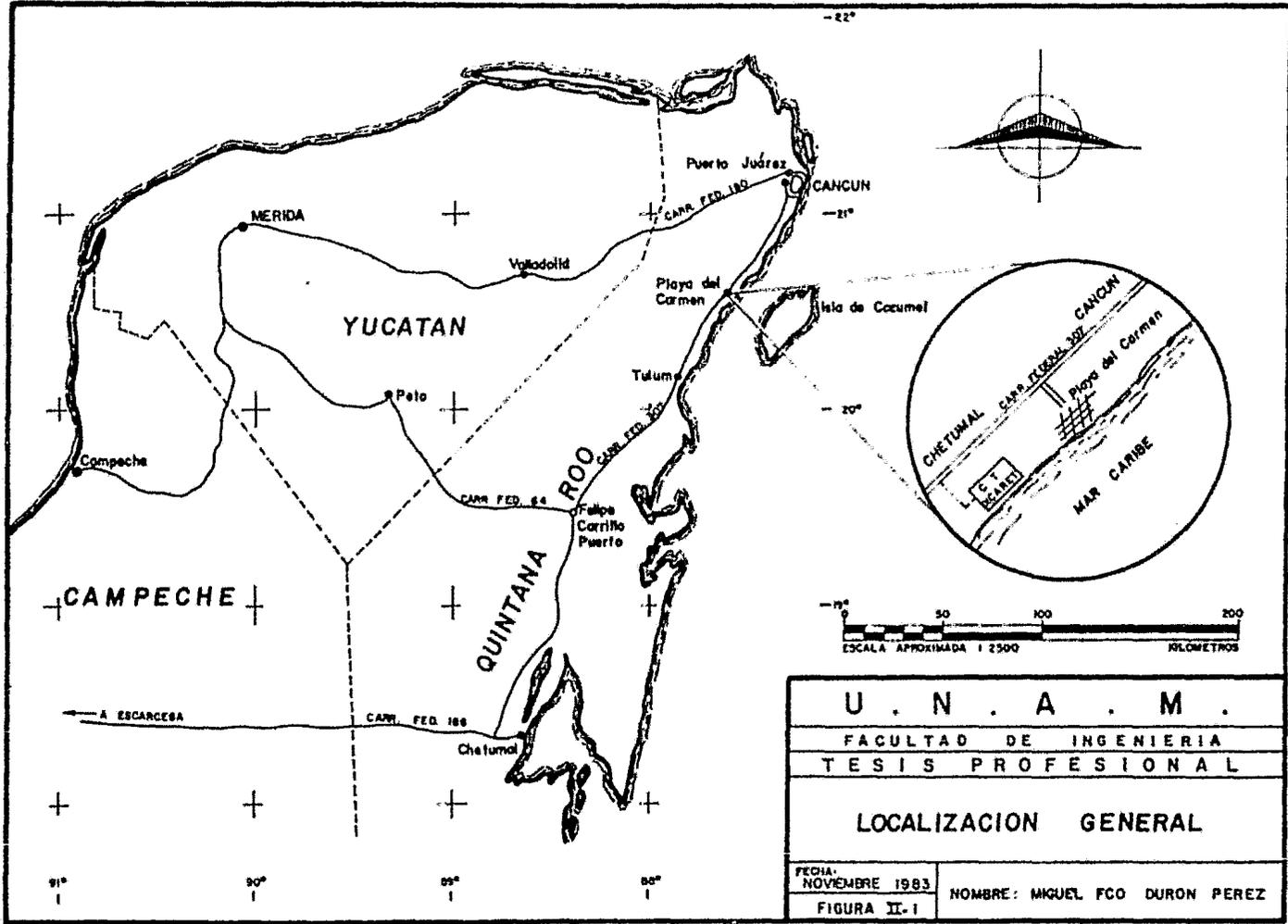
Johnson División, Vop Inc 1975.- El agua subte
rránea y los pozos.

Lesser Illades Juan Manuel 1976.- Estudio Hidro
geológico e Hidrogeoquímico de la península de
Yucatán SARH. Proyecto Conacyt-NJF 704

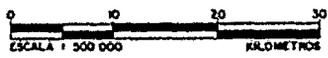
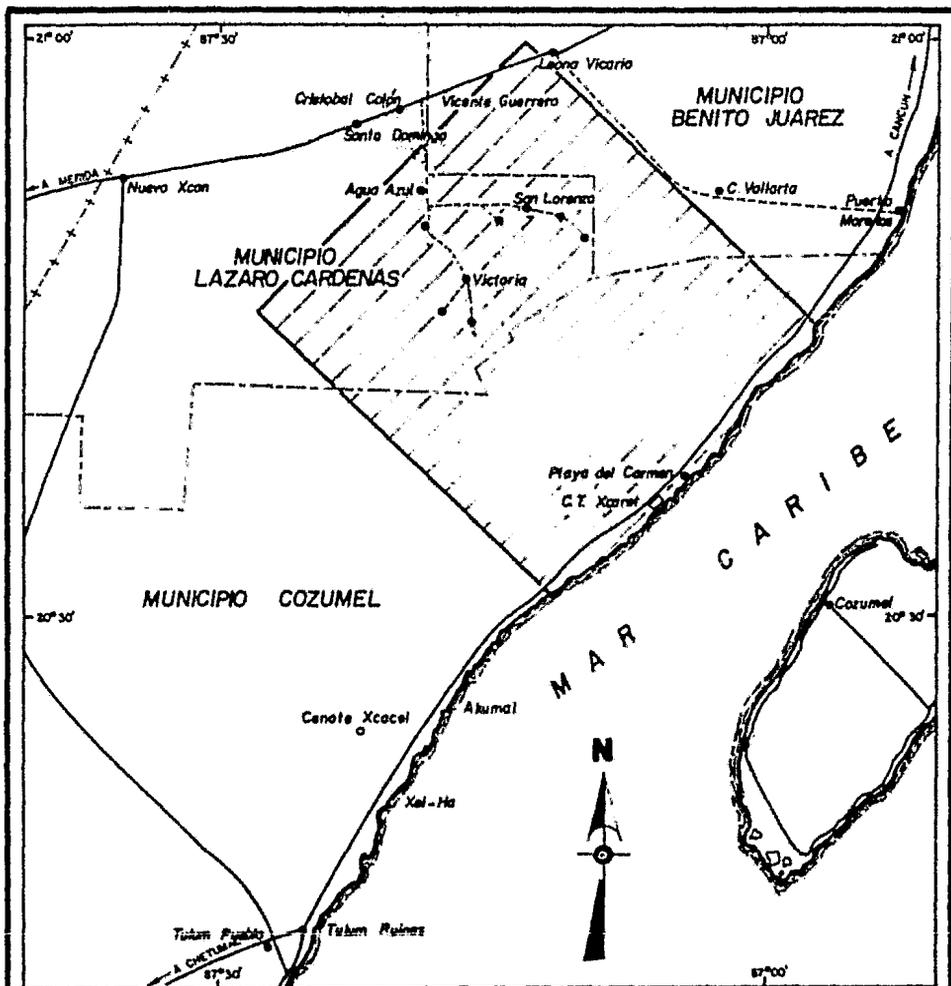
Lesser Jones, Lesser Illades, Aspeitia Reyes -
1976.- Geohidrología de la Isla de Cozumel, Q.
Roo. SARH.

Lesser J.H. 1978.- Geohidrología de la Isla -
de Cozumel, Q. Roo. SARH.

Llopis Lladó Noel 1970.- Fundamentos de Hidro
geología Kárstica (introducción a la Geoespeo-
logía. Editorial Blume.



U . N . A . M .	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
LOCALIZACION GENERAL	
FECHA: NOVIEMBRE 1983	NOMBRE: MIGUEL FCO DURON PEREZ
FIGURA II-1	



SIMBOLOGIA

- Zona de estudio
- Carretera Federal
- Caminos de terracería y brecha
- Límite Estatal
- Límite Municipal

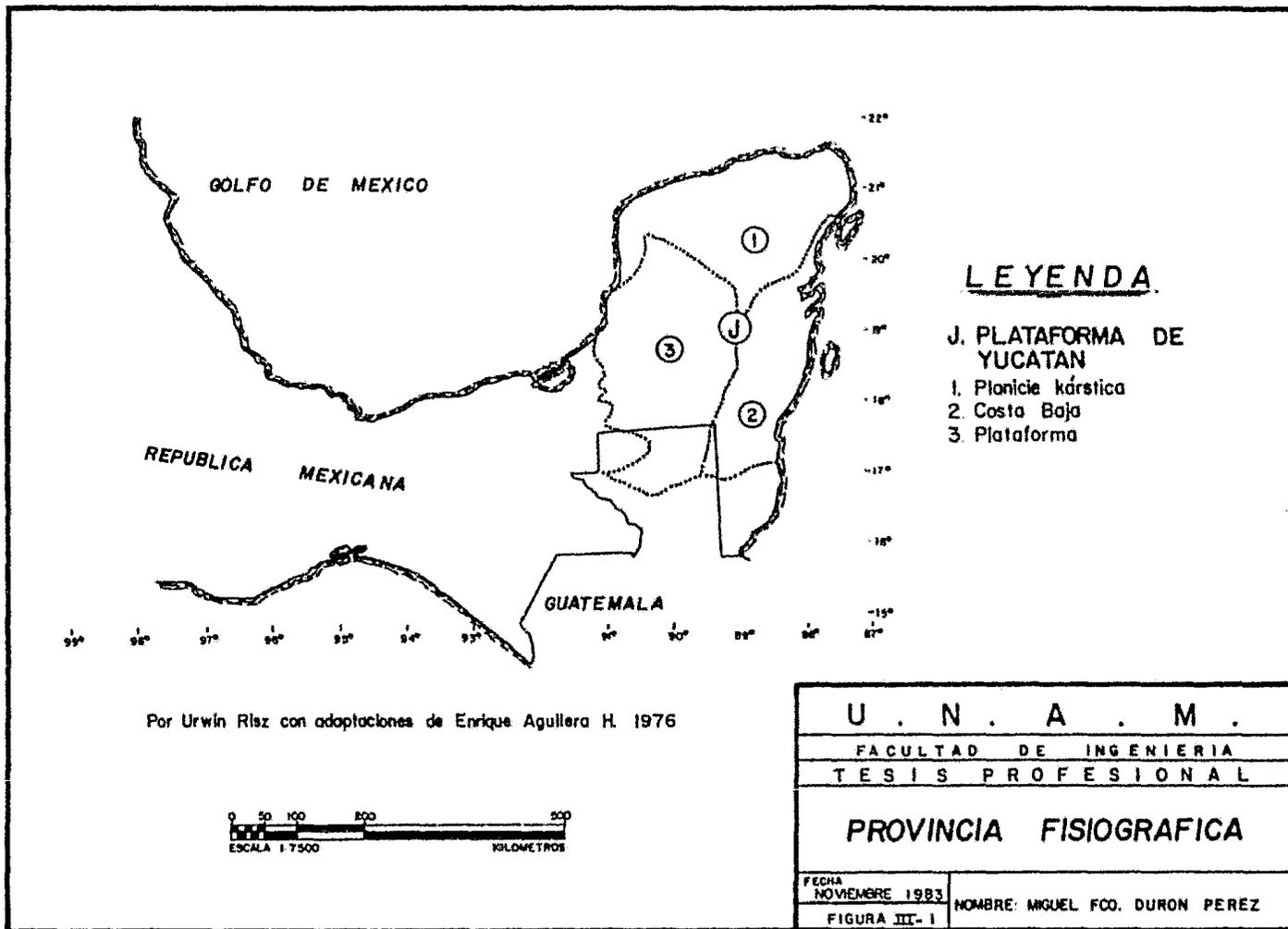
U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

**LOCALIZACION DE LA ZONA
DE ESTUDIO**

FECHA
NOVIEMBRE 1983
FIGURA II-2

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ

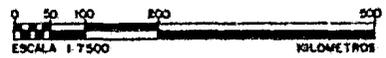


Por Urwin Ritz con adaptaciones de Enrique Aguilera H. 1976

LEYENDA

- J. PLATAFORMA DE YUCATAN**
- 1. Planicie kárstica
 - 2. Costa Baja
 - 3. Plataforma

U . N . A . M .	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
PROVINCIA FISIOGRAFICA	
FECHA NOVIEMBRE 1983	NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ
FIGURA III-1	



CORTE EN PLANTA DE UNA CAVERNA

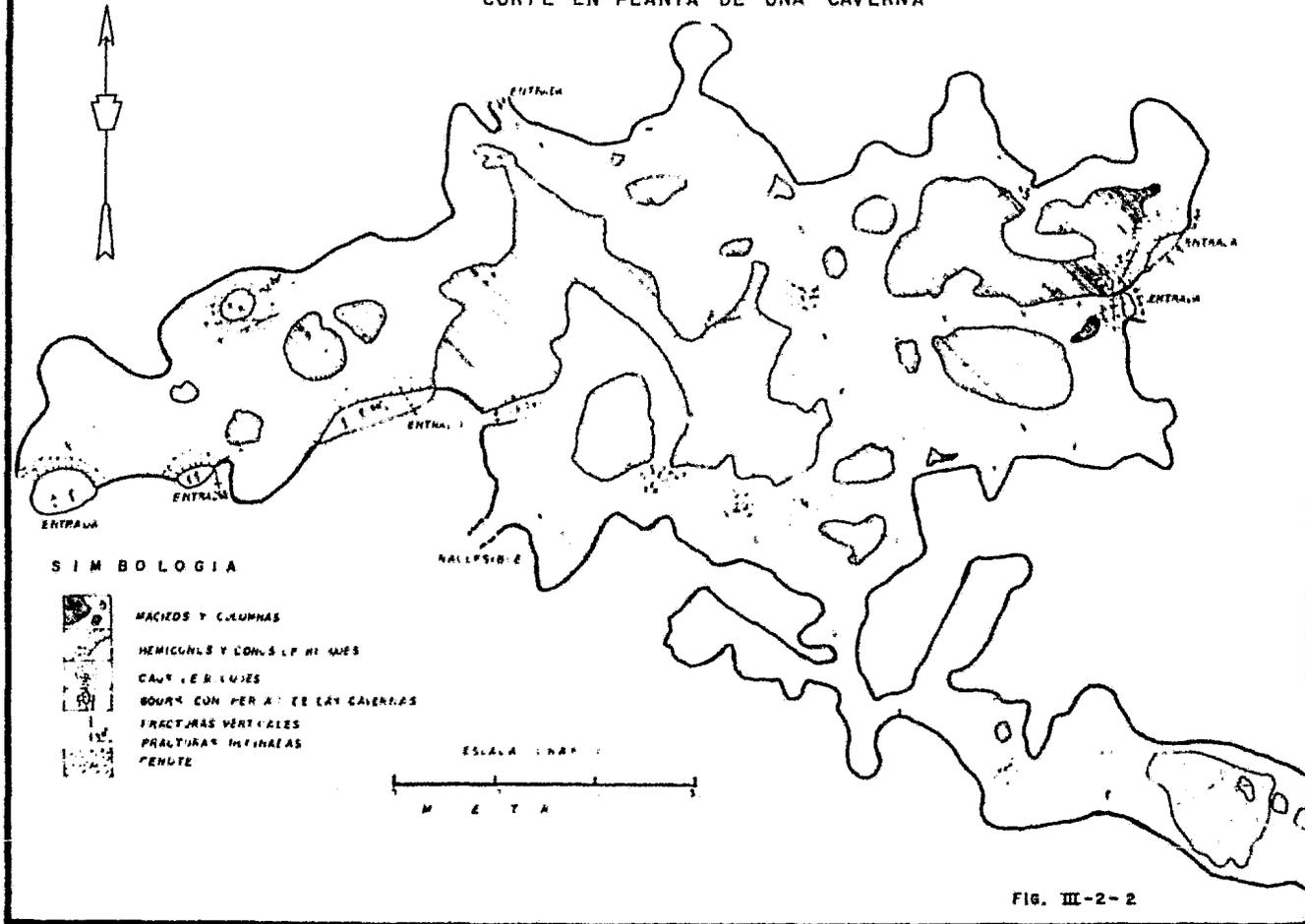
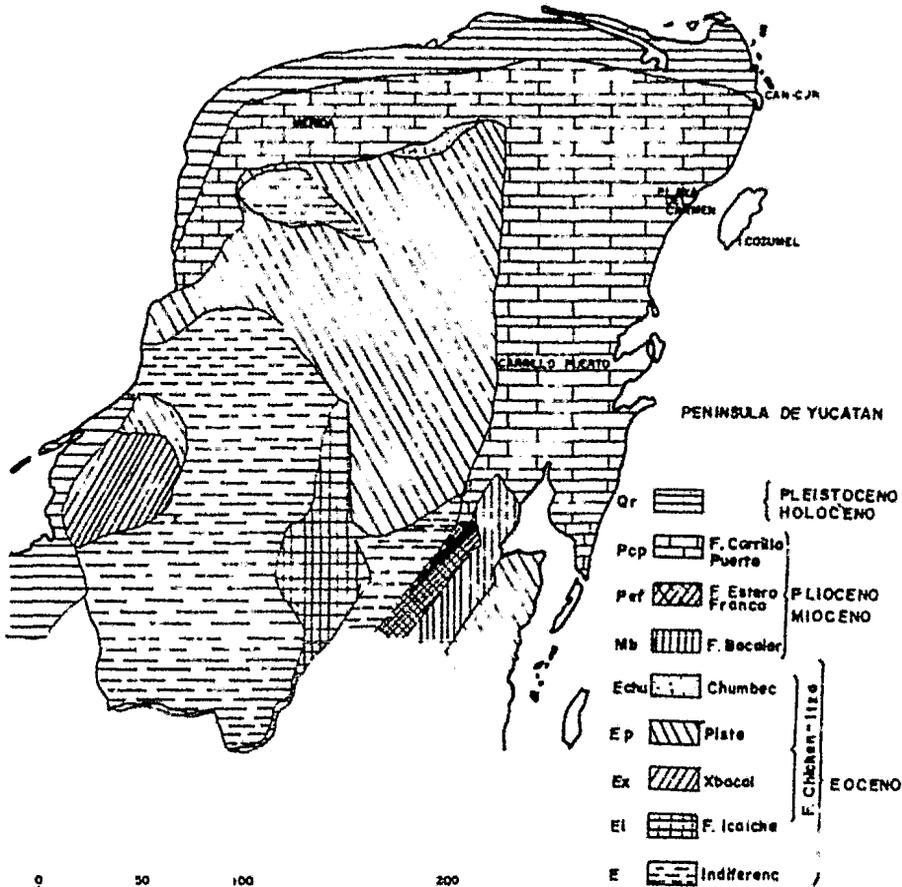


FIG. III-2-2

NOMBRE MIGUEL PGO DURON PEREZ

PLANO GEOLOGICO DE LA
PENINSULA DE YUCATAN
(F BONET Y J. BUTTERLIN, 1960)



0 50 100 200
ESCALA 1:2500 KILOMETROS

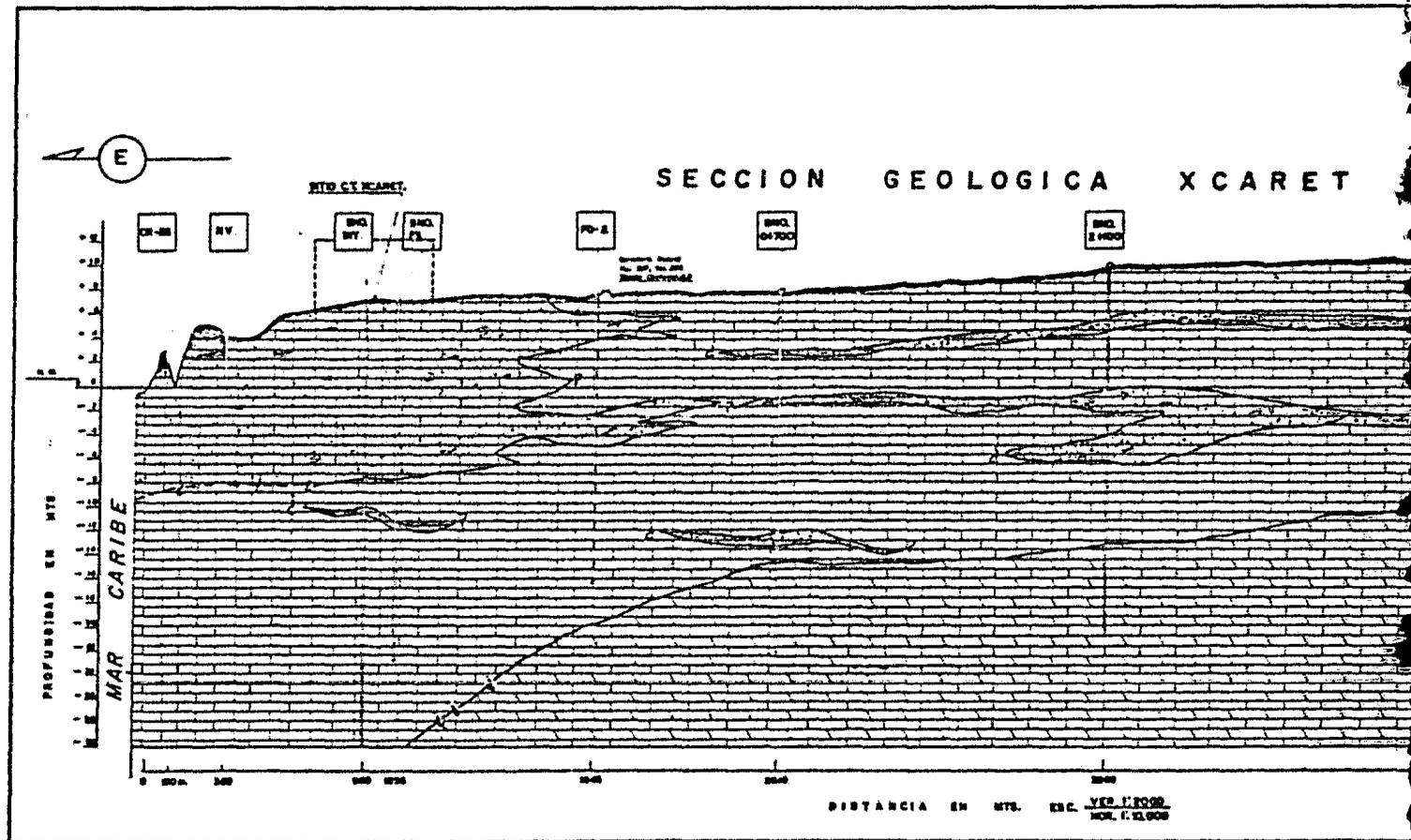
U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
GEOLOGIA DE LA PENINSULA
DE YUCATAN
PEQUENON/83
78 IX

MANUEL PICO DURON P.

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

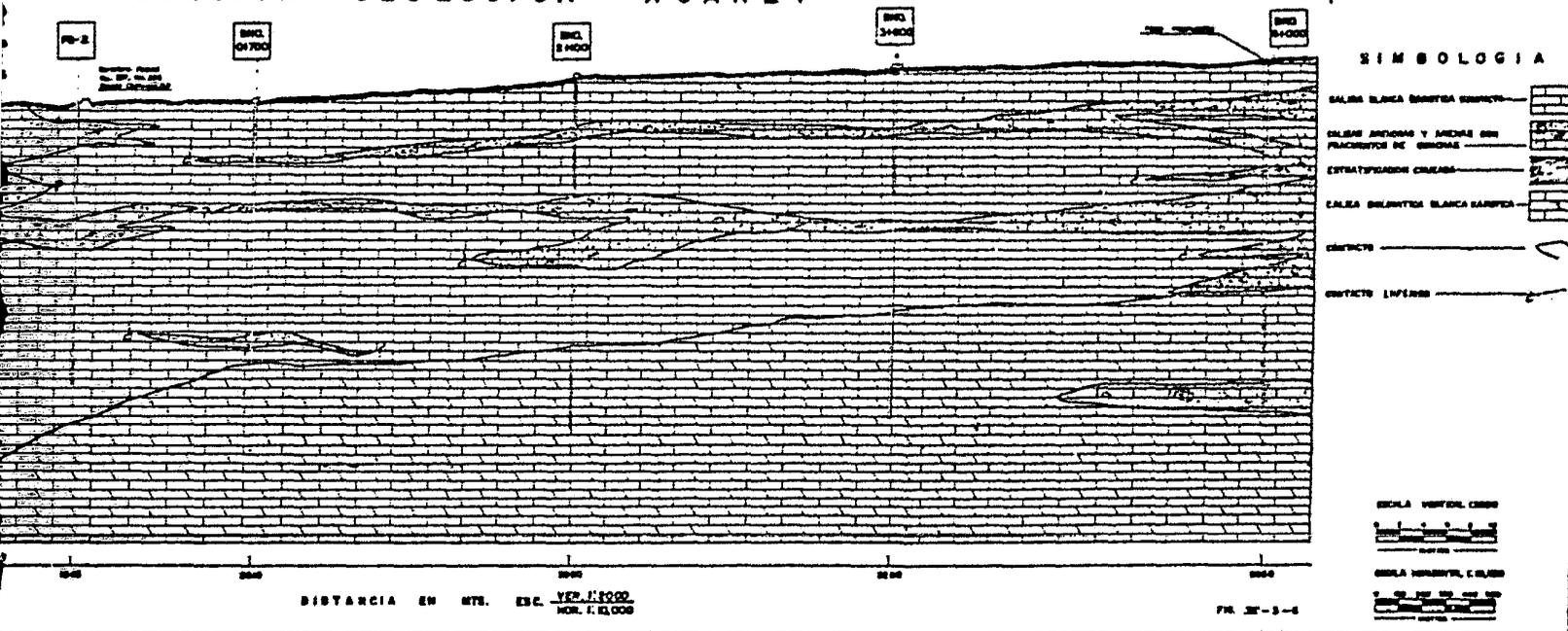
TABLA IV- 2

ERA	PERIODO	E P O C A		PENINSULA DE YUCATAN	AREA DE ESTUDIO	DESCRIPCION	
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	HOLOCENO		CALIZAS	CALIZAS	CALIZAS COQUINIFERAS COLOR BLANCO, A CREMA. ESTRATIFICACION CRUZADA.	
		PLEISTOCENO		DE MOLUSCOS	DE MOLUSCOS		
	T E R C I A R I O	PLIOCENO	SUPERIOR	FORMACION CARRILLO PUERTO	FORMACION ESTERO FRANCO	FORMACION CARRILLO PUERTO	COQUINAS, CALIZAS BLANCAS, A VECES ARCILLOSAS, MASIVAS
			MEDIO				
			INFERIOR				
		MIOCENO	SUPERIOR	FORMACION BACALAR			
			MEDIO				
			INFERIOR				
		OLIGOCENO		CALIZA BLANCA Y CREMA CON ARCILLA BLANCA Y CAPAS DE SILICE.			
		EOCENO	SUPERIOR	MIEMBRO CHUMBEC			CALIZAS BLANCAS SACARODES MASIVAS.
			MEDIO	MIEMBRO PISTE			CALIZAS BLANCAS O AMARILLENAS.
			INFERIOR	MIEMBRO XBACAL			CALIZAS BLANCAS O GRICES MARGAS Y LUTITAS.
	PALEOCENO	SUPERIOR	FORMACION ICAICHE			CALIZAS DOLOMITICAS SILICIFICADAS CON YESO Y ANHIDRITA.	
MEDIO		PALEOCENO (?) O EOCENO NO DIFE -			CALIZAS COMPACTAS DOLOMITIZADAS O SILICIFICADAS.		
INFERIOR		RENCIADO					



FECH
FIG.

SECCION GEOLOGICA XCARET



U . N . A . M .

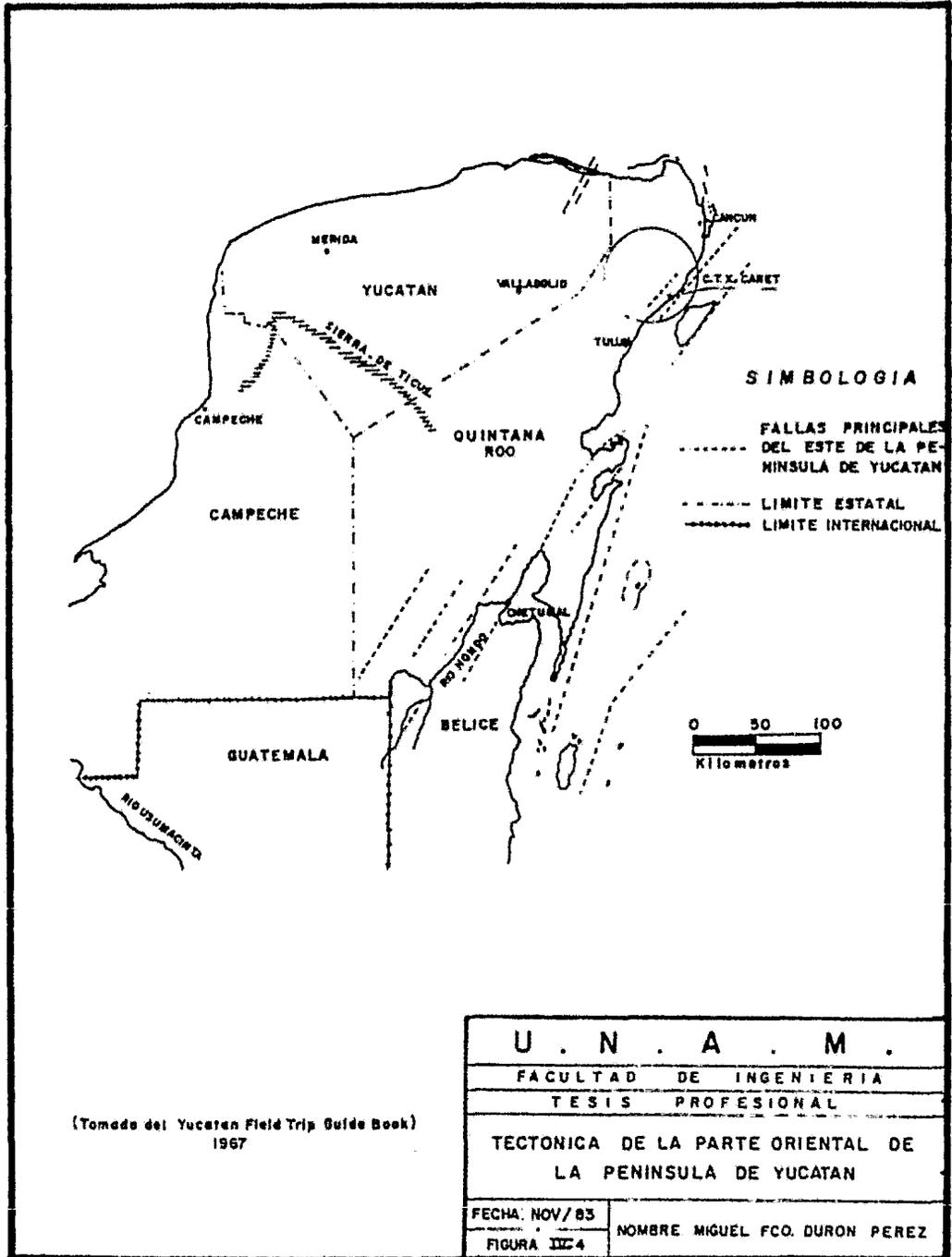
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

SECCION GEOLOGICA XCARET

FECHA: NOV/83

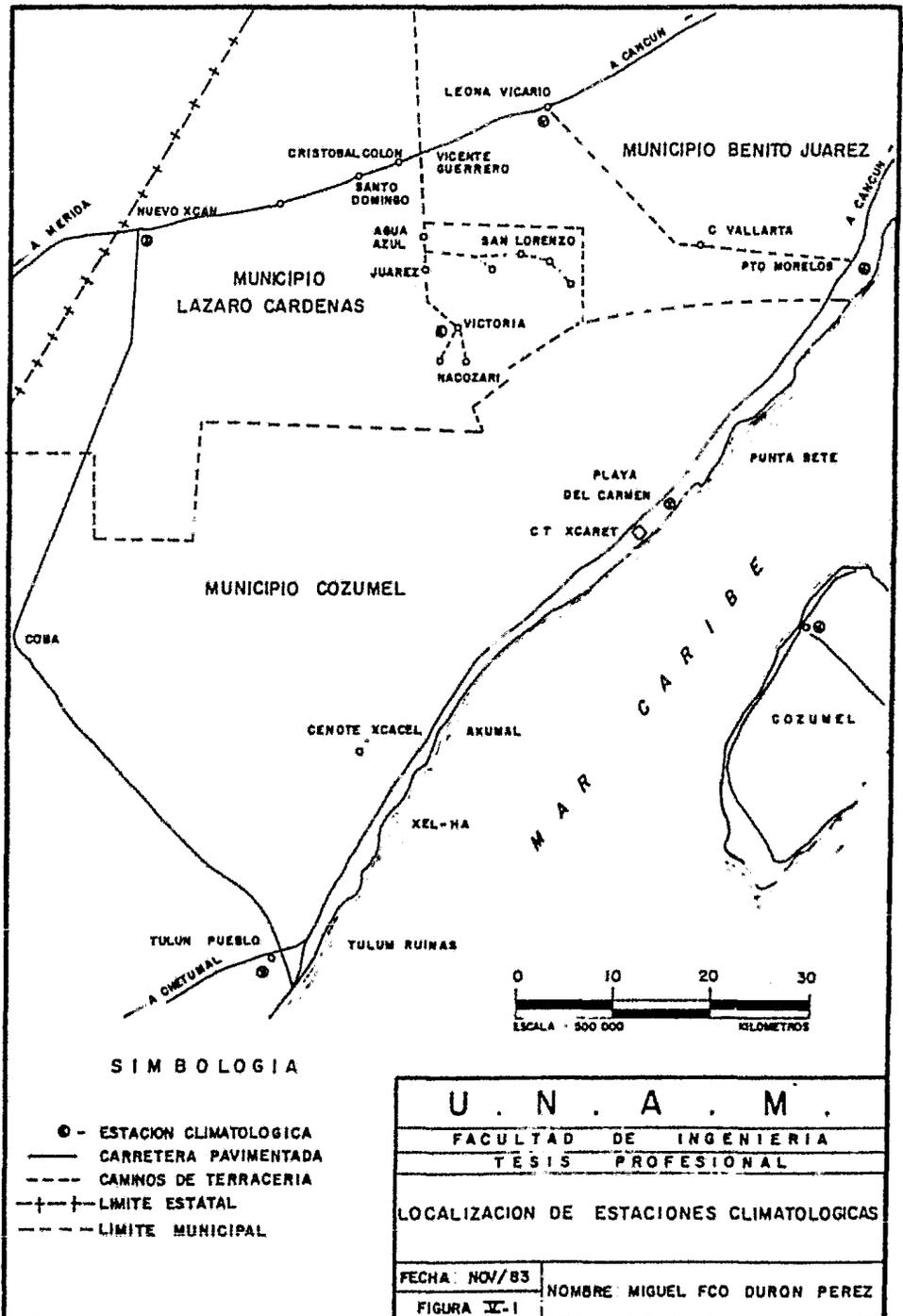
FIG. IV-3

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ

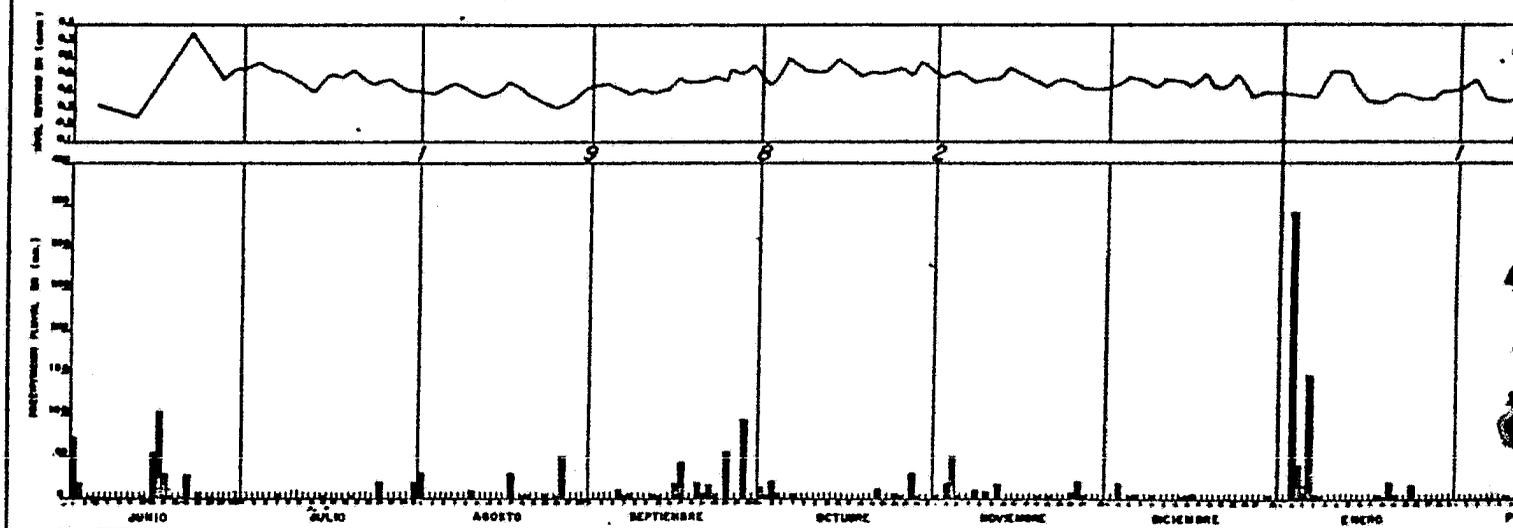


(Tomado del Yucatan Field Trip Guide Book)
1967

U . N . A . M .	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
TECTONICA DE LA PARTE ORIENTAL DE LA PENINSULA DE YUCATAN	
FECHA: NOV/83	NOMBRE MIGUEL FCO. DURON PEREZ
FIGURA III-4	

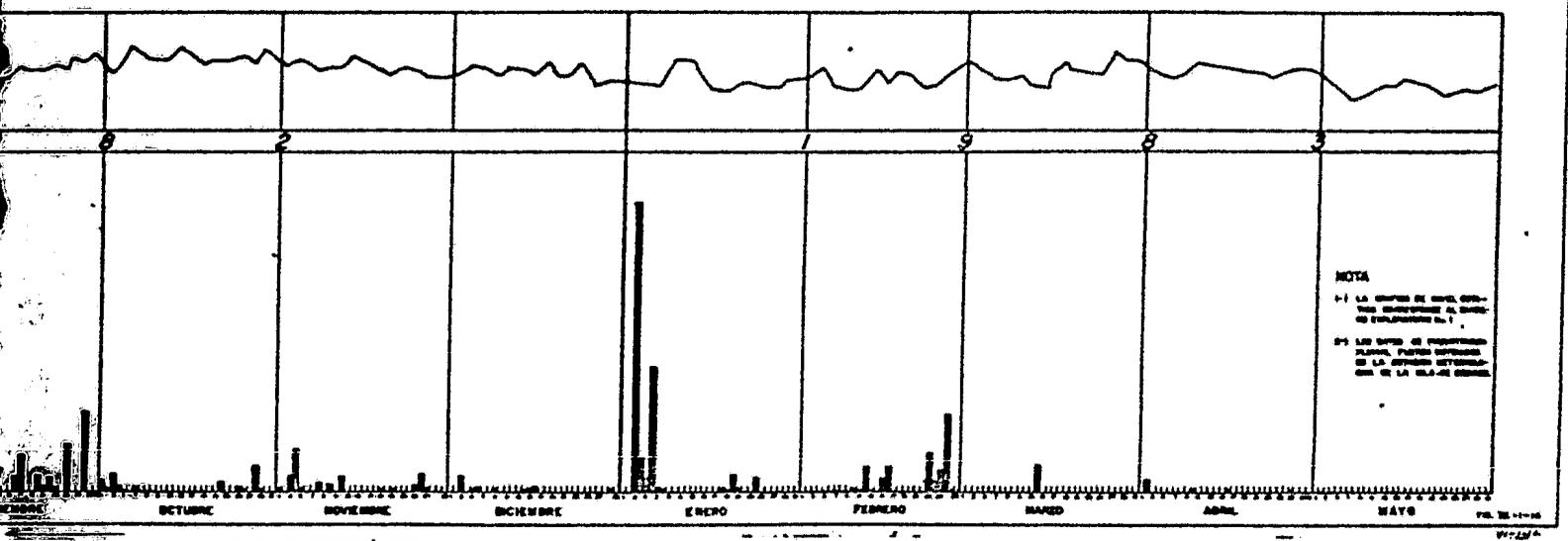


RELACION DE PRECIPITACION PLUVIAL — VARIACIONES DEL NIVEL ESTATICO



U
F
Y
GRAFICO
FECHA
FIGU

PRECIPITACION PLUVIAL — VARIACIONES DEL NIVEL ESTATICO



U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA

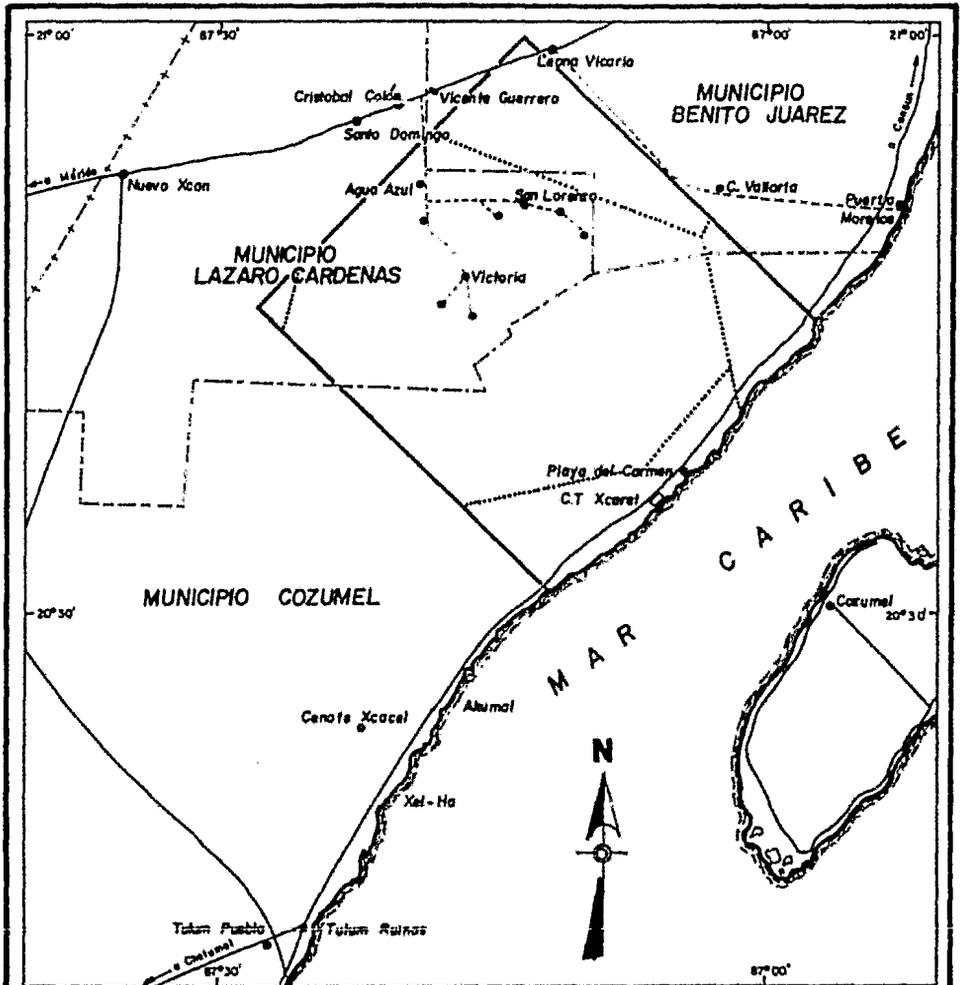
TESIS PROFESIONAL

GRAFICA DE PRECIPITACION - VARIACIONES DEL
NIVEL ESTATICO

FECHA: NOV/83

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ

FIGURA V-a



0 10 20 30
 ESCALA 1 500 000 KILOMETROS

SIMBOLOGIA

- Zona de estudio
- Carretera Federal
- - - Caminos de terracería y brecha
- + - Límite Estatal
- - - Límite Municipal

U . N . A . M .

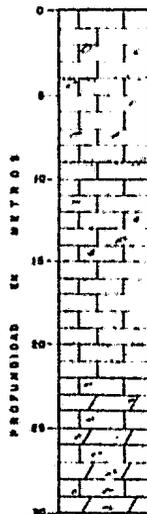
FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL

AREA DEL POLIGONO

NOVIEMBRE 1983
 FIGURA 5-c

NOMBRE: MIGUEL FCO. DUNON PEREZ

CORTE LITOLÓGICO



CALIZA COLOR CREMA CON VETILLAS DE SILICE COLOR PARDO

CALIZA COLOR BLANCO CREMOSA, KARSTICA CON LENTES DE ARENA Y ABUNDANTE CONTENIDO TALAMSTICO

CALIZA ARENOSA, COLOR BLANCO

CALIZA COLOR BLANCO, COMPACTA KARSTICA

CALIZA ARENOSA, COLOR BLANCO

CALIZA COLOR BLANCO, CREMOSO - KARSTICA, CON TONALIDADES AMARI- LLENTAS Y QUEVEDAS NELLERAS PAR- CIALMENTE DE ANARONITA COLOR CAFE

CALIZA COLOR BLANCO, FRACTURADA CON TONALIDADES AMARILLENTAS

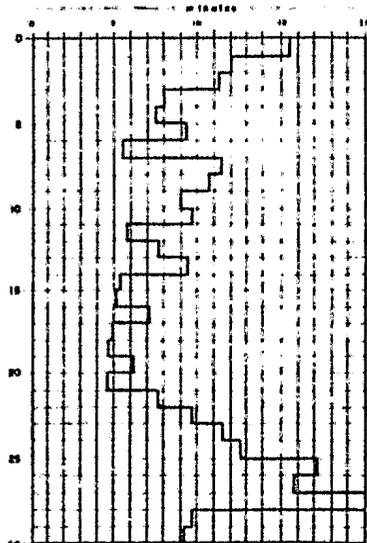
CALIZA COLOR BLANCO, FRACTURADA KARSTICA

CALIZA ARENOSA, COLOR BLANCO

CALIZA COLOR BLANCO, FRACTURADA KARSTICA

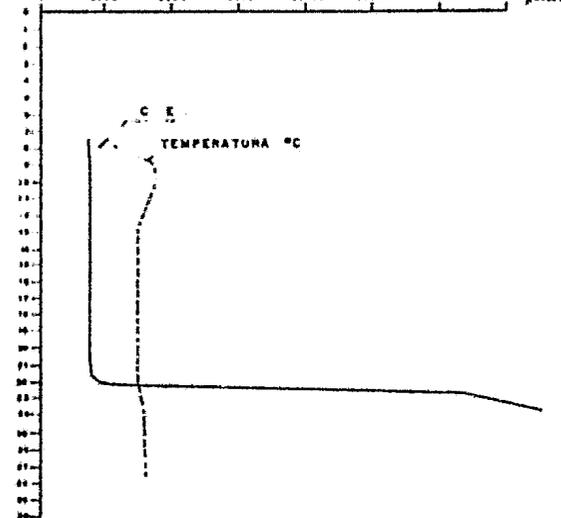
CALIZA SOLOMITICA COLOR BLANCO COMPACTA, KARSTICIDAD MEDIA CON ABUNDANTE MICRO Y MACROFAUNA

TIEMPOS DE PENETRACION



24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 T. °C

CE



BARRENO No. Q+700 LOCALIZACION X= 8607.84 Y= 38893.12 NIVEL ESTÁTICO (M) 7.839 NIVEL DE REFERENCIA (M) 9.343 N.P.M. 0.384

U. N. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

CARACTERISTICAS GENERALES DEL BARRENO EXPLORATORIO

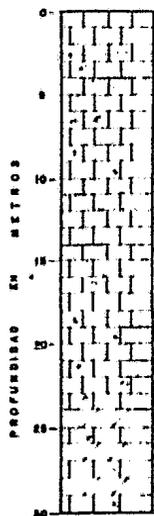
No. Q+700

FECHA NOV/83

FIG. 32-1-a

NOMBRE MIGUEL TOO BURON PEREZ

CORTE LITOLÓGICO



CALIZA COLOR BLANCO CREMOSO, COMPACTA CON VETILLAS DE SILICE

HORIZONTE DE CALIZA ANCALOSA
 CALIZA COLOR BLANCO, COMPACTA, KARSTICIDAD MEDIA
 CALIZA ARENOSA COLOR CREMA
 AMARILLENTO DELEZINABLE
 CALIZA COLOR BLANCO, RECristALIZADA, KARSTICA, CON OQUEBADES RELLENOS DE ARENA O MASONITA

CALIZA ARENOSA COLOR BLANCO, RECristALIZADA, CON FOSILES

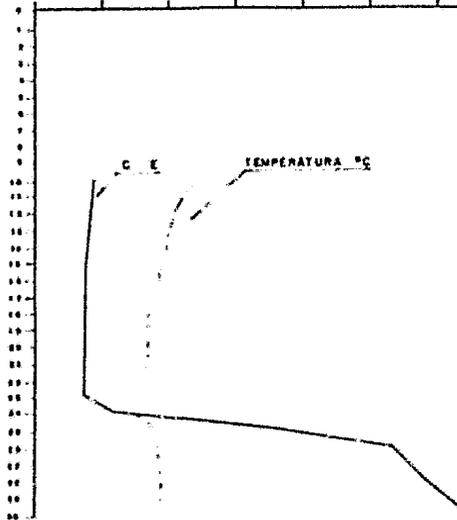
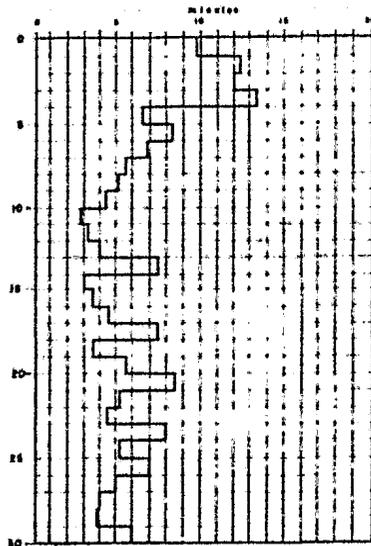
CALIZA FACTURADA

CALIZA ARENOSA COLOR CREMA
 CALIZA COLOR BLANCO, COMPACTADA KARSTICA, OQUEBADES CON ARAGONITA

CALIZA COLOR BLANCO, COMPACTA, KARSTICA CON FOSILES

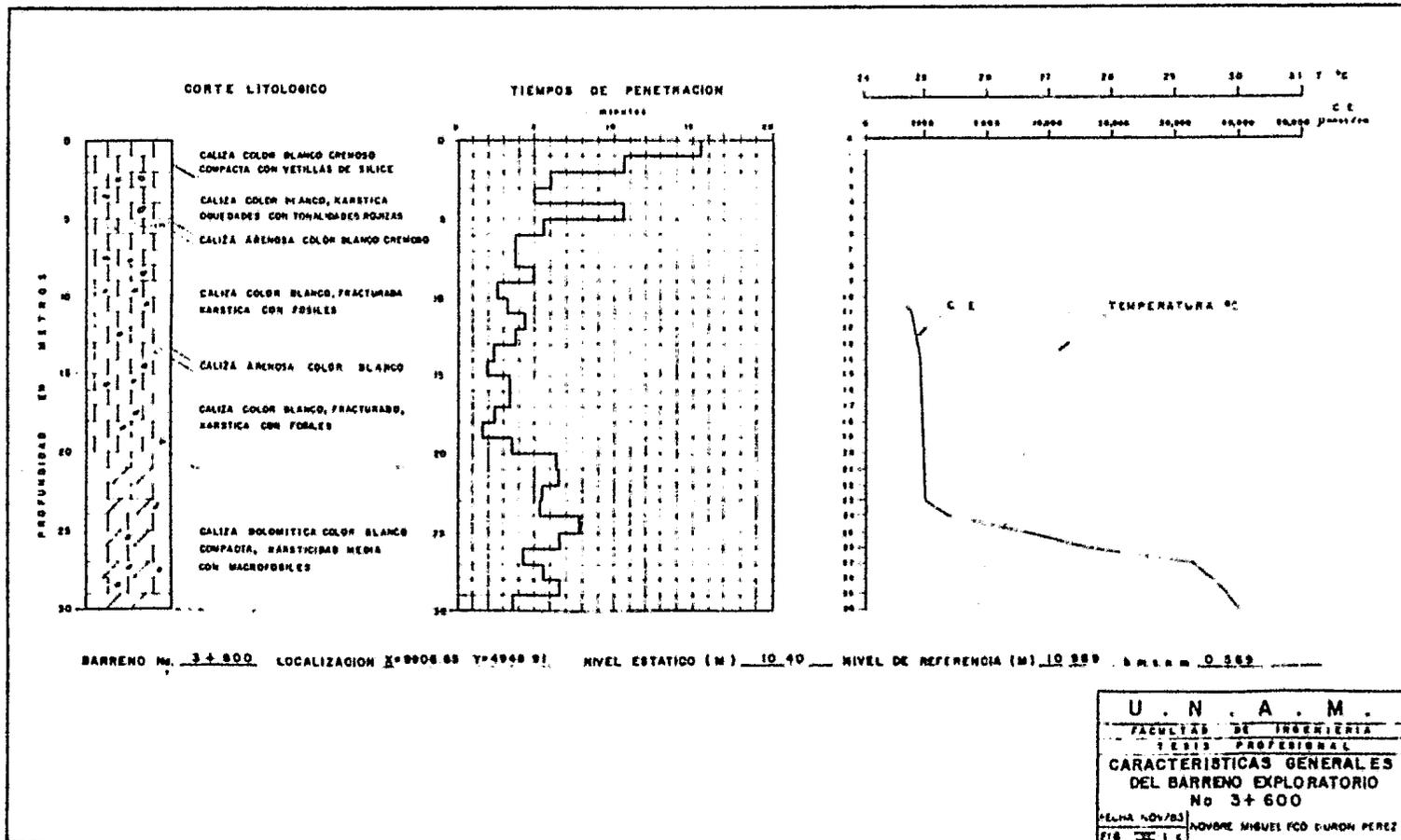
CALIZA DOLOMATICA COLOR BLANCO COMPACTA, KARSTICIDAD MEDIA CON MACRO FAUNA

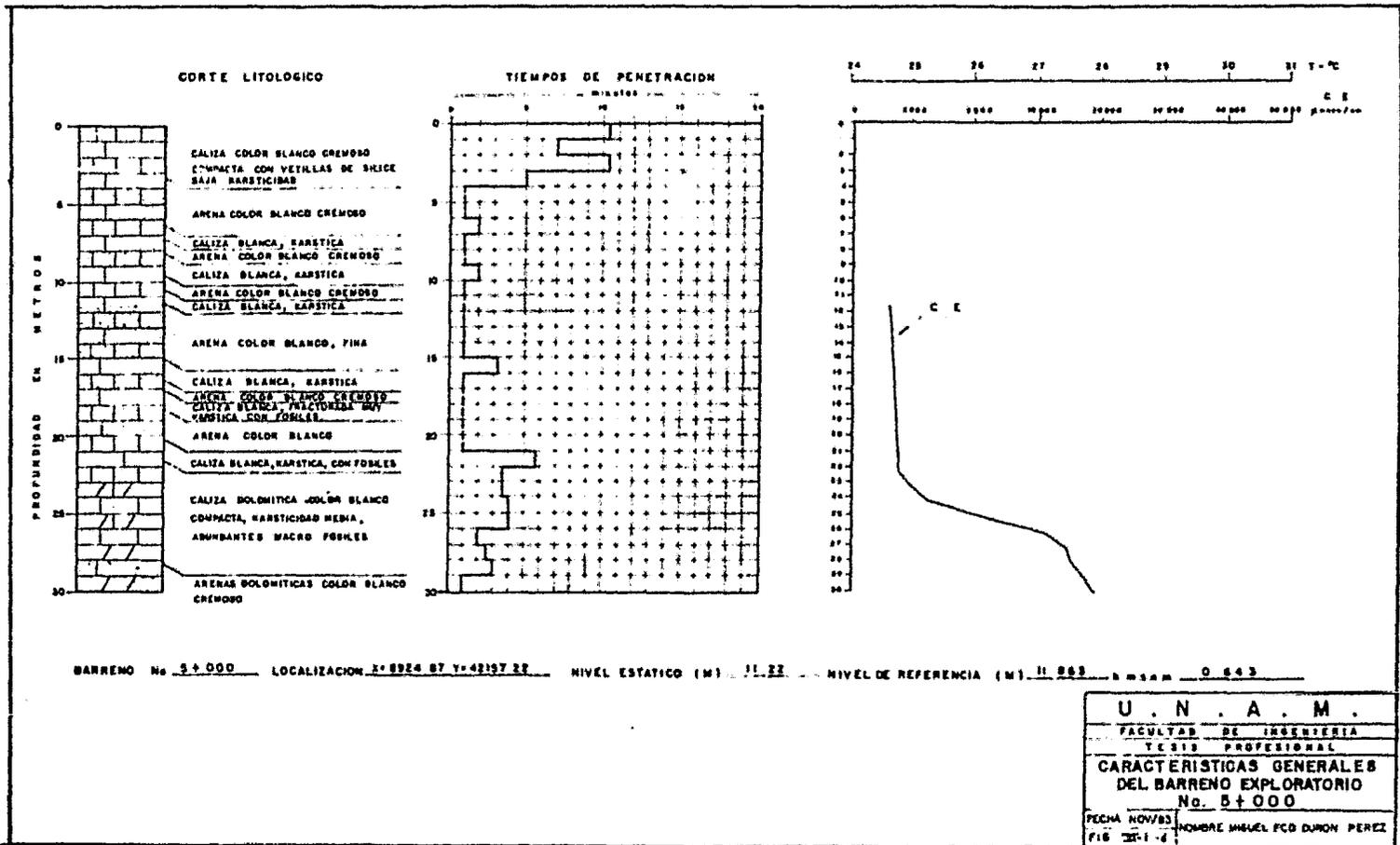
TIEMPOS DE PENETRACION

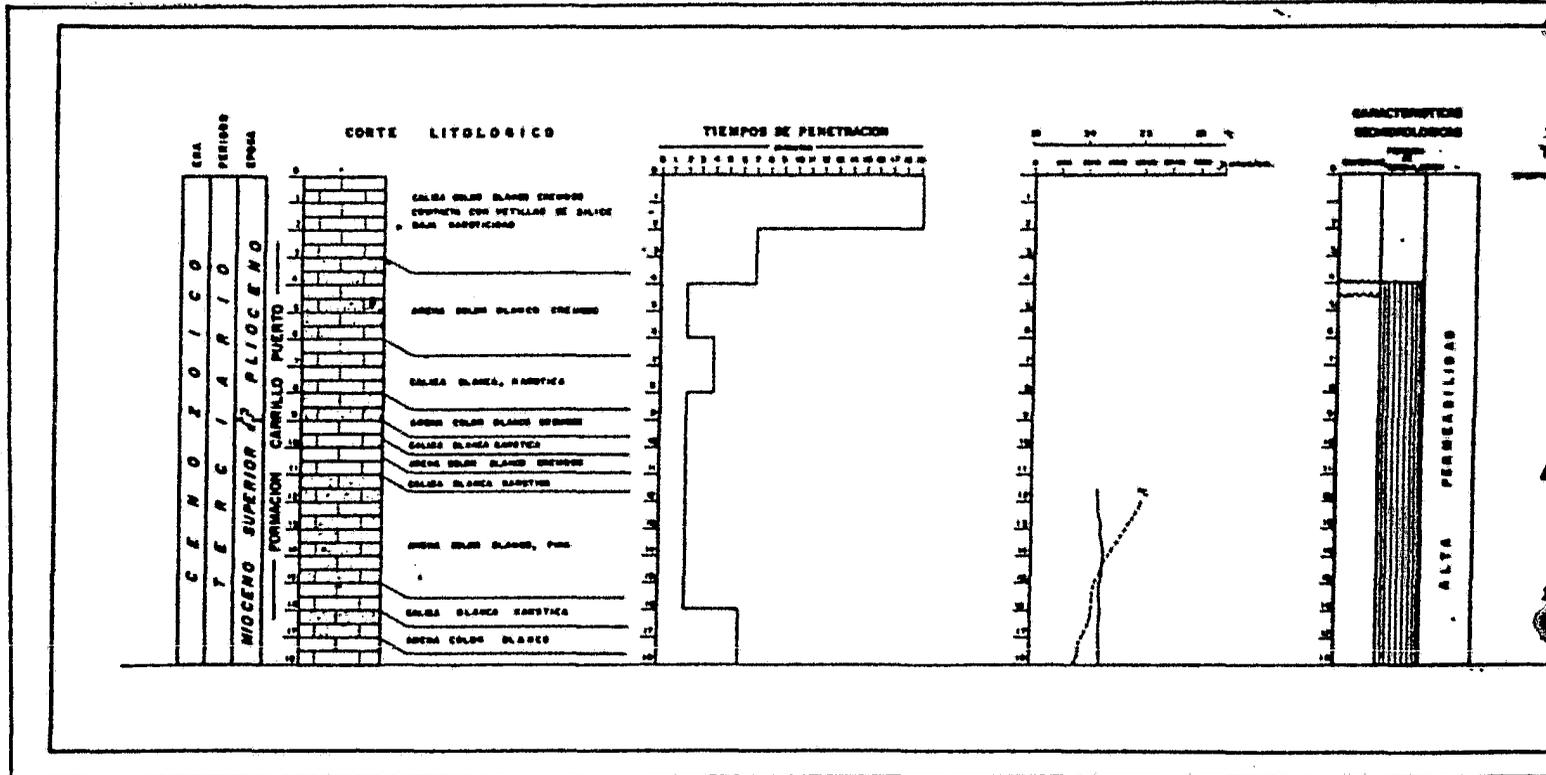


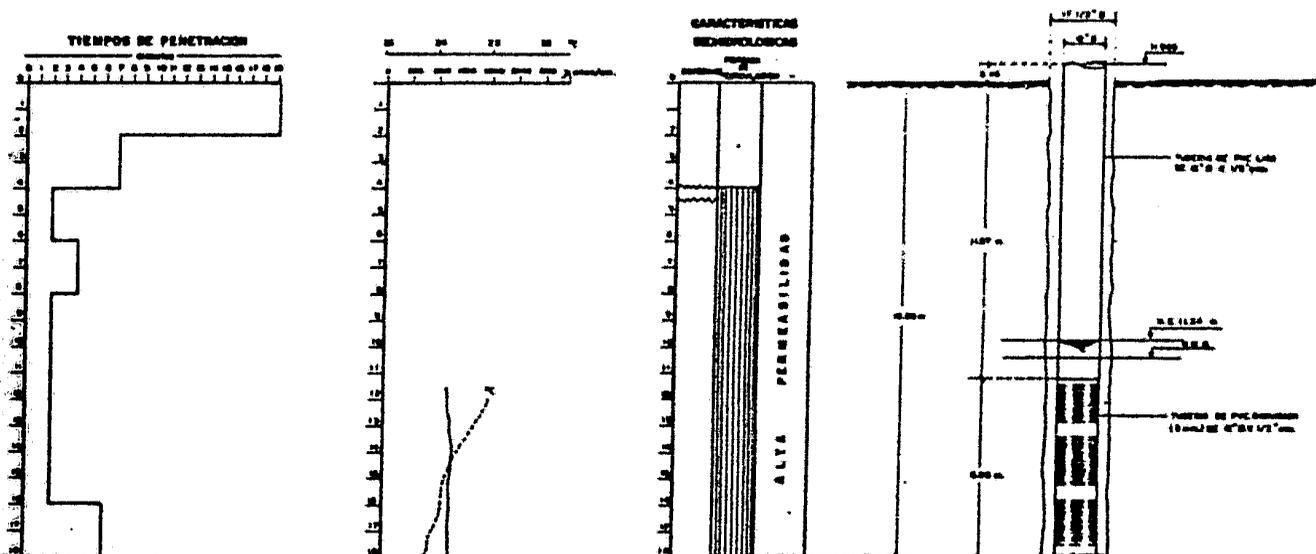
BARRENO No. 2+100 LOCALIZACION X=10751.23 Y=39919.13 NIVEL ESTÁTICO (M) 9.378 NIVEL DE REFERENCIA (M) 10.133 P.M.S. 0.560

U . N . A . M .	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
CARACTERISTICAS GENERALES	
DEL BARRENO EXPLORATORIO	
No. 2+100	
FECHA NOV/83	NOMBRE DANIEL PGO. DURAN PEREZ
FIG. 3-7-5	









U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA

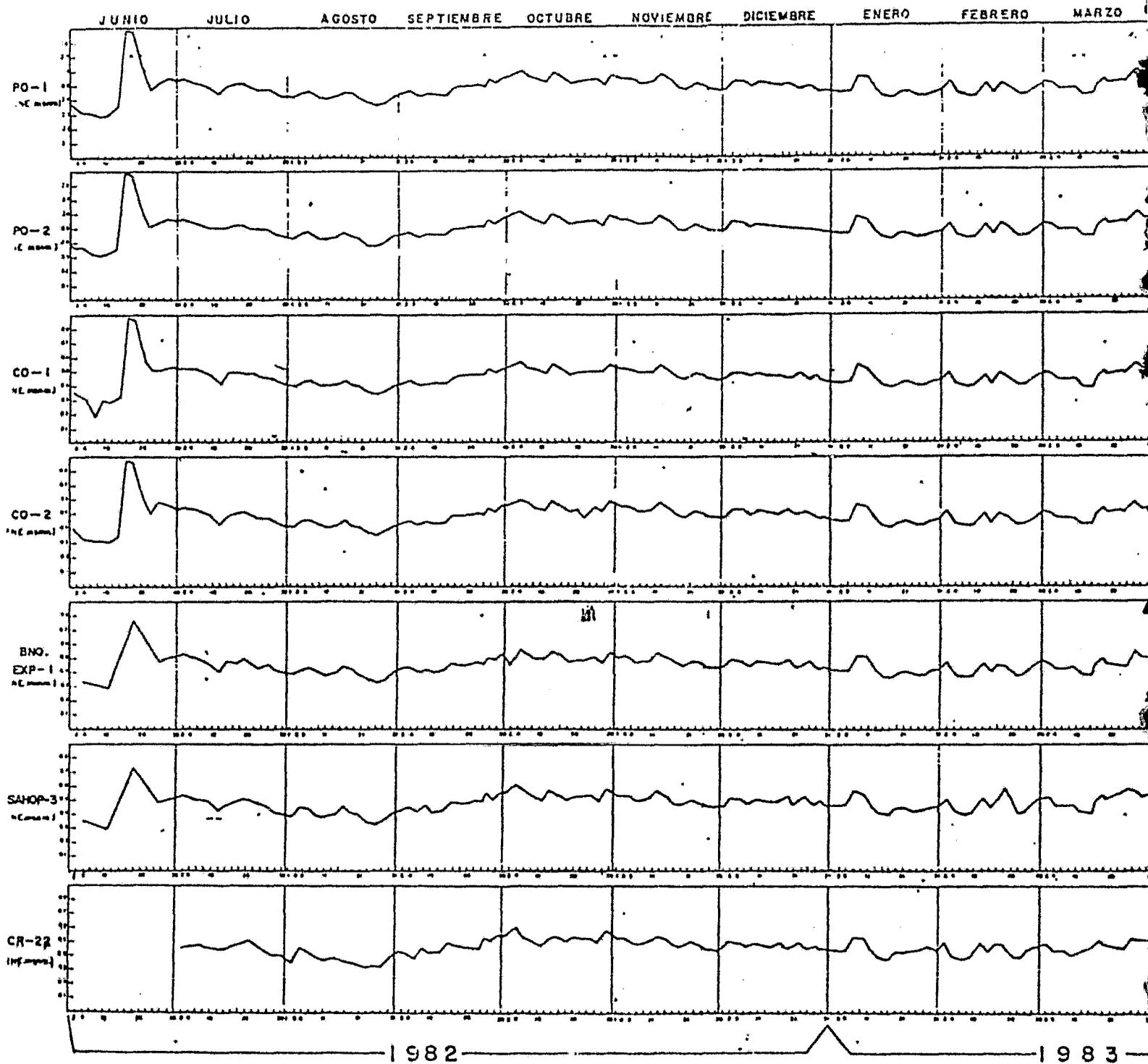
TESIS PROFESIONAL

CARACTERISTICAS GENERALES
DEL POZO DE OBSERVACION

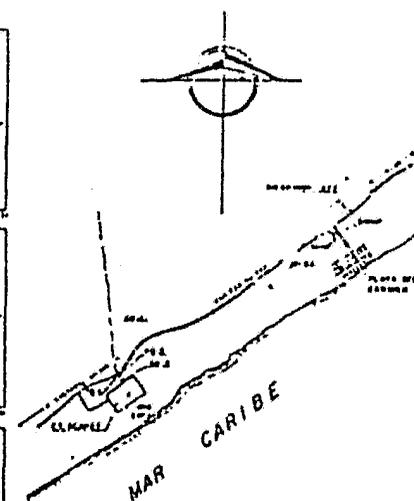
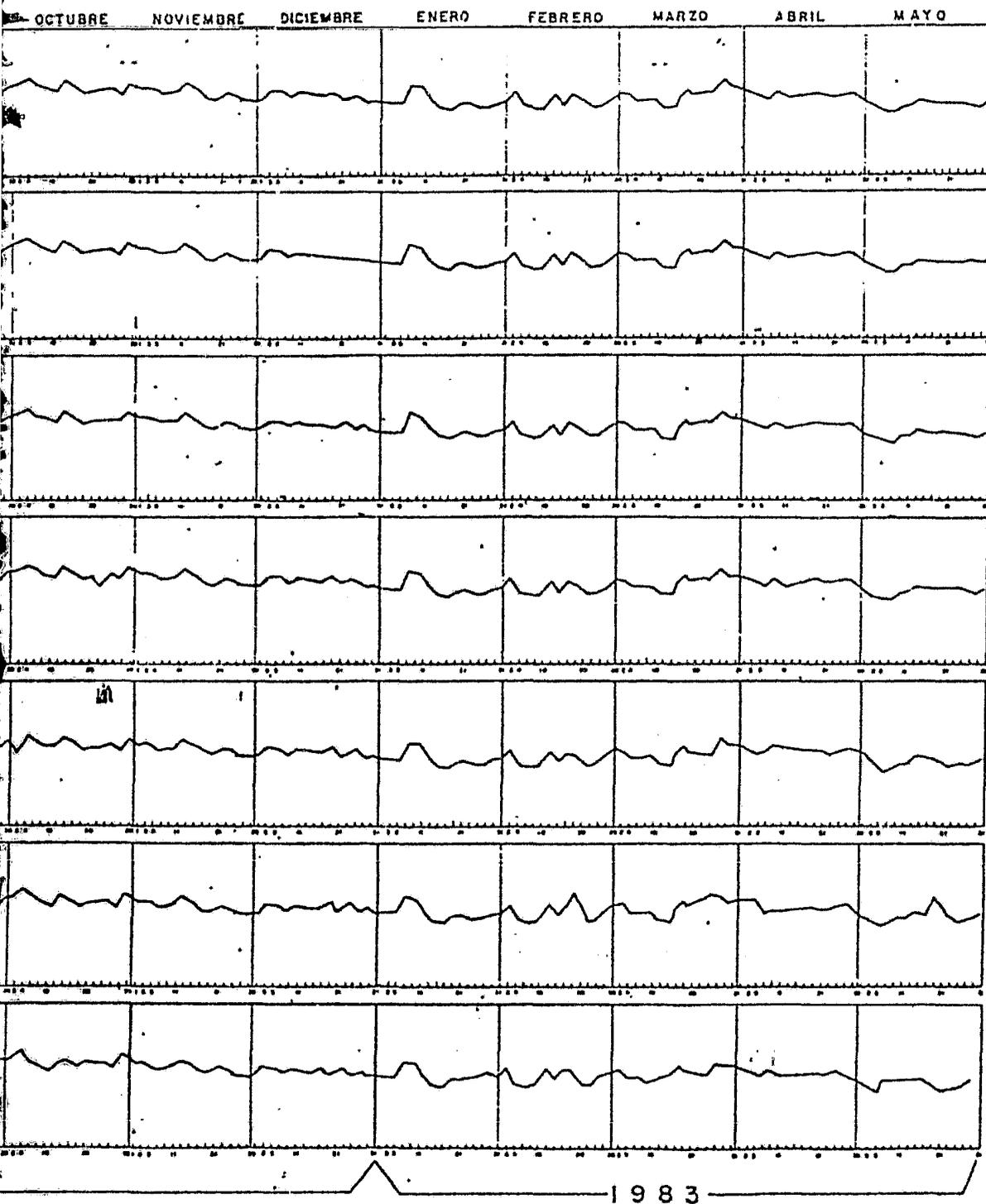
FECHA: NOV/83

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ

FIG. VI- 1 - 3



H I D R O G R A F O S



CROQUIS DE LOCALIZACION

LEYENDA

- PO-1
- PO-2
- CO-1
- CO-2
- INVIEXP/1
- SAHP-3
- CR 22

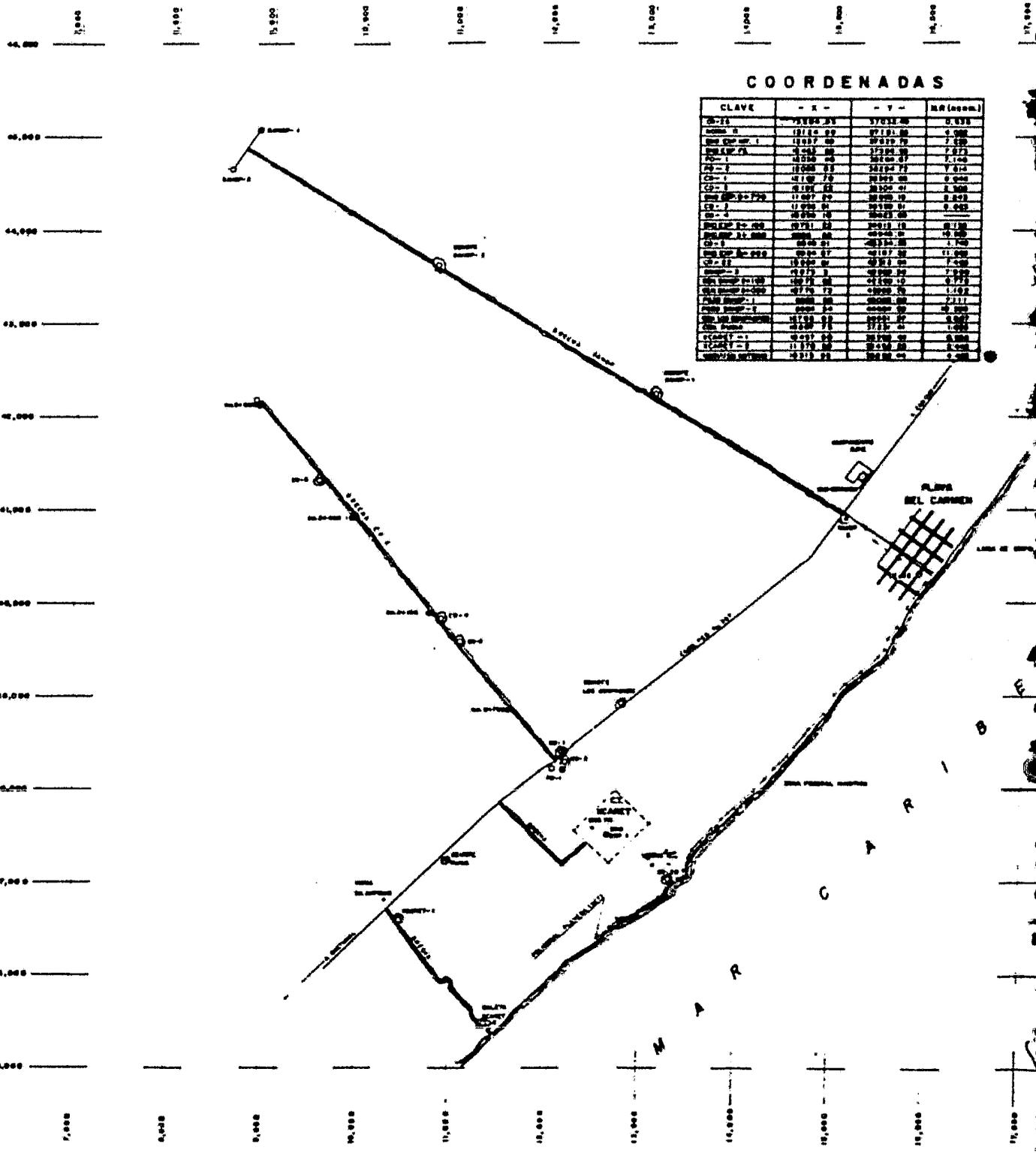
U N A M .

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

H. DE POZOS ENOS Y C. DE OBS.

FIG. III-2-a | M. DURON P.

D R O G R A F O S

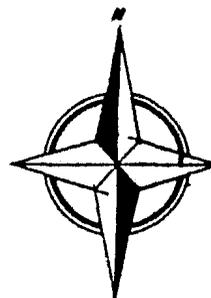


COORDENADAS

CLAVE	X	Y	AL (metros)
25-11	11200 24	17031 26	0.431
25-11	11210 22	17101 26	0.000
25-11	11210 20	17171 26	1.230
25-11	11210 18	17241 26	2.460
25-11	11210 16	17311 26	3.690
25-11	11210 14	17381 26	4.920
25-11	11210 12	17451 26	6.150
25-11	11210 10	17521 26	7.380
25-11	11210 8	17591 26	8.610
25-11	11210 6	17661 26	9.840
25-11	11210 4	17731 26	11.070
25-11	11210 2	17801 26	12.300
25-11	11210 0	17871 26	13.530
25-11	11210 -2	17941 26	14.760
25-11	11210 -4	18011 26	15.990
25-11	11210 -6	18081 26	17.220
25-11	11210 -8	18151 26	18.450
25-11	11210 -10	18221 26	19.680
25-11	11210 -12	18291 26	20.910
25-11	11210 -14	18361 26	22.140
25-11	11210 -16	18431 26	23.370
25-11	11210 -18	18501 26	24.600
25-11	11210 -20	18571 26	25.830
25-11	11210 -22	18641 26	27.060
25-11	11210 -24	18711 26	28.290
25-11	11210 -26	18781 26	29.520
25-11	11210 -28	18851 26	30.750
25-11	11210 -30	18921 26	31.980
25-11	11210 -32	18991 26	33.210
25-11	11210 -34	19061 26	34.440
25-11	11210 -36	19131 26	35.670
25-11	11210 -38	19201 26	36.900
25-11	11210 -40	19271 26	38.130
25-11	11210 -42	19341 26	39.360
25-11	11210 -44	19411 26	40.590
25-11	11210 -46	19481 26	41.820
25-11	11210 -48	19551 26	43.050
25-11	11210 -50	19621 26	44.280
25-11	11210 -52	19691 26	45.510
25-11	11210 -54	19761 26	46.740
25-11	11210 -56	19831 26	47.970
25-11	11210 -58	19901 26	49.200
25-11	11210 -60	19971 26	50.430
25-11	11210 -62	20041 26	51.660
25-11	11210 -64	20111 26	52.890
25-11	11210 -66	20181 26	54.120
25-11	11210 -68	20251 26	55.350
25-11	11210 -70	20321 26	56.580
25-11	11210 -72	20391 26	57.810
25-11	11210 -74	20461 26	59.040
25-11	11210 -76	20531 26	60.270
25-11	11210 -78	20601 26	61.500
25-11	11210 -80	20671 26	62.730
25-11	11210 -82	20741 26	63.960
25-11	11210 -84	20811 26	65.190
25-11	11210 -86	20881 26	66.420
25-11	11210 -88	20951 26	67.650
25-11	11210 -90	21021 26	68.880
25-11	11210 -92	21091 26	70.110
25-11	11210 -94	21161 26	71.340
25-11	11210 -96	21231 26	72.570
25-11	11210 -98	21301 26	73.800
25-11	11210 -100	21371 26	75.030

COORDENADAS

CLAVE	- E -	- Y -	MR (norm)
CA-11	10700 03	37031 00	0 031
CA-12	10700 02	37121 00	0 020
CA-13	10807 00	37010 70	7 020
CA-14	10700 00	37201 00	7 020
CA-15	10700 00	37100 07	7 100
CA-16	10800 03	36904 70	7 010
CA-17	10700 70	36900 00	0 000
CA-18	10700 00	36900 00	0 000
CA-19	11000 00	36900 10	0 010
CA-20	11000 00	36900 00	0 000
CA-21	10800 10	36921 00	0 000
CA-22	10701 00	36911 10	0 110
CA-23	10800 00	36900 00	0 000
CA-24	10800 00	36900 00	0 000
CA-25	10800 00	36900 00	0 000
CA-26	10800 00	36900 00	0 000
CA-27	10800 00	36900 00	0 000
CA-28	10800 00	36900 00	0 000
CA-29	10800 00	36900 00	0 000
CA-30	10800 00	36900 00	0 000
CA-31	10800 00	36900 00	0 000
CA-32	10800 00	36900 00	0 000
CA-33	10800 00	36900 00	0 000
CA-34	10800 00	36900 00	0 000
CA-35	10800 00	36900 00	0 000
CA-36	10800 00	36900 00	0 000
CA-37	10800 00	36900 00	0 000
CA-38	10800 00	36900 00	0 000
CA-39	10800 00	36900 00	0 000
CA-40	10800 00	36900 00	0 000
CA-41	10800 00	36900 00	0 000
CA-42	10800 00	36900 00	0 000
CA-43	10800 00	36900 00	0 000
CA-44	10800 00	36900 00	0 000
CA-45	10800 00	36900 00	0 000
CA-46	10800 00	36900 00	0 000
CA-47	10800 00	36900 00	0 000
CA-48	10800 00	36900 00	0 000
CA-49	10800 00	36900 00	0 000
CA-50	10800 00	36900 00	0 000



SIMBOLOGIA

BARREROS EXPLORATORIOS	○
POZOS DE OBSERVACION	○
CENOTE DE OBSERVACION	⊙
NOVA	•
BRECHA	—
DIRRETERIA	—
POLIGONAL PLATERA	—
POBLADO	—

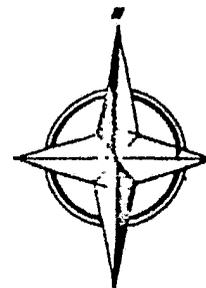


U . N . A . M .
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 LOCALIZACION TOP DE BNS.
 POZOS Y CENOTES DE OBS.
 FECHA. NOV/83
 FIG. VII -2-4

MIGUEL FCO. DURON P.

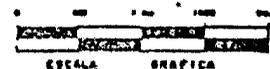
COORDENADAS

CLAVE	X	Y	AL (mnm.)
0-75	17854 93	17231 46	0 178
0-76	17 84 93	17 19 46	0 178
0-77	17857 93	17232 46	0 178
0-78	17860 93	17233 46	0 178
0-79	17863 93	17234 46	0 178
0-80	17866 93	17235 46	0 178
0-81	17869 93	17236 46	0 178
0-82	17872 93	17237 46	0 178
0-83	17875 93	17238 46	0 178
0-84	17878 93	17239 46	0 178
0-85	17881 93	17240 46	0 178
0-86	17884 93	17241 46	0 178
0-87	17887 93	17242 46	0 178
0-88	17890 93	17243 46	0 178
0-89	17893 93	17244 46	0 178
0-90	17896 93	17245 46	0 178
0-91	17899 93	17246 46	0 178
0-92	17902 93	17247 46	0 178
0-93	17905 93	17248 46	0 178
0-94	17908 93	17249 46	0 178
0-95	17911 93	17250 46	0 178
0-96	17914 93	17251 46	0 178
0-97	17917 93	17252 46	0 178
0-98	17920 93	17253 46	0 178
0-99	17923 93	17254 46	0 178
1-00	17926 93	17255 46	0 178



SIMBOLOGIA

BAJOS DE OBSERVACION	—	•
POZOS DE OBSERVACION	—	•
CENOTE DE OBSERVACION	—	•
MORLA	—	•
SIENNA	—	—
CANCTERA	—	—
POLIGONAL PLATEA	—	—
FORABO	—	—



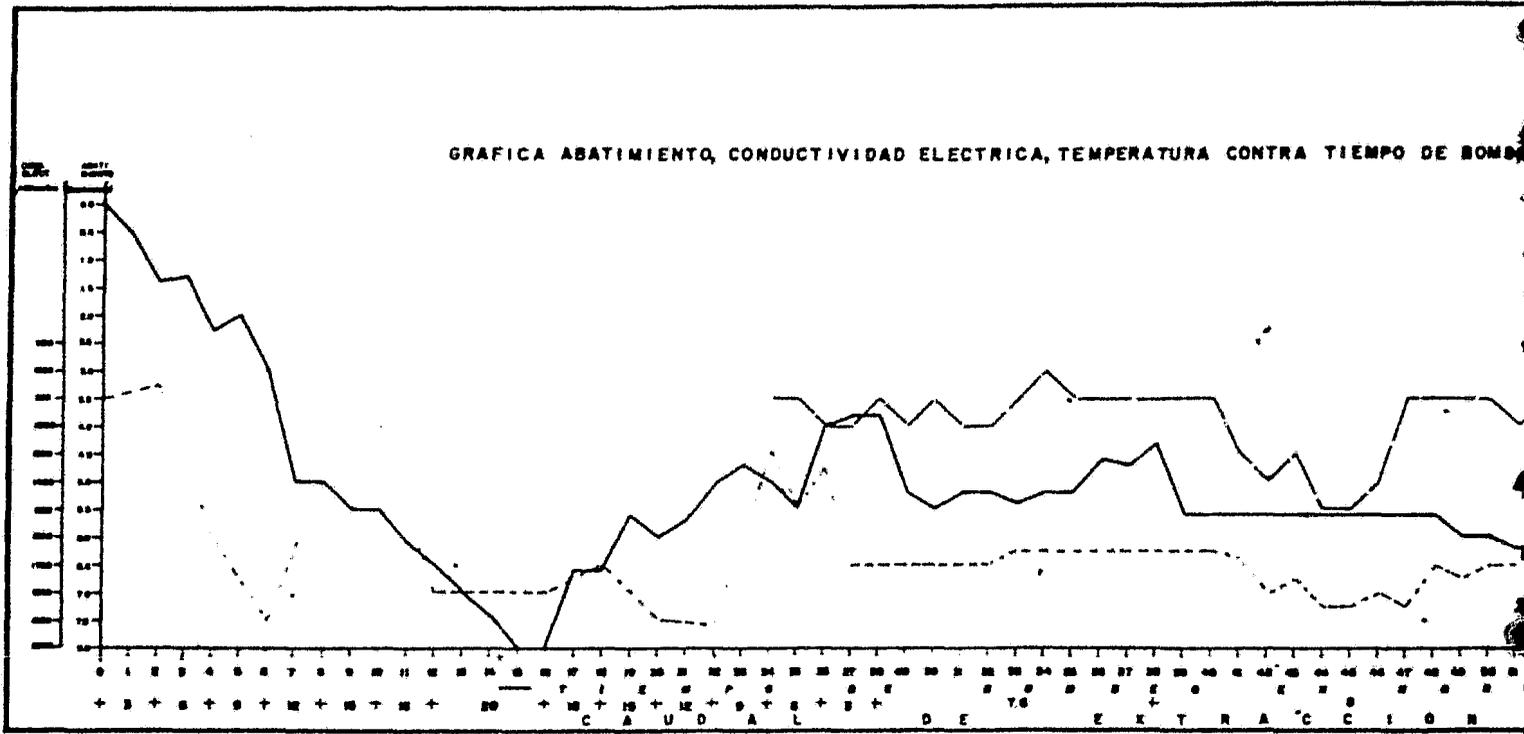
U . N . A . M .
 FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 DIRECCION DEL FLUJO
 SUBTERRANEO

FECHA. NOV/83

FIG. VI - 2 - d'

MIGUEL FCO. DURON P.

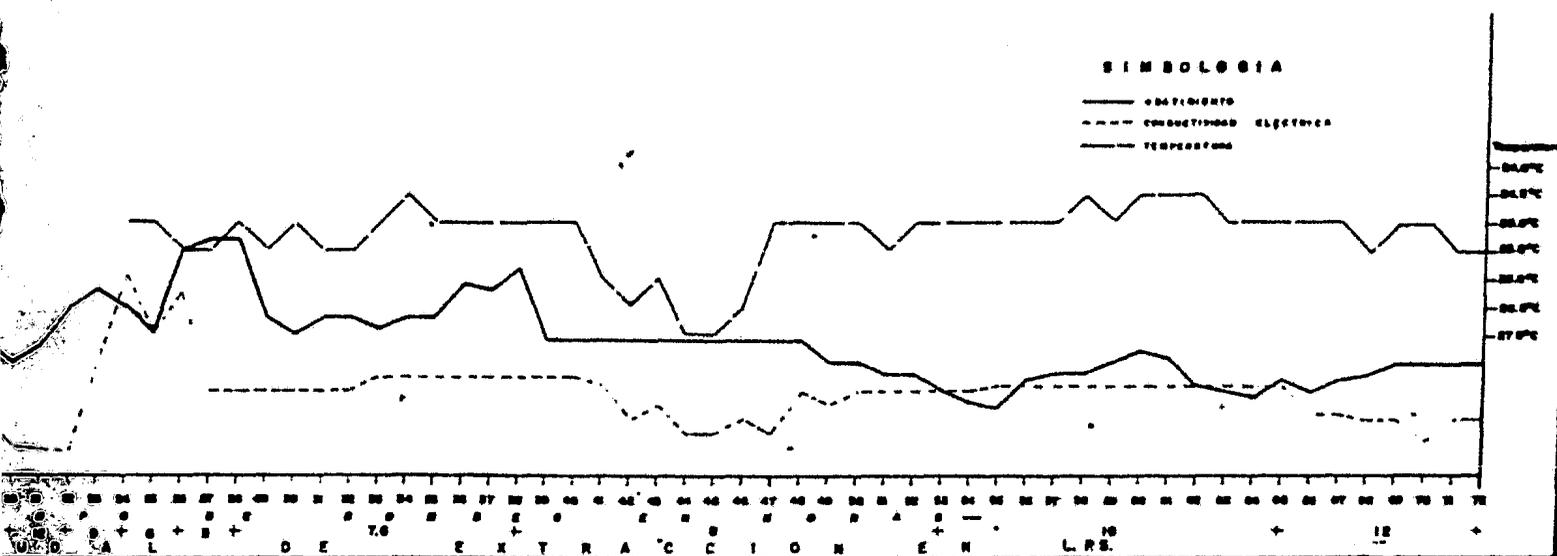
GRAFICA ABATIMIENTO, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DE BOMBEO



U
F
C
FECHA:
FIG. VI

PL. III-6

CAUDAL, CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, TEMPERATURA CONTRA TIEMPO DE BOMBEO POZO Nº 1



U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA

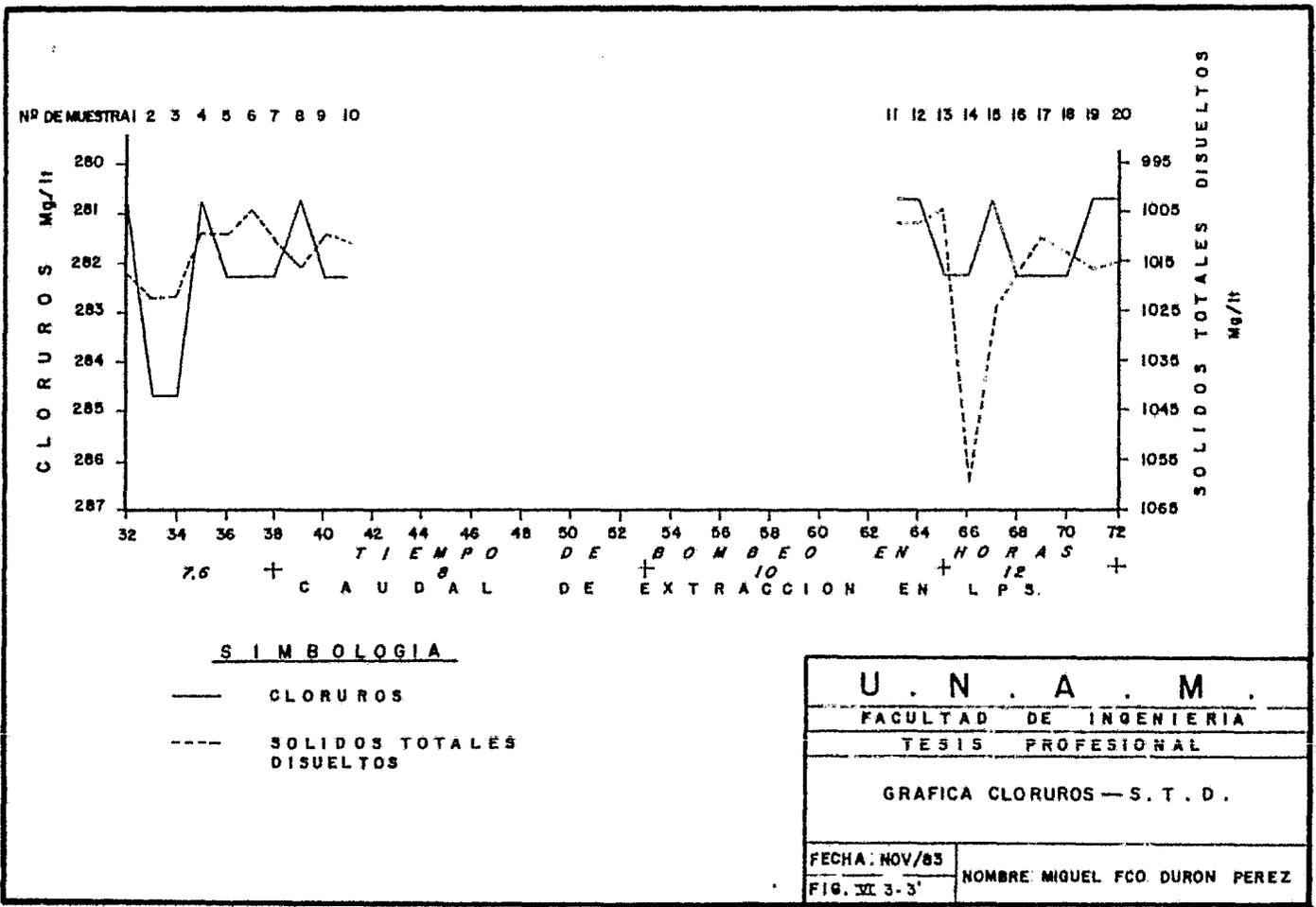
TESIS PROFESIONAL

GRAFICA DEL AFORO

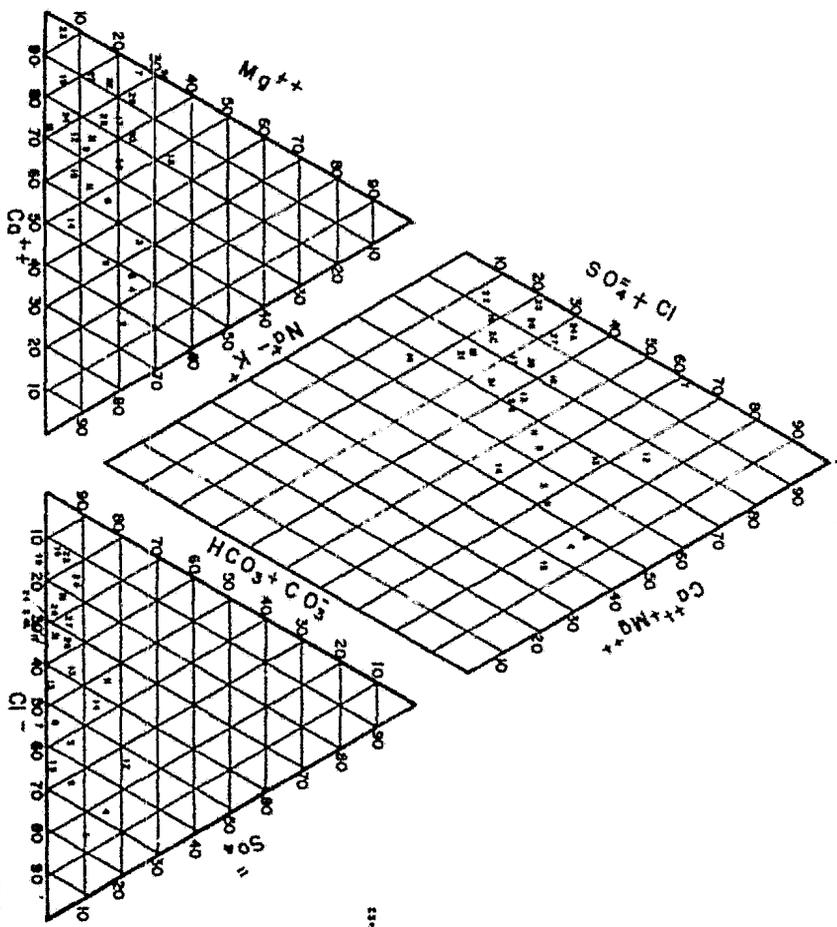
FECHA: NOV/83

FIG. VI -3-3

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ



— DIAGRAMA TRIANGULAR PARA LA REPRESENTACION GRAFICA DE ANALISIS DE AGUA —
 (Piper)

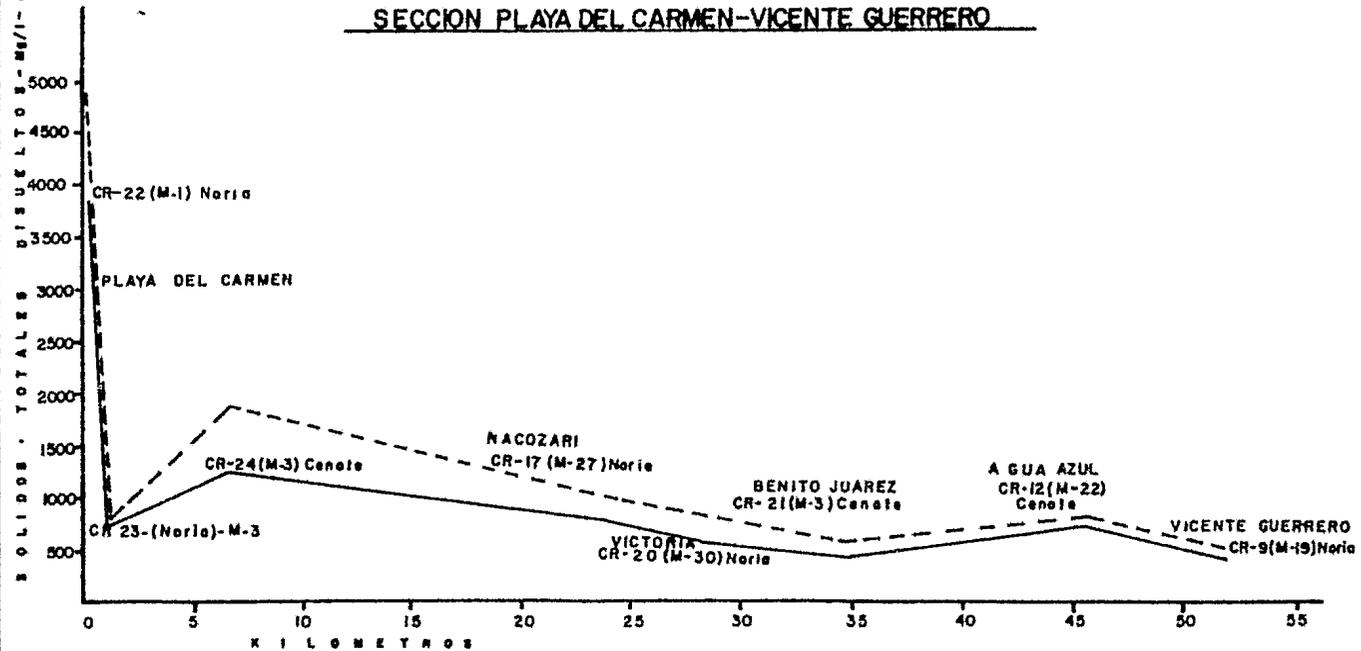


ESQUEMA DE MUESTRA

FIG VII-1-1

MQUEL F DURON PEREZ

SECCION PLAYA DEL CARMEN-VICENTE GUERRERO



SIMBOLOGIA

- CR-24- CLAVE DEL CENSO REGIONAL
- (M-27-) NUMERO DE MUESTRA
- SOLIDOS TOTALES DISUELTOS - mg/l
- - - - CONDUCTIVIDAD ELECTRICA - mhos/cm

U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

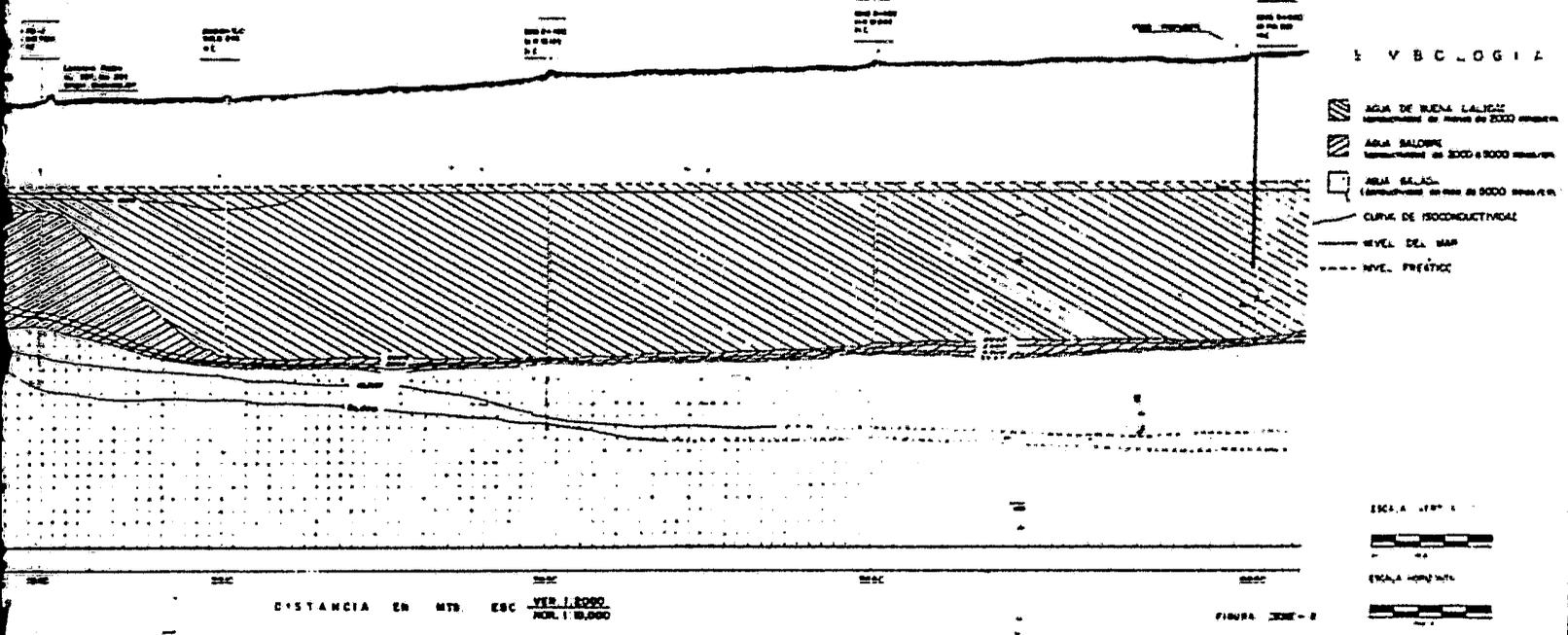
PERFIL S.T.D - C.E.

FECHA NOV/83

FIG III - 1 2

NOMBRE MIGUEL FCO DURON PEREZ

SECCION DE CONDUCTIVIDAD ELECTRICA



U . N . A . M .

FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL

GRAFICA DE CALIDAD DEL AGUA
(XCARET)

FECHA: NOV/83

FIG. VII - 1 - 3

NOMBRE: MIGUEL FCO. DURON PEREZ