



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

245  
217

ESTUDIO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA  
LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PUERTO DE  
COATZACOALCOS, VERACRUZ

# TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

ALFONSO VELASCO MENDOZA

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

ESTUDIO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA ZONA DE IN-  
FLUENCIA DEL PUERTO DE COATEPEC, VER.

I.- INTRODUCCION.

1.1.- Introducción.	1
1.2.- Objetivo y desarrollo de la tesis.	2
1.3.- Localización de la zona en estudio.	5
1.4.- Aspectos socioeconómicos.	6

II.- DEMANDA DE AGUA.

2.1.- Tipos de demanda en la zona.	16
2.2.- Demanda por uso doméstico.	16
2.2.1.- Distribución de la población.	17
2.2.2.- Crecimiento de la población.	20
2.2.3.- Dotaciones.	25
2.2.4.- Cálculo de la demanda	28
2.3.- Demanda por uso industrial.	34
2.3.1.- Dotaciones.	34
2.3.2.- Cuantificación de la demanda.	38
2.4.- Demanda por uso agrícola, pecuario y otros.	40

2.4.1.- Demanda agrícola.	40
2.4.2.- Demanda pecuaria.	43
2.4.3.- Pesca.	46
2.4.4.- Navegación y otras demandas.	46
2.5.- Demanda total.	49
III.- DISPONIBILIDAD DE AGUA.	52
3.1.- Hidrología superficial.	53
3.1.1.- Climatología.	54
3.1.2.- Hidrografía de la cuenca.	60
3.1.3.- Escurrimientos.	65
3.1.4.- Aprovechamiento del agua superficial.	70
3.1.5.- Disponibilidad de agua superficial.	77
3.2.- Hidrología subterránea.	85
3.2.1.- Geología.	85
3.2.2.- Hidrogeología.	87
3.2.3.- Geohidrología.	90
3.2.4.- Aprovechamiento del agua subterránea.	97
3.2.5.- Disponibilidad de agua subterránea.	102
3.3.- Disponibilidad adicional.	103
3.3.1.- Reuso.	104

3.3.2.- Desalación.	106
3.4.- Disponibilidad total.	109
IV.- BALANCE.	111
4.1.- Balance hidráulico en la región.	111
4.2.- Comprobación de resultados.	112
V.- CONCLUSIONES.	
5.1.- Conclusiones generales.	118
5.2.- Consideraciones relativas al abastecimiento de agua.	120
5.3.- Conclusión final.	123
Bibliografía.	124
Figuras y planos.	126

## I.- I N T R O D U C C I O N

### 1.1.- Introducción.

El gran potencial de reservas petrolíferas, además - de otros recursos, ha provocado en el sureste del país un incremento notable y acelerado de las actividades indus--- triales, primordialmente, en los últimos años y se espera, que tal situación continúe hasta el final de este siglo.

Esto es evidente en la región correspondiente a la - desembocadura del Río Coatzacoalcos, en donde, debido a su ubicación geográfica y a sus recursos naturales, se tienen programas muy ambiciosos destinados a la construcción de - importantes obras de infraestructura que contribuirán al - desarrollo industrial y económico en general, de la región y consecuentemente del país.

Entre tales obras, las relacionadas con el petróleo son las que han recibido mayor impulso. El Gobierno Fede-- ral, a través de PEMEX, ha contribuido a la construcción - de grandes complejos industriales, especializados en la -- producción de petroquímicos. Así se tienen, en operación, la Refinería de Minatitlán, los complejos industriales de Cosoleacaque, Pajaritos y Cangrejera; además se tiene en - construcción al complejo de Lorelos y el ambicioso proyec-

to que incluye la construcción y desarrollo de un puerto industrial en la Laguna del Ostión, (ver Figura 1.1).

Bajo estas circunstancias, se han elaborado planes que ordenan el desarrollo de la región, haciendo compatibles las actividades económicas de la población con los recursos naturales locales.

Es innegable la estrecha relación que guarda el uso del agua con todas las actividades humanas, por lo que resulta importante, antes de establecer cualquiera de éstas en una región determinada, conocer los requerimientos de agua para que puedan realizarse y la disponibilidad del recurso en esa misma región. En consecuencia, esto permitirá establecer las acciones de mayor eficacia que habrán de establecerse para el racional aprovechamiento del agua.

En efecto y virtud a lo anteriormente expresado se planteó la necesidad de conocer cualitativa y cuantitativamente la disponibilidad de agua, ante la perspectiva planteada del incremento en la demanda que también debe ser cuantificada, para la región en estudio.

## 1.2.- Objetivo y desarrollo de la Tesis.

### 1.2.1.- Objetivo.

De acuerdo a las condiciones físicas naturales de la región en estudio, aparentemente el agua disponible en ella, para la satisfacción de las demandas para diversos usos, es suficiente para que no se presenten problemas de escasez en la actualidad, ni en un largo periodo de tiempo a futuro.

Sin embargo, esta apreciación no será válida si no fuese debidamente justificada por argumentos fundamentados en un estudio en el que se aplicase la tecnología respectiva.

Es propósito de esta tesis presentar dicho estudio; mediante el cual fué posible evaluar, tanto en calidad como en cantidad, la disponibilidad y la demanda del recurso agua.

#### 1.2.2.- Desarrollo

La tesis se desarrolló de la siguiente manera:

Primero se determinaron las demandas esperadas en el capítulo 2, por uso y a diferentes años proyectados hasta el año 2000. El pronóstico de estas demandas se calculó según el crecimiento, en el tiempo, del número de usuarios, determinando por las tendencias del incremento



esperado en las actividades económicas regionales que sin duda repercuten en la población.

Las tasas de dicho incremento se tomaron de acuerdo a lo previsto en los Planes Nacionales de Desarrollo Urbano e Industriales y en los censos de población, agrícola y ganadero para la región.

Enseguida, en el capítulo denominado Disponibilidad, se presentó un análisis hidrológico en dos partes, atendiendo a la naturaleza de las fuentes de suministro;

- La superficial, constituida por la lluvia, escurrimientos y cuerpos de agua sobre la superficie del terreno.
- La subterránea, que comprende a los acuíferos en general, susceptibles de aprovechamiento.

Con el análisis se estimó la potencialidad de ambas, pretendiendo así inferir la oferta del recurso de la región en estudio.

Una vez determinada tanto la oferta como la demanda de agua a futuro se presentó un balance entre estos dos -

conceptos en diferentes años hasta el 2000, con el propósito de verificar la validez de la suposición hecha en el -- sentido de que no se presentarán problemas de agua para cubrir las demandas.

### 1.3.- Localización de la zona en estudio.

La zona en estudio corresponde a la parte de la cuenca del Río Coatzacoalcos que pertenece al Edo. de Veracruz, se encuentra en el denominado Istmo de Tehuantepec, en su porción norte y al sureste del Estado. Queda delimitada para este caso particular entre los  $17^{\circ}15'$  y los  $18^{\circ}35'$  de -- Latitud Norte y los  $94^{\circ}$  y  $95^{\circ}$  de Longitud Oeste.

En la región se distinguen como los más importantes asentamientos humanos a la Ciudad y Puerto de Coatzacoal--cos, la Cd. de Minatitlán, Nanchital, Las Choapas, Agua -- Dulce, Allende, Cosoleacaque y un poco más alejadas del -- puerto se localizan Jáltipan (40 Kms. por carretera) y Aca yucan (60 Kms. por carretera) todas pertenecientes al men--cionado Estado de Veracruz.

La región se encuentra bien comunicada, en tierra -- por la carretera transístmica que va del puerto de Coatza--coalcos al de Salina Cruz, Oax., entroncando en la Cd. de Acayucan con la carretera a Alvarado y Veracruz, y en ----

Coatzacoalcos con la "carretera del paralelo 18" que conduce a la Cd. de Villahermosa, Tab., se cuenta con una estación de ferrocarril de carga y pasajeros de la Gerencia de Ferrocarriles Unidos del Sureste. En cuanto a la comunicación por aire se cuenta con un moderno aeropuerto entre las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, cuya pista es de largo alcance. Por otra parte el Río Coatzacoalcos es navegable, por embarcaciones grandes hasta Minatitlán, en su mayor parte por embarcaciones pequeñas de pasajeros, que tienen establecido el servicio entre el puerto y las poblaciones localizadas aguas arriba (ver figura 1.3).

#### 1.4.- Aspectos socioeconómicos.

La ubicación geográfica de la región, que como ya se apuntó, corresponde al Istmo de Tehuantepec y que siendo la franja continental más angosta del país permite una más rápida comunicación entre el Golfo de México y el Océano Pacífico con las consiguientes ventajas que esto representa, ha sido determinante en su desarrollo económico; añadiendo a esto la gran variedad y cantidad de recursos naturales que posee, especialmente de hidrocarburos.

El auge experimentado en las actividades económicas

de la región ha dado lugar a una urbanización relativamente intensa manifestada en la expansión de los centros de población y provocada por el crecimiento demográfico.

La principal actividad de la población es la relacionada con la industria, comercio y servicios en general, reforzadas por ser esta región la zona de influencia del Puerto, sin duda uno de los cuatro más importantes del país (junto con Lázaro Cárdenas, Mich., Altamira, Tamps., y Salina Cruz, Oax.).

Es el Puerto de Coatzacoalcos el principal centro de servicios de la región, allí ocurre el proceso más importante de migración, el de inmigración caracterizado por los grupos de obreros y técnicos atraídos por los empleos generados por la industria en su mayoría.

Al presentarse esta situación es evidente que la demanda de bienes y servicios también sufra incrementos, siendo la demanda de vivienda la primordial y por ende las demás, como agua, drenaje, transporte, etc.

Pero ante la creciente demanda de vivienda se presenta la escasa oferta, debida en parte al poco impulso a la construcción en este sentido y también a la poca disponibilidad y deficiente regulación en el uso del suelo hasta es

te entonces.

Lo anterior ha dado lugar al establecimiento de --- asentamientos irregulares, sin control en la tenencia de la tierra, en su distribución territorial y con precarias condiciones de habitabilidad, en los alrededores de la -- ciudad y en poblados cercanos como en el caso de Allende, Nanchital y pequeñas villas y colonias diseminadas en la zona.

Como ejemplo de lo anterior se tiene que en Coatzacoalcos el 52% de la vivienda es no aceptable y el 70% -- presenta problemas de tenencia, no cumple con los requisitos de construcción o carece de algún o algunos de los -- servicios elementales.

Minatitlán es la otra ciudad más importante de la -- región y una de las diez localidades urbanas con mayor jerarquía en el Estado de Veracruz, junto con Coatzacoalcos.

Por esta razón y dada su cercanía (20 Kms.) al ruerto afronta problemas de población similares a los de él.

La Ciudad de Minatitlán ha tenido un gran crecimiento, incluso mayor que Coatzacoalcos, a principios de si-- glo, sin duda debido al establecimiento de la refinería -

de petróleo en 1909.

Dicho crecimiento se vió estancado hasta el principio de la década de los sesenta, cuando se apoya la generación de empleos propiciada por el nuevo impulso a la industria petrolera, circunstancia que se evidencia al señalar que allí tuvo lugar la construcción del primer complejo petroquímico de la región (Minatitlán que comenzó a -- operar en 1964).

El problema de la vivienda y demás servicios urbanos tiene las mismas características que en Coatzacoalcos, aunque para su solución pueden tenerse mejores alternativas puesto que Minatitlán cuenta con más área de reserva territorial destinada para vivienda.

El proceso de urbanización ha sido más marcado en Coatzacoalcos y Minatitlán, si acaso Nanchital ha sufrido similar fenómeno, éste ha sido menos pronunciado que en las dos primeras; en el resto de las localidades el crecimiento no ha sido tan agudo, pudiéndose decir incluso que, en algunos casos, ha sido negativo, debido sin duda a la atracción que ejercen los centros más desarrollados. Tal

es el caso de localidades ubicadas en los municipios de -- Cosoleacaque, Las Choapas, Oteapan, Chimaneca, Holoacan, Hidalgotitlán, Zaragoza, Fajapan, Jáltipan y Acayucan; -- aunque estas dos últimas tienen su importancia por sí mismas, y la actividad en ellas, aunque lentamente, ha seguido desarrollándose. Jáltipan se caracteriza por su importante producción de azufre, arena silicosa y sales de potasio; mientras que Acayucan continúa siendo una importante ciudad comercial apoyada por el hecho de encontrarse -- ubicada justo en el punto donde se encuentran los caminos que conducen al sureste del país, al norte del Estado y -- al resto del istmo.

Por esta razón es que en el fenómeno migratorio de la zona destaca la inmigración de gente proveniente de -- los Estados de Tabasco, Campeche, Chiapas y Oaxaca, siendo que a últimas fechas se acusa una disminución en los -- tres primeros debido al recientemente fuerte impulso económico dado a esos Estados. El gran apoyo dado a la actividad industrial ha repercutido significativamente en la -- producción agropecuaria regional, puesto que la fuerza de trabajo de este sector ha disminuido progresivamente porque la población ha preferido dedicarse a las actividades propias del sector secundario de la producción.

si bien en época anterior el área en estudio ( llá-

Esta zona de influencia del Puerto de Coatzacoalcos) ha recibido impulso en los diversos renglones de la economía, es a partir de la década pasada cuando se inicia el auge industrial, convirtiéndose de este modo en la región con una de las mayores tasas de inversión de capital en el país. En efecto, cronológicamente puede distinguirse como ha evolucionado dicho proceso industrializador de la zona, pudiendo resumirse en los tres aspectos principales siguientes.

1<sup>o</sup>.- Extracción de materias primas.- Que fue la primera actividad desarrollada, con la explotación de los yacimientos petroleros, se inició por el año 1909 y actualmente sigue efectuándose.

2<sup>o</sup>.- Refinación de petróleo. Consecuentemente al primer aspecto se construye la refinería de Minatitlán (1909) y más recientemente la de Salina Cruz, Gax., y las ampliaciones de la primera.

3<sup>o</sup>.- La industria petroquímica. Como renata a las actividades extractivas y de refinación, y aprovechando las ventajas que los puertos (Coatzacoalcos-Salina Cruz) ofrecen para el comercio de productos más elaborados, es posible que a partir del segundo lustro de los años



sesenta se establezcan los primeros centros industriales de procesamiento de productos refinados, llamados complejos petroquímicos. Así aparecen:

- El complejo petroquímico de Minatitlán compuesto de 9 plantas que comenzaron a operar entre los años 1964 y 1968.
- Complejo petroquímico de Pajaritos, ubicado en la Laguna del mismo nombre, sobre la margen derecha a menos de 10 Kms., de la desembocadura del Río Coatzacoalcos, se compone de 10 plantas, comenzó a operar en 1967 y ha tenido continuas ampliaciones hasta la fecha.
- Complejo de Cosoleacaque en las cercanías de la Ciudad de Minatitlán, comenzó a operar en 1968, consta de 7 plantas procesadoras.
- Complejo de la Cangrejera, a 4 Kms. adelante de Pajaritos, rumbo a Villahermosa, integrado por 20 plantas procesadoras, el complejo fué inaugurado en 1981.
- Además se encuentra en etapa de construcción - -

otro complejo, el de Morelos, cercano al poblado de Allende y al complejo de Pajaritos.

- También en construcción se encuentra un sexto -- complejo y puerto industrial a la vez, con mayor capacidad que los anteriores, éste es el estratégico puerto industrial de la Laguna del Ostión, que se localiza a unos 20 kms., al norte de Coatlacoalcos.

A pesar de que la actividad extractiva en la zona se ha estancando, en regiones aledañas se ha incrementado al descubrirse nuevos yacimientos, con lo que se mantiene viva y creciente la industria de la transformación en la zona estudiada. Además como ya se indicó, la importancia de la zona, como productora de azufre, ha aumentado considerablemente en los últimos años.

Indiscutiblemente que la implantación de la industria petroquímica ha sido determinante en el impulso económico de la zona durante los últimos 15 años; de esto - pueden tomarse en cuenta los siguientes efectos principales:

- Efectos multiplicadores, en cuanto a la generación de industrias menores y de otros ramos.

- La generación de empleos por la industria en general, desde su construcción hasta su desarrollo.
- El resultante movimiento de población, variación demográfica extraordinaria en las localidades, -- con los problemas consecuentes en los servicios -- que esto ocasiona.

Aunque el ritmo de crecimiento económico es no uniforme, manifestándose claramente la ventaja en el desarrollo de los sectores secundario y terciario de la producción por encima del primario, es posible pensar en la ordenación de esfuerzos por hacerlos crecer conjunta y equilibradamente, dado que el potencial de recursos para el desarrollo del sector primario es de singular importancia, especialmente si se toma en cuenta la posible implantación de tecnología para la agricultura tropical y la actividad pesquera, sin olvidar a la ganadería que hasta el momento ha sido la menos descuidada.

Ante lo anterior se presenta la perspectiva de un mercado de tamaño considerable, como consecuencia del fuerte incremento de la población regional.

Por lo tanto, el área descrita configura a una re--

gión con mayores posibilidades de crecimiento, que da lugar a considerarla como "región a desenvolver integralmente", conforme a lo dispuesto en el Plan Nacional de Desarrollo Urbano que en su artículo 3 fracción I manifiesta como objetivo: . . . . "Racionalizar la distribución, en el Territorio Nacional, de las actividades económicas y de la población" . . . . y en su artículo 4 fracción II dice a nivel instrumentador de la política manifestada en el Decreto: . . . . "Promover la desconcentración de la industria, de los servicios públicos y de las diversas actividades a cargo del sector privado, orientándolas a las zonas que declara prioritarias el Plan" . . . .

De este modo la zona en estudio queda insertada en el Plan Regional de Desarrollo Urbano para la zona costera del Golfo e Istmo de Tehuantepec.

## II.- DEMANDA DE AGUA

### 2.1.- Tipos de demanda en la región.

Como se apuntó antes, el uso del agua está relacionado con todas las actividades humanas. Así pues, de acuerdo a las actividades preponderantes de la zona en estudio, como son la industria y el comercio, así como la pesca y la ganadería en menor grado, se distinguen los siguientes usos del agua en la región:

- 1.- Doméstico (que incluye al comercial y al de servicios en las ciudades).
- 2.- Industrial
- 3.- Agrícola y pecuario
- 4.- Pesca y navegación

A continuación se presenta el cálculo de cada una de las demandas habidas por cada uso

### 2.2.- Demanda por uso doméstico.

Para fines prácticos de cálculo se consideró en este trabajo que el uso doméstico engloba, a la vez, diversos usos particulares, principalmente en las ciudades, además

del doméstico propiamente dicho; entre tales se tienen a los llamados uso comercial (restaurantes, hoteles y demás establecimientos) y uso de servicios (riego de jardines, servicio contra incendio, etc.). Generalmente las demandas por estos usos son de relativamente escasa magnitud.

La demanda de agua para uso doméstico tiene lugar básicamente en las áreas de dispersión, pudiendo distinguirse de este modo dos tipos de demanda doméstica: la urbana y la rural; cuyas magnitudes son función de la población y la dotación respectiva.

El cálculo de la demanda se hizo a presente y a futuro, tomando en cuenta a la población actual y a las proyecciones de su variación, a futuro, esperadas por el Plan Nacional de Desarrollo Urbano, de acuerdo a los censos de población, así como las dotaciones que para este uso recomienda la SABH y que varían según la región, clima y número de habitantes.

#### 2.2.1.- Distribución de la población.

Para el análisis demográfico de la región estudiada se consideraron sólo a los municipios que se estimaron como los directamente influenciados por el - -

MUNICIPIO	CENSO	No. DE LOCALIDADES-HABITANTES		TOTAL	% POB. URB.
		POB. URBANA	RURAL		
ACAYUCAN	1960	1-12831	41-10813	42-23644	54.3
	1970	1-21173	35-13670	36-34843	60.3
COATZACOALCOS	1960	3-49201	15-4724	18-54425	91.3
	1970	4-98674	28-10914	32-109588	90.0
COSOLECAQUE	1960	2-8332	12-2418	14-10750	77.5
	1970	2-11045	25-9486	27-20531	53.8
CHIMNECA	1960		36-4821	36-4821	0
	1970	1-2913	42-4560	43-7473	39.0
HIDALGOTTILAN	1960	0	27-6525	27-6525	0
	1970	0	42-10882	42-10882	0
IXHOATLAN DEL SURESTE	1960	2-8923	14-2288	16-11211	79.6
	1970	1-8168	8-5467	9-13635	59.9
JALTIPAN DE MORELOS	1960	1-8588	13-2856	14-11444	75.0
	1970	1-15170	21-4715	22-19885	76.3
JESUS CARRANZA	1960	0	20-6954	20-6954	0
	1970	0	58-16565	58-16565	0
LAS ENCAPAS	1960	*(1-11189)	*	*	*
	1970	3-26267	23-13199	26-39466	66.6
MECANAPAN	1960	1-2622	13-4571	14-7193	36.5
	1970	1-2903	22-7209	23-10112	28.7
MINATITLAN	1960	2-46529	78-21775	80-68314	68.1
	1970	2-71687	59-22934	61-94621	75.8
MOLACANE	1960	0	25-6139	25-6139	0
	1970	1-3457	15-5311	16-8768	39.4
OLINTA	1960	1-3098	2-681	3-3779	82.0
	1970	1-4571	2-836	3-6387	84.9
OTENPAN	1960	1-3293	0	1-3293	100
	1970	1-3961	0	1-3961	100
PALMAPAN	1960	1-2878	23-2836	24-5714	50.4
	1970	1-2844	16-3620	17-6364	44.7
SAYULA	1960	1-4107	30-8770	31-12877	31.9
	1970	1-4893	47-11660	48-16443	29.8
SOCOMISCO	1960	0	12-2536	12-2536	0
	1970	0	15-3909	15-3909	0
SOLEAPAN	1960	0	24-8486	24-8486	0
	1970	0	39-12427	39-12427	0
TEXISTEPEC	1960	1-3785	17-3933	18-7718	49.8
	1970	1-4985	21-6183	22-11168	44.6
ZANAGOZA	1960	0	3-2669	3-2669	0
	1970	1-3128	0	1-3128	100
TOTALES		17-154697 23-285839	405-103614 518-162917	422-259511 541-448756	59.8 63.7

\* Incluido con Minatitlán.

DISTRIBUCION DE LA POBLACION

Tabla 2.2.1

Puerto de Coatzacoalcos. Todos estos, 20 en total, pertenecientes al Estado de Veracruz, se muestran en la figura 1.3.

Con los datos proporcionados por los censos generales de población VIII y IX (1960 y 1970 respectivamente) se elaboró la tabla 2.2.1 en la que se muestra, por municipios la población total y su distribución en población urbana y población rural, así como el número de localidades de cada uno de estos conceptos; entendiéndose como población urbana a la que se halla congregada en localidades con más de 2500 habitantes. También se indica en la misma tabla el porcentaje de población urbana con respecto del total.

En la tabla se aprecia que a pesar del gran número de localidades, la población se concentra en la minoría, que son las localidades urbanas, y que corresponden generalmente a las cabeceras municipales. En efecto, en 1960 se detectó que el 59.8% de la población total de la región se encontraba en las localidades urbanas que eran apenas el 4% del total de localidades; en el siguiente decenio (1970) la situación se mantuvo prácticamente igual pues las localidades urbanas representaban un 4.3% del total y albergaban al 63.7% de la población regional.



### 2.2.2.- Crecimiento poblacional.

A partir de la distribución de población por localidad y de los datos censales se procedió en este punto a hacer el análisis del comportamiento poblacional de las localidades más importantes, con la finalidad de estimar la población futura.

Para tal efecto se utilizaron los datos de población que arrojaron los censos de 1930, 1940, 1950, 1960 y 1970 en los municipios ya mencionados. Con tales datos se elaboró la tabla 2.2.2.a, en la que se indica la población por año y por municipio; al mismo tiempo se indica la tasa media de crecimiento anual en cada década calculada mediante la expresión siguiente:

$$t = \sqrt[n]{\frac{P_f}{P_o}} - 1 \dots \dots \dots (2.1)$$

donde t Tasa media de crecimiento anual de población - en %.

n Período de tiempo comprendido entre la variación de la población a calcular.

Po Población existente al inicio del período por analizar.

Pf Población existente al final de n años.

En el cálculo del crecimiento de la población urbana y de la rural, en la región, sólo fué posible utilizar los datos de los años 1960 y 1970 por carecerse de más información.

MUNICIPIO	POBLACION		TASA MEDIA DE CREC. ANUAL EN LA DECADA (%)	POB.		POB.		POB.		T A S A - - - - -		
	1930	1940		1950	TASA (%)	1960	TASA (%)	1970	TASA (%)	1980 (%)	1990 (%)	2000 (%)
ACAYUCAN	11814	9317	-2.5	13188	3.7	23644	6.0	34843	4.0	3.9	3.7	3.0
CONEZACALCOS	12271	21816	5.9	28347	2.7	54425	6.7	109588	7.2	6.3	5.9	5.2
CONTEPEC	6231	6814	0.9	8510	2.3	10750	2.3	20531	6.7	2.3	2.3	1.9
CHINAMBICA	2900	3601	2.2	3938	0.9	4821	2.1	7473	4.5	2.2	2.1	1.7
HUAMANTITLAN	1836	2922	4.8	4514	4.5	6525	3.8	10582	4.9	4.7	4.5	3.6
HUAMANTITLAN DEL S.	3167	5004	3.8	5694	1.3	11211	7.0	13635	2.0	2.9	2.0	1.6
JALTIPAN DE MOR.	5996	6488	0.8	7230	1.1	11444	4.9	19885	5.7	2.9	1.1	0.9
JESUS CARRANZA	3992	3548	-1.1	5754	4.9	6954	1.9	16565	9.1	3.4	1.9	1.5
LAS CHOAPAS	ESTE MUNICIPIO SE INCLUYE CON HUAMANTITLAN											
CHAYAPAN	3807	4579	1.8	6065	2.8	7193	1.7	10112	3.5	2.3	1.8	1.5
HUAMANTITLAN	21273	37182	5.7	44359	1.8	66314	4.4	134087	7.0	5.1	4.4	3.6
HUAMANTITLAN	1587	2011	2.4	4429	8.2	6159	3.4	8768	3.6	3.5	3.4	2.7
CHILPA	2268	2617	1.4	2791	0.6	3779	3.1	5387	3.6	2.5	1.4	1.1
CHAYAPAN	1934	2355	2.0	2588	0.9	3293	2.5	3961	1.9	2.0	2.0	1.0
CHAYAPAN	3741	3554	-0.5	5540	4.5	5714	0.3	6364	1.1	0.7	0.5	0.2
CHAYAPAN	3913	5565	3.5	6790	2.0	12877	6.6	16143	2.5	3.0	2.5	2.0
CHAYAPAN	1217	1737	3.4	1948	1.1	2535	2.7	3809	4.2	3.1	2.7	2.2
CHAYAPAN	3496	4966	3.6	6266	2.3	8486	3.1	12427	3.9	3.4	3.1	2.5
CHAYAPAN	2453	3666	4.9	4503	1.3	7718	5.6	11168	3.8	4.3	3.8	3.1
CHAYAPAN	1465	1862	2.4	2321	2.3	2669	1.4	3128	1.6	1.9	1.6	1.3
TOTAL	106960	129904	2.0	164775	2.4	258511	4.6	448756	5.7	4.7	4.4	3.8
POBLACION URBANA						154697		258539	6.3			
POBLACION RURAL						103814		162917	4.6			

TABLA 2.2.2.a

CRECIMIENTO DE LA POBLACION

Las tasas anuales de crecimiento obtenidas sirvieron para estimar las tasas anuales para proyectar la población a los años 1980, 1990 y 2000. Las tasas de proyección se calcularon de la siguiente manera:

1°.- De las cuatro tasas calculadas para cada municipio, correspondientes a las décadas en que se tienen registros, se eliminaron la mayor y la menor, y con las dos restantes se obtuvo su promedio para considerarlo como el valor de la tasa media de crecimiento anual esperada para la década 1971-1980.

2°.- Considerando las altas tasas de crecimiento en años anteriores, puede esperarse una disminución de ellas en el futuro, debido, por una parte, a la política económica que pretende distribuir más las inversiones entre todas las zonas circunvecinas a la de estudio, y por otra a las medidas que el Estado ha emprendido para el control natal. Aún así, se considera que esta disminución será lenta, por lo que para la década 1981-1990, en el presente estudio, se utilizó como tasa anual de crecimiento, por municipio, a la menor de las dos que se tomaron en cuenta para el punto anterior.

3°.- Para la última década a tomarse en cuenta - -

aquí (1991-2000), la tasa media anual de crecimiento prevista se tomó a la tasa de crecimiento medio anual de la población rural para la década 1981-1990, cuya obtención se explica más adelante.

4°.- Con el fin de poder calcular separadamente las demandas de agua rural y urbana, para uso doméstico, se procedió a calcular las tasas de crecimiento de la población urbana y de la rural.

Observando que en la década 1961-1970 (que es de la que se tiene información al respecto) el crecimiento medio de la población en la región fué de 5.7% anual y que la población urbana creció el 6.3%, esta tasa significa un 10.5% más de la primera; mientras que la tasa media de crecimiento de la población rural calculada en 4.6% anual es el 80.7% de la tasa general.

5°.- Así pues se procedió a incrementar cada tasa media anual calculada en cada municipio, para las décadas 1971-1980 y 1981-1990 (puntos 1° y 2° anteriores) en un 10.5% para obtener la tasa media de crecimiento anual de la población urbana en cada uno.

Análogamente, cada tasa media anual se disminuyó en un 19.3% para predecir el crecimiento de la población ru-

MUNICIPIO	POBLACION URBANA							POBLACION RURAL							POBLACION TOTAL			
	1970	TASA DE CREC.	1980	TASA	1990	TASA	2002	1970	TASA	1980	TASA	1990	TASA	2000	1970	1980	1990	2000
	ACAYUCAN	21173	4.3	32257	4.1	48289	3.0	64788	13670	3.1	18550	3.0	24938	3.0	33503	34943	57887	78136
CHAMPULCALCOS	98674	7.0	194107	6.5	364366	5.2	604916	109114	5.1	17944	5.2	29797	5.2	49469	109568	212065	354163	510000
COXTLERUQUE	11045	2.5	14139	2.5	18099	1.9	21847	9486	1.9	11451	1.9	13822	1.9	16685	20531	25590	31281	37900
CHIMILCA	2913	2.4	3693	2.3	4635	1.7	5487	4560	1.8	5451	1.7	6452	1.7	7637	7473	9144	11057	13167
HERAQUETILAN	0	-	3454	3.6	4919	3.6	7007	10582	3.8	* 11911	3.6	16965	3.6	24163	10582	15365	21284	27277
LA PAZ DEL SE	3168	3.2	11192	2.2	13813	1.6	16306	5467	2.3	6863	1.6	8044	1.6	9427	13685	18059	21967	25788
CALTUPAN DE MOR.	15170	3.2	20787	1.2	23420	0.9	25615	4715	2.3	5919	0.9	6467	0.9	7081	19885	26706	29094	32789
JEROME COXATZA	0	-	3263	1.5	3787	1.5	4395	16565	2.7	* 18359	1.5	21306	1.5	24727	16565	21222	28093	34788
LAS CHANAYAS	26267	5.6	45295	4.9	73881	3.6	104888	13199	4.1	19726	3.6	28095	3.6	40016	39466	57321	101176	144000
MAYAPAN	2903	2.5	3716	2.0	4538	1.5	5257	7209	1.9	8702	1.5	10495	1.5	11720	10112	12418	14729	17000
MIXQUITILAN	71687	5.6	123617	4.9	194558	3.6	284474	22934	4.1	34276	3.6	48819	3.6	69532	94621	157923	242169	324000
MUCITAL	3457	3.7	4971	3.8	7219	2.7	9473	5311	2.8	7000	2.7	9137	2.7	11926	8768	11571	14386	17300
OLITA	4571	2.3	6025	1.5	6992	1.1	7888	816	2.0	995	1.1	1110	1.1	1238	5387	7020	8102	9277
OTZAMPAR	3961	2.2	4924	2.2	6121	1.6	7174	0		0		0		0	3961	4924	6121	7174
PATAPAN	2844	0.8	3080	0.3	3174	0.2	3238	3620	0.6	3737	0.2	3812	0.2	3889	6364	6517	6956	7127
SAN JUAN	4993	3.3	6770	2.8	8923	2.0	10877	11568	2.4	14641	2.0	17847	2.0	21756	16443	21411	26779	32700
SAN JUAN DE LOS RIOS	0	-	0	-	2923	2.2	3634	3809	2.5	4876	2.2	* 3138	2.2	3901	3209	4076	5021	5900
SAN JUAN DE LOS RIOS	0	-	0	-	3808	2.5	3858	12427	2.7	16221	2.5	* 17756	2.5	22730	12427	16221	20754	25000
TENIQUILAN	4985	4.8	7967	4.2	12821	3.1	16313	6103	3.5	8722	3.1	11836	3.1	14662	11102	16419	20757	25000
ZEMECUA	3128	2.1	3851	1.8	4603	1.3	5238	0		0		0		0	3128	3851	4603	5238
TOTALES	286838	5.6	493108	5.1	813393	4.1	1211388	162917	2.8	215348	2.6	279438	3.0	375462	448756	708456	1'092832	1'510'000

\* De la población rural proyectada en estos Municipios para el año correspondiente, se están que una parte pasará a población urbana y su número se encuentra indicado en población urbana.

PROYECCIONES DE POBLACION

TABLA 2.2.2.b

ral por municipio.

Con lo anterior se elaboró la tabla 2.2.2.b, en la que se muestran las proyecciones de población a partir de la información proporcionada por el IX Censo General de Población (1970) y de las tasas calculadas como se acaba de indicar. Para esto se empleó la misma fórmula (2.1) con que se calcularon las tasas de crecimiento, despejándose a  $P_f$  se obtuvo la expresión:

$$P_f = P_0 \cdot (1+t)^n \dots \dots \dots (2.1')$$

En la tabla se muestran los valores de la población esperada para los años 1980, 1990 y 2000, tanto la urbana como la rural, se indica también la población total que es la suma de las dos.

La validez de este método de predicción o de cualquier otro podrá ser verificado a la luz de nueva información censal, recomendándose hacer entonces los ajustes pertinentes.

### 2.2.3.- Dotaciones.

Los hábitos de consumo de agua en el medio urbano

y en el medio rural determinan una sensible diferencia -- en la demanda de agua per cápita en uno y otro medio. -- Aún más, la demanda de agua por vivienda para una misma población difiere de si una vivienda cuenta o no con to-- ma domiciliaria, haciendo del nivel de servicio una va-- riable significativa para el cálculo de la demanda de -- agua en la localidad.

Existen actualmente unas normas oficiales para la elaboración de proyectos de sistema de agua potable, emi-- tidas hace algunos años, por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos entre las que figuran las refe-- rentes a las dotaciones para el diseño hidráulico de los sistemas. Estas normas definen valores de dotación de -- agua en litros por habitantes y por día, en función del tamaño de la población de proyecto y del clima de la lo-- calidad.

De los 20 municipios considerados en este estudio, 12 cuentan con sólo una localidad urbana, 2 con dos - -- (Cosoleacaque y Minatitlán), uno con tres (Las Choapas), uno con 4 (Coatsacoalcos) y 4 (Hidalgotitlán, Jesús Ca-- rrenza, Sotepan y Soconusco) con cero.

A los 12 primeros se les asignó la dotación corres

pendiente según las mencionadas normas.

Para los 4 que tienen más de una localidad urbana se consideró lo siguiente:

Se estimó como población de proyecto para el cálculo de las demandas al total de la población urbana en cada municipio, puesto que en todos los casos la mayoría de dicha población se concentra en una sola localidad. Además esta suposición permitió obtener un valor más desfavorable en el cálculo de las demandas, lo que sin duda dió un margen de seguridad al realizar el balance regional.

Enseguida, a los 4 municipios que no cuentan actualmente con localidades urbanas se les tomó en cuenta la población de las localidades con mayor número de habitantes, y de acuerdo al crecimiento de la población esperado se especuló con la posibilidad de que en el futuro esas poblaciones se conviertan en urbanas, asignándoseles así su dotación correspondiente.

Por lo que se refiere al resto de la población urbana que no cuenta con servicio de agua, es decir al complemento del nivel de servicio, se le consideró una dotación intermedia entre la dotación para la población urbana, ca



culada para el municipio, según las normas, y la dotación para la población rural.

Finalmente, la dotación para el medio rural se tomó como de 100 lts., por habitante por día, valor que es compatible con los resultados de encuestas realizadas sobre usos del agua a nivel nacional (El agua en México, 2ª parte. Usos del agua en las ciudades, SARH).

#### 2.2.4.- Cálculo de la demanda.

Para este efecto se optó por seleccionar un criterio conservador consistente en la consideración de expectativas extremas, pero razonables, relativas al crecimiento de la población y los niveles de servicio, con el objeto de que al evaluar los términos de la ecuación de balance correspondientes a la demanda marcaran el planteamiento más desfavorable contra la disponibilidad de agua, permitiendo así margen de seguridad en el cálculo.

A) Demanda urbana para uso doméstico.- El cálculo de este concepto se efectuó en forma tabular (tabla - - - 2.2.4.a), en él intervinieron los datos siguientes: Población urbana, obtenida en 2.2.2; dotaciones, estimadas según lo expuesto en 2.2.3 y nivel de servicio.

Se ha hablado del nivel de servicio, entendiendo a

DEMANDA DOMESTICA DISTRITO

MUNICIPIO	NUM. DE LOC. EN 1970	NIVEL DE SERV. 1970 (%)	POBLACION (HAB.)	NIVEL DE SERV. %	1980		DEMANDA (X106 HAB./ AÑO)	POBLACION	NIVEL DE SERV.	1990			POBLACION	NIVEL DE SERV.	DOT A	DOT B	DEM.
					DOT A	DOT B				DEM.							
ACOMACAN	1	80.4	32257	85.4	250	175	2.8	48208	90.4	250	175	4.3	64789	95.4	250	175	5.8
CONAZACALCOS	4	56.3	194107	61.3	360	225	21.4	364366	65.3	350	225	41.0	604916	72.3	350	225	69.4
COXTEPEC	2	31.1	14138	34.1	150	125	0.7	18088	37.1	200	150	1.1	21847	42.1	200	150	1.4
COXTEPEC	1	94.3	3693	97.3	150	125	0.2	4635	100	150	125	0.3	5487	100	150	125	0.3
COXTEPEC	0	37.3	3454	34.3	150	125	0.2	4919	37.3	150	125	0.2	7007	42.3	150	125	0.4
COXTEPEC	0	88.9	11192	91.9	150	125	0.6	13813	94.9	150	125	0.8	16306	97.9	200	150	1.2
COXTEPEC	1	58.4	20787	61.4	200	158	1.4	23420	64.4	200	150	1.6	25615	67.4	200	150	1.7
COXTEPEC	1	42.1	3263	45.1	158	125	0.2	3787	48.1	150	125	0.2	4395	51.1	150	125	0.2
COXTEPEC	0	61.9	45295	66.9	250	175	3.7	73081	71.9	300	200	7.3	104088	76.9	300	200	10.5
COXTEPEC	3	78.0	3716	81.0	150	125	0.2	4650	84.0	150	125	0.2	5257	87.0	150	125	0.3
COXTEPEC	1	65.8	123617	70.8	300	200	12.2	199456	75.8	350	225	23.3	284074	80.8	350	225	36.8
COXTEPEC	2	77.8	4971	80.8	150	125	0.3	7219	83.8	150	125	0.4	4923	86.8	150	125	0.5
COXTEPEC	1	47.6	6025	50.6	150	125	0.3	6892	53.6	150	125	0.4	7800	56.6	150	125	0.4
COXTEPEC	1	8.9	4924	11.9	150	125	0.2	6121	14.9	150	125	0.3	7174	17.9	150	125	0.3
COXTEPEC	1	46.4	3080	49.4	150	125	0.2	3174	52.4	150	125	0.2	3238	55.4	150	125	0.2
COXTEPEC	1	63.3	6770	66.3	150	125	0.4	8923	69.3	150	125	0.5	10677	72.3	150	125	0.5
COXTEPEC	0	14.1	0	17.1	0	0	0	2923	20.1	50	125	0.1	3634	23.1	150	125	0.2
COXTEPEC	0	36.0	0	36.0	0	0	0	3000	42.0	50	125	0.2	3650	45.0	150	125	0.2
COXTEPEC	0	20.9	7967	25.9	150	125	0.4	12821	30.9	150	125	0.5	16313	35.9	200	150	0.8
COXTEPEC	1	4.1	3851	7.1	150	125	0.2	4683	10.1	150	125	0.2	5238	13.1	150	125	0.3
TOTAL			493108				46.6	813883				83.2	1'211328				128.5

TABLA 2.2.4.a

éste como el porcentaje de la población que cuenta con -- agua potable en tomas domiciliarias y es aplicado, en este caso, a la población urbana.

La única información disponible al respecto la ofrece el IX censo de población y de allí se obtuvieron los valores del mencionado nivel que se muestran en la tabla 2.2.4.a para el año inicial 1970; para los años posteriores en que se pretende predecir las demandas, se ha considerado que las redes de abastecimiento serán ampliadas de tal manera que su extensión se reflejará en ascensos continuos y moderados del nivel de servicio, así se supuso hipotéticamente que éste habrá de incrementarse en forma aritmética a razón de media unidad percentil por año en los municipios con tasa de crecimiento anual de población mayor al 4% y para el resto de los municipios, el incremento del nivel, se estimó en 3 décimas de unidad percentil por año, lo que conduce a niveles aceptables de servicio hasta el año 2000 (ver tabla 2.2.4.a).

En la tabla se muestra la demanda de agua para uso doméstico por la población urbana, esperada en los años - 1980, 1990 y 2000, calculada con la expresión siguiente:

$$D_u = [P_u \cdot x \cdot A + P_u(1-x) \cdot B] \frac{365,25}{1000} \dots \dots \dots (2.2).a)$$

DEMANDA DOMESTICA RURAL

MUNICIPIO	1970	DOTACION LTS/HAB/DIA	1980		1990		2000	
	NUM. DE LOCALIDADES		POB. (HAB.)	DEMANDA (X10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	POBLACION	DEMANDA	POBLACION	DEMANDA
ACAYUCAN	35	100	18550	0.7	24930	0.9	33503	1.2
COATZACOALCOS	28	100	17948	0.7	29797	1.1	49469	1.8
COSOLECAQUE	25	100	11451	0.4	13822	0.5	16685	0.6
CHINAMECA	42	100	5451	0.2	6452	0.2	7637	0.3
HIDALGOTITLAN	42	100	11911	0.4	16965	0.6	24163	0.9
IXHUATLAN DEL SURESTE	8	100	6863	0.3	8044	0.3	9427	0.3
JALTIPAN DE MORELOS	21	100	5919	0.2	6474	0.2	7081	0.3
JESUS CARRANZA	58	100	18359	0.7	21306	0.8	24727	0.9
LAS CHOAPAS	23	100	19726	0.7	28095	1.0	40016	1.5
MECAYAPAN	22	100	8702	0.3	10099	0.4	11720	0.4
MINATITLAN	59	100	34276	1.3	48819	1.8	69532	2.5
MOLOACAN	15	100	7000	0.3	9137	0.3	11926	0.4
OLUTA	2	100	995	0.1	1110	0.1	1238	0.1
OTEAPAN	— (o)	— (o)	0	0	0	0	0	0
PAJAPAN	16	100	3737	0.1	3812	0.1	3889	0.1
SAYULA	47	100	14641	0.5	17847	0.7	21756	0.8
SOCONUSCO	15	100	4876	0.2	3138	0.1	3901	0.1
SOTEAPAN	39	100	16221	0.6	17756	0.7	22730	0.8
TEXISTEPEC	21	100	8722	0.3	11836	0.4	16062	0.6
ZARAGOZA	— (o)	— (o)	0	0	0	0	0	0
<b>TOTALES</b>			<b>215348</b>	<b>8.0</b>	<b>279439</b>	<b>10.2</b>	<b>375462</b>	<b>13.6</b>

(o) Estos municipios carecen de localidades rurales.

que simplificada queda así:

$$D_u = 0.36525 [ x(A-B) + B ] P_u \dots \dots \dots (2.2)$$

Donde:

- Du - Demanda urbana de agua, en m<sup>3</sup>/año.
- Pu - Población urbana, en número de habitantes.
- A - Dotación a la población urbana que cuenta -- con toma domiciliaria, en  $\frac{\text{lbs.}}{(\text{hab.día})}$
- B - Dotación a la población urbana, sin toma domiciliaria en  $\frac{\text{lbs.}}{(\text{hab.día})}$
- x - Nivel de servicio de la red de abastecimiento, en %.

B) Demanda rural para uso doméstico.- También este concepto ha sido calculado en forma tabular en la tabla - 2.2.4.b, en este caso la dotación por habitante y por día se consideró constante e igual a 100 lbs/(hab.día), para todos los municipios, mediante la expresión:

$$D_r = 0.36525 \cdot (Pr \cdot d) \dots \dots \dots (2.3)$$

donde:

- Dr - Demanda rural en m<sup>3</sup>/año.
- Pr - Población rural, en número de habitantes.
- d - Dotación de agua, en lbs/(hab.día).

C) Demanda total para uso doméstico.- Haciendo la suma de las demandas para los usos doméstico urbano y rural se obtuvo la demanda total de agua para uso doméstico, por

DEMANDA DE AGUA POR USO DOMESTICO ( $\times 10^6 \text{m}^3$ )

MUNICIPIO	1980	1990	2000
Acayucan	3.5	5.2	7.0
Coatzacoalcos	22.1	42.1	71.2
Cosoleacaque	1.1	1.6	2.0
Chinameca	0.4	0.5	0.6
Hidalgotitlán	0.6	0.8	1.3
Ixhuatlán del SE.	0.9	1.1	1.4
Jáltipan de M.	1.6	1.8	2.0
Jesús Carranza	0.9	1.0	1.1
Las Choapas	4.4	8.3	12.0
Necayapan	0.5	0.6	0.7
Minatitlán	13.5	25.1	36.3
Moloacán	0.6	0.7	0.9
Oluta	0.4	0.5	0.5
Oteapan	0.2	0.3	0.3
Pajapan	0.3	0.3	0.3
Sayula	0.9	1.2	1.4
Soconusco	0.2	0.2	0.3
Soteapan	0.6	0.9	1.0
Texistepec	0.7	1.0	1.4
Zaragoza	0.2	0.2	0.3
TOTAL	53.6	93.4	142.1
POBLACION TOTAL (Hab.)	708456	1092832	1586790
DOTACION PROMEDIO (lts/hab.día)	207.1	234.0	245.1

TABLA 2.2.4.c

municipio y para la región total, a los años previstos para el pronóstico, así se muestra en la tabla 2.2.4.c.

### 2.3.- Demanda por uso industrial.

Generalmente la industria usa el agua como un ingrediente en la elaboración de un producto determinado, como un medio de transporte (mediante flotación), como un agente de limpieza, como enfriador, o bien como una fuente de vapor y calor, por lo que sus necesidades sobre el recurso varían significativamente según la función a desempeñar.

#### 2.3.1.- Dotaciones.

Para la zona en estudio, aún cuando la industria allí establecida es en su gran mayoría afín, se observan también marcadas diferencias en la demanda por cada una. En efecto, como es sabido, casi la totalidad de la industria local está relacionada con la petroquímica y con el objeto de estudiar sus demandas, se desglosó en los siguientes tipos, comprendidos en el documento "Perfil del uso del agua en las plantas de nueve industrias", de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (1976):

Industria química Básica. Corresponde a la instalaciones dedicadas a la producción de ácidos, bases o sales químicas.

Industria Petroquímica Básica. Es la relacionada -- con el procesamiento de los productos inmediatos a la refinación del petróleo.

Petroquímica Secundaria. Es la dedicada a la producción de petroquímicos más elaborados, en su mayoría productos para uso de otras industrias, generalmente hace -- uso de los productos de la petroquímica básica.

Industria agroquímica. Es la que produce substancias que son aplicadas en la agricultura principalmente.

En la región, otro tipo de industria es la de la bebida que, aunque presenta demandas pequeñas en comparación con las anteriores industrias mencionadas, fué digna de tomarse en cuenta.

A pesar de que existe una diferenciación por funciones de la industria, en lo tocante al uso del agua, aún no existe alguna regla que fije las dotaciones por este uso. No obstante, en la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, al cuantificar las demandas, se han estimado algunos índices de dotación, que varían en función de la extracción de agua y la producción que reporta cada industria, pero llegan a presentar valores muy variables por lo que se decidió no tomarlos en cuenta para el presente



USO DEL AGUA POR LA INDUSTRIA REGION I

TIPO DE - INDUSTRIA	1976	1 9 6 2				
	EXTRAC. (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) DE AGUA	PRODUC. x10 <sup>6</sup> TON AÑO	EXTRAC. (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) AÑO	CONSUMO x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	DESCARGA x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	IND. DE EQ- TACION m <sup>3</sup> / (TON. AÑO)
QUIMICA - BASICA	186.4	2.656	215.9	83.7	132.2	81.3
PETROQUI- MICA BASI GA	49.8	7.082	332.4	79.0	253.4	46.9
PETROQUI- MICA SE-- CUNDARIA	131.96	1.240	194.84	48.72	146.12	157.1
AGROQUIMI GA	235.6	2.377	384.0	34.1	349.9	161.5
REFINA--- CION DE - PETROLEO	188.9	.185	149.7	6.0	143.7	809.1
SUB-TOTAL	792.66	13.540	1276.84	251.52	1052.32	
BEBIDA --- (REFRESCOS)	1.4		2.0			
TOTAL	794.06		1278.84			

Nota: Extracción es el volumen de agua disponible que se toma para su uso.  
Consumo es el volumen que resulta de la resta entre la extracción menos la descarga.  
Descarga es el volumen de agua residual (que ya ha sido utilizada).

estudio a nivel de planta industrial; sin embargo ante - la necesidad de pronosticar las demandas que se presenta rán en los nuevos complejos (aún en construcción) se con sideró el índice global de los complejos que ya están en operación ( el índice de dotación se calcula como la ex tracción de agua dividida por la producción de la planta en ton.).

Por otro lado, se previó un crecimiento industrial, según lo observado en los registros históricos relativos a este rubro, por lo que se procedió a calcular una tasa de crecimiento industrial con los registros de los años 1976 y 1982, únicos disponibles hasta el momento.

Esos valores, que se presentan en la tabla 2.3.1, indicaron una tasa de crecimiento medio anual del 8% --- aproximadamente (ver ecuación 2.1), que comparado con el 12% promedio que se manifestó en el Plan Nacional de Desarrollo Industrial 1976-1982, se consideró razonable pa ra usarlo aquí.

En el caso particular de la industria de la bebida, su incremento se estimó con una tasa igual a la esperada en el crecimiento demográfico de la región, es decir: -- 4.4% anual entre 1980-1990 y 5.8% para 1990-2000.

### 2.3.2.- Cuantificación de la demanda.

La demanda industrial en 1980 fue considerada igual a la extracción reportada en el cuadro del punto anterior.

Para proyectar las demandas a futuro se tomó en cuenta lo dicho anteriormente, es decir, los incrementos se esperan como se indica a continuación:

- 1<sup>o</sup>.- El incremento en los Complejos de Cangrejera, Pajaritos y Morelos se estimó en 42.4, 20.2 y 18.9 millones de m<sup>3</sup> respectivamente en 1985. - Se tomó en cuenta el comentado índice de dotación.
- 2<sup>o</sup>.- Para el año 1990 se espera que ya esté operando la Laguna del Ostión con un incremento a la demanda industrial de  $25.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ , además del correspondiente 8% anual para el resto de la industria.
- 3<sup>o</sup>.- En la década 1990-2000 se consideró el 8% de incremento medio anual en la demanda.
- 4<sup>o</sup>.- El incremento en la demanda por la industria refresquera se estimó igual al poblacional.

DEMANDA INDUSTRIAL ( $\times 10^6 m^3$ )

DEMANDA POR:	A Ñ O S			
	(1980) 1982	1985	1990	2000
INDUSTRIA QUIMICA Y DEL PETROLEO	1276.8	1358.3	1383.3	1383.3
INCREMENTO POR -- CRECIMIENTO			637.5	1603.1
SUB-TOTAL			2020.8	2986.4
INDUSTRIA DE LA - BEBIDA	2.0	2.5	3.1	4.5
TOTAL	1278.8	1360.8	2023.9	2990.9

TABLA 2.3.2

Con estas consideraciones se elaboró la tabla 2.3.2, en la que se muestra la cuantificación total de la demanda de agua por uso industrial, a los diferentes años indicados.

#### 2.4.- Demanda por uso agrícola, pecuario y otros.

La agricultura es la principal actividad de todos los pueblos, por ser la proveedora de sus alimentos, pero para desarrollarla requiere como principales elementos al agua y al suelo. Respecto al agua, al ser tan importante en varios usos, en México se ha otorgado prioridad a cada uso y se ha legislado, en la Ley Federal de aguas, jerarquizado como el más importante, después del uso doméstico, al uso agrícola y pecuario.

En la misma Ley se contemplan además otros usos del agua, tales como el uso para piscicultura, industrial, para fines recreativos, para navegación, etc., todos claramente comprensibles.

##### 2.4.1.- Demanda agrícola.

En el presente estudio, primero se tomó en consideración a las demandas de agua por la industria antes que a la agricultura, desatendiendo a la jerarquización marcada en la Ley, como es de apreciarse. Esto se hizo consideran-

do que, en la región de estudio, las demandas por uso agrícola son menores que las industriales y de acuerdo al propósito del estudio se creyó pertinente el orden presentado para análisis de las demandas.

En efecto, la agricultura de la zona estudiada no ha recibido impulso hasta el momento, debido en gran parte a la importancia que se le ha dado al desarrollo industrial.

La actividad agrícola se ha limitado a la de temporal aprovechando la abundancia de lluvias de la región; existe agricultura de riego (es decir con estructura y elementos creados por el hombre para el suministro de agua a las siembras), pero ésta es muy limitada y prácticamente permanece estancada. Sin embargo, tomando en cuenta el gran potencial de recursos, tanto de agua como de suelo, es posible pensar en una futura inversión para el desarrollo agrícola regional, cuestión que debe considerarse de primer orden.

Como respuesta, la SARH, a través de la Dirección General de Obras Hidráulicas e Ingeniería Hidráulica para el Desarrollo Rural y la CFNH, ha iniciado estudios tendientes a fomentar proyectos para el desarrollo agrícola. Así se tiene que para la región de estudio, que según

la regionalización propuesta por la CJNH corresponde a la región 5 y subregión 4, existen catalogados 22 proyectos para apertura de zonas de riego mediante plantas de bombeo, aprovechando tanto agua superficial como subterránea, con un total de 1912 Ha., a operar tentativamente a fines de esta década.

A fin de cuantificar la demanda se tomó en cuenta el V Censo agrícola y ganadero, en 1970, que arrojó las siguientes cifras, para los 20 municipios considerados.

AREA DE CULTIVO CON RIEGO: 5869.1 Ha.

AREA SUSCEPTIBLE DE ABRIR A CULTIVO: 52569.3 Ha.

De la primera, la mayor corresponde al municipio de Las Choapas con 3072.6 Ha., la menor Zaragoza con cero Ha; de la segunda, la mayor para Jesús Carranza con 29003.0 Ha., y la menor Oteapan con cero.

La demanda se calculó considerando una dotación de 0.6 m. anual por m<sup>2</sup> de área cultivable, dadas las características de lluvia en la región, que en un momento dado complementaría las necesidades de agua.

A la demanda futura se hicieron además las siguientes consideraciones:

1<sup>a</sup>.- De 1970 a 1990 se espera un incremento pequeño de la actividad, se estimó en un 0.5% anual.

2<sup>a</sup>.- En 1990 se espera el incremento que se mencionó de 1912 Ha de riego, se sumó a lo anterior, y

3<sup>a</sup>.- Para la década 1990-2000 se espera un incremento de la agricultura por riego del 1% anual.

En la tabla 2.4.1 se muestra el cálculo de la demanda agrícola de agua, a los diferentes años considerados.

DEMANDA DE - AGUA POR USO AGRICOLA	1970	1980	1990	2000	Observaciones
SUPERFICIE - DE RIEGO (Ha)	5869.1	6169.2	6484.7	9275.2	La demanda - se calculó - con una lámi- na de riego de 60 cm. -- anuales.
DEMANDA DE - AGUA ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )	35.2	37.0	38.9	55.7	

TABLA 2.4.1

#### 2.4.2.- Demanda pecuaria.

Este concepto comprende la cantidad de agua necesaria para la cría de ganado en general. De esta actividad puede decirse que ha sido más atendida que la agricultura,



aunque su desarrollo se limita a cantidades relativamente pequeñas por propietario. De cualquier manera, dados los buenos recursos regionales para el impulso de esta actividad, como pastizales, agua, etc., es de esperarse un futuro crecimiento.

Para cuantificar esta demanda se tomó en cuenta el V Censo agrícola y Ganadero, de 1970; en él aparecieron los siguientes resultados para los 20 municipios que comprende este estudio.

TIPO DE GANADO	Núm. de cabezas (en 1970)	Municipio con mayor número de cabezas.	Municipio con menor número de cabezas.
Bovino	305406	Jesús C. (61769)	Oteapan (284)
Caballar	47533	Acayucan (5823)	" (75)
Porcino	110949	Minatitlán (19004)	" (199)
Lanar	2509	Sayula (750)	" (0)
Caprino	5432	Las Choapas (1883)	" (0)
Aves	1332304	Las Choapas (163538)	" (3077)
Mular, Asnal y de trabajo	36590	Las Choapas (3745)	" (5)

De acuerdo a estudios posteriores al respecto, se observó que el incremento en la actividad fué mínimo y, en algunos casos, hasta negativo.

Así, para estimar las demandas a partir de 1980, --

se partió de las siguientes consideraciones:

- 1ª. El incremento considerado para la década 1970--1980 fue de 0.5% anual.
- 2ª. El incremento para 1980-1990 se tomó como 1% -- anual.
- 3ª. Para la década 1990-2000 se pronosticó una tasa de 1.5% anual de crecimiento.
- 4ª. Las dotaciones asignadas son como sigue:  
Ganado bovino y caballar, 50 litros por cabeza - diarios; porcino, mular, asnal y de trabajo, 20 lts., por cabeza diarios, lanar, caprino, 15 1/- (cab. día) y para aves 1 1/(cab. día).

En la tabla 2.4.2, se da el cálculo de la demanda pecuaria.

TIPO DE GANADO	Dotacion 1/(cab.día)	1980		1990		2000	
		Núm.de cab.	Dem. x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Núm.de cab.	Dem. x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Núm.de cab.	Dem. x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Bovino	50	321025	5.9	354612	6.5	411542	7.5
Caballar	50	49964	0.9	55191	1.0	64051	1.2
Porcino	20	116623	0.9	128824	0.9	149506	1.1
Lanar	15	2637	0.01	2913	0.02	3381	0.02
Caprino	15	5709	0.03	6306	0.03	7318	0.04
Aves	1	1400438	0.5	1546955	0.6	1795304	0.7
Mular, asnal y de trabajo	20	38462	0.2	42486	0.3	49307	0.4
<b>TOTALES</b>		<b>1934658</b>	<b>8.5</b>	<b>2137287</b>	<b>9.4</b>	<b>2480469</b>	<b>11.0</b>

Tabla 2.4.2

#### 2.4.3.- Pesca.

A pesar de tratarse de una zona litoral, al actividad pesquera es muy reducida en la actualidad, pudiendo decirse que la mayor parte de la captura es para consumo local. Esta situación se debe a la carencia de instalaciones y equipo adecuado para el desarrollo de la actividad.

Ya se han iniciado estudios tendientes a fomentar el aprovechamiento de recursos en este sentido. Al llevarse al cabo estos estudios en forma de proyectos y acciones terminadas, el aspecto de la demanda de agua dulce para el desarrollo de la pesca y la piscicultura no sería relevante; puesto que es lógico pensar que el agua necesaria estaría satisfecha con la de mar.

#### 2.4.4.- Navegación y otras demandas.

Existen previstos otros tipos de uso del agua, entre tales están para navegación, generación de energía eléctrica, natación y deportivo, etc.

A) Navegación.- Por lo que respecta a la navegación, se consideró por razones obvias a la fluvial; y ésta se realiza comúnmente adecuándose a las condiciones naturales de los ríos y en la región no hay excepción.

El Río Coatzacoilcos y sus principales afluentes --

son navegables en un 70% de su longitud en promedio; si bien es cierto que la navegación se realiza en embarcaciones pequeñas (hasta de 20 pasajeros), en el río pueden penetrar, hasta unos 30 km., aguas arriba de su desembocadura, barcos de carga y buquetanques a los muelles de la Refinería de Minatitlán.

Dado el carácter de adaptabilidad entre el recurso y la actividad, se consideró que la demanda por ésta es -  
cero.

B) Generación de energía eléctrica.- Siendo el - -  
Río Coatzacoalcosuno de los más caudalosos del país, no -  
ha sido aprovechado aún para la generación de energía - -  
eléctrica, mediante la instalación de algún sistema hi---  
droeléctrico.

Sin embargo, ya existen los estudios a nivel preli-  
minar para la construcción de 3 presas hidroeléctricas, -  
de las que sólo una, Peña Blanca, tiene asignada fecha --  
tentativa para su construcción y es entre 1986 y 1990.

Las principales características de estos proyectos -  
se describen en la tabla 2.4.4.b.

PROYECTOS HIDROELECTRICOS PARA LA CUENCA DEL COATZACOALCOS

Nom. del proyecto	Corriente	Potencia instalada (MW)	Generación -- anual (GWH)	Carga - disponible (m)	Volumen turbinado (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Probable año de entrada del proyecto.
Reña --- Blanca	Coatzacoalcos	200	876	36	11020	1986-1990
Uspanapa	Uspanapa	100	438	31	6273	1995-2000
Chimalapa	Chimalapa	80	350	50	3112	1995-2000
SUMAS		380	1664	—	20405	

TABLA 2.4.4.b

El volumen turbinado, es decir el necesario para producir energía eléctrica, fue el que se consideró como el de la demanda de agua para esta actividad y al año tentativo señalado en segundo lugar.

No hay que olvidar que la mayor parte de ese volumen es retornado a la corriente, así puede volver a ser utilizado en cualquier otra actividad aguas abajo del aprovechamiento hidroeléctrico y, en esta región, la mayor parte de las demandas tiene lugar en la porción correspondiente a la desembocadura.

C) Otras demandas.-- Es posible que hayan otros tipos de actividades que demanden agua para su desarrollo; pero han sido despreciadas atendiendo a que bien podrían ser incluidas en algunas de las ya analizadas o a que la demanda de agua sea muy pequeña.

Como ejemplo; al primer caso, se tiene la demanda de agua para servicios (riego de jardines, bomberos, etc.) que generalmente se haya implícita en la demandas por uso doméstico; al segundo caso, la demanda para uso deportivo representa un volumen pequeño, que puede ser despreciado.

#### 2.5.- Demanda total.

Tomando en cuenta lo expuesto en este capítulo, se concluyó que a pesar de la diversidad de usos del agua y, en algunos casos, el importante volumen solicitado como el debido para generación de energía eléctrica, no existe interferencia entre ellos que creen serios conflictos para el aprovechamiento del recurso.

Es evidente que para efectuar el aprovechamiento -- del agua se necesite la construcción de la infraestructura necesaria. Así mismo debe pensarse en racionalizar el aprovechamiento, con medidas tales como suplir la explotación de las fuentes naturales de abastecimiento, implan--

tando métodos y sistemas que permitan el reuso de aguas servidas y el uso del agua de mar. Y lo más importante, - procurar la implantación de medidas tendientes a la protección de la calidad del agua y no vertir las aguas residuales directamente a los cuerpos receptores, sin antes haberlas sometido a un proceso purificador, ayudando así a la protección del medio ambiente.

La demanda total de agua en la región de estudio, - para los años indicados, se muestra en la tabla 2.5 y corresponde a la suma de todas las demandas que se calcularon para cada uso analizado.

RESUMEN DE LA DEMANDA TOTAL

USOS	1980	1990	2000
Doméstico	53.6	93.4	142.1
Industrial	1278.8	2023.9	2990.9
Agrícola	37.0	38.9	55.7
Pecuario	8.5	9.4	11.0
SUB-TOTAL	1377.9	2165.6	3199.7
Otras (Generación de energía eléctrica)(1)	-	11020.0	20405.0
TOTAL	1377.9	13185.6	23604.7

TABLA 2.5

(1) En este uso, el agua es retornada a la fuente casi totalmente y sin alteraciones en su calidad.

Todas las demandas que aquí se calcularon son susceptibles de modificaciones cada vez que aparezca nueva información relativa a ellas; aparte de que el campo queda abierto para la investigación con distintas técnicas, válidas también en su caso.



### III.- DISPONIBILIDAD DE AGUA

El objetivo de este capítulo es determinar la disponibilidad de agua para atender las diversas demandas, ya - definidas, en la zona de influencia del Puerto de Coatzacoalcos, estudiando la potencialidad de las fuentes de suministro.

En la naturaleza se encuentran disponibles las siguientes fuentes de abastecimiento:

- a) Agua atmosférica. que puede encontrarse en estado de vapor, suspendido en las nubes; como líquido, cayendo en forma de lluvia o sólido, en forma de granizo y nieve.
- b) Agua superficial. Constituye a los ríos, arroyos, lagos y embalses.
- c) Agua subterránea. Es la que infiltrándose a través de los poros del suelo constituye los acuíferos.
- d) Agua salada. Es la contenida en mares y océanos.

El aprovechamiento de cualesquiera de ellas determi-

na la forma de captación, tratamiento y distribución.

La disponibilidad de agua en cada fuente puede determinarse mediante la aplicación de un estudio hidrológico.

La Hidrología es la ciencia que estudia el agua en la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas, así como su relación con el ambiente.

Para el estudio de las fuentes de abastecimiento, dada su diversidad de presentación y comportamiento, la Hidrología puede considerarse dividida en:

- 1.- Hidrología superficial
- 2.- Hidrología subterránea

Atendiendo a esta clasificación, se procede enseguida a una descripción sucinta del estudio hidrológico realizado en la Cuenca del Río Coatzacoalcos, para estimar la oferta de agua en la región.

### 3.1.- Hidrología superficial.

Los aspectos más sobresalientes de la hidrología superficial a considerar en su aplicación para determinar la disponibilidad de las fuentes superficiales de suministro

son: las características físicas de la cuenca, su hidrografía y escurrimientos; su clima incluyendo precipitación, temperatura y evaporación; la influencia ciclónica y de mareas; la cantidad y tipo de captaciones existentes para el aprovechamiento de las fuentes, así como la calidad del agua.

A continuación se procede a presentar los resultados del análisis de la información existente de cada uno de los elementos mencionados, para la región de estudio.

### 3.1.1.- Climatología.

Por clima se entiende el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en una región cualquiera de la superficie terrestre.

Según los propósitos de este estudio, se consideró únicamente el análisis de los siguientes elementos meteorológicos; que además fueron suficientes para determinar el tipo de clima en la región, según la clasificación de Köppen:

- A) Temperatura.
- B) Precipitación
- C) Evaporación potencial

Para el análisis de estos 3 elementos climáticos, - en la región, se consideraron los datos registrados por - 13 estaciones climatológicas diseminadas en la cuenca, cuya distribución y localización en el área se muestra en - la figura 3.1.1.

A) Temperatura.- La medición de este elemento del clima se hizo en 10 estaciones climatológicas. Los resultados obtenidos del análisis de los registros son mostrados en el siguiente cuadro.

TEMPERATURA ANUAL MEDIA  
( en °C )

ESTACION CLIMAT.	PERIODO - OBSERVADO EN AÑOS	MINIMA (MES-- AÑO)	MAXIMA (MES-- AÑO)	MEDIA	ZONA DE UBI-GACION EN LA CUENCA
SANTIAGO CHIVELA	20	8.5 (2-60)	40.5 (5-55)	24.8	ALTA
MATIAS - ROJAS	34	8.0 (2-28)	42.0 (5-30)	24.6	"
JALTEPEC	13	7.0 (1-58)	43.0 (5-64)	25.4	"
CANDUYOC	13	4.0 (1-60)	48.0 V.A.S.	26.9	MEDIA
JESUS CA BARRAZA	21	9.0 (2-63)	41.5 (V.A.S.)	25.7	"
TECUANAPA	15	9.5 (12-63)	39.5 (5-64)	25.4	"
LAS PERLAS	18	9.0 (12-63)	41.0 (5-64)	25.9	"
HIDALGOTTI-TLAN	15	10.0 (12-63)	44.0 (5-64)	26.1	BAJA
MINATITLAN	45	V.A.S.	(5-50)	26.1	BAJA
NANGHITAL	27	10.0 (12-63)	42.0 (5-64)	25.4	"
COATZACOALCOS	45	10.0 (2-22)	42.5 (5-42)	25.3	COSTA
(V.A.S-varias)			Prom. Gral.	25.6	

Como se aprecia, el periodo de observación fue suficientemente grande como para considerarlo representativo, por lo tanto se hizo el análisis por ubicación de -- las estaciones según la zona de cuenca en que se encuentran. Así se obtuvo que para:

- La zona alta de la cuenca la temperatura promedio obtenido fue de 24.9 °C.
- La zona media presentó un promedio de 26.0 °C.
- La zona baja (contigua a la costa) el promedio fue 25.6 °C.

Más aún, se observó que el mes más frío en la región es enero con promedio regional de 15.4 °C y el más caliente corresponde a mayo con un promedio de 36.7 °C.

B) Precipitación.-- Los datos proporcionados por las 13 estaciones climatológicas de la región fueron analizados y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

PRECIPITACION ANUAL (en milim.)

PERIODO - OBSERVADO (AÑOS)	MINIMA (AÑO)	MAXIMA (AÑO)	MEDIA	ZONA DE UBI- CACION
SANTIAGO CHIVELA 19	600 (65)	1837 (50)	1117	ALTA
STA. MA. CHIMALA- PA 20	1648 (67)	2940 (72)	2267	"
NATIAS - ROMERO 34	716 (48)	1067 (29)	1311	"
SANTIAGO TUTLA 20	110 (74)	2340 (66)	1197	"
JALTEPEC CANDUYOC 13	1576 (63)	2387 (65)	2231	"
JESUS CA- RRANZA 23	1974 (48)	3870 (61)	2394	MEDIA
LAS PER- LAS 9	2441 (64)	3173 (68)	2680	"
TEGUANA- PA 15	2097 (57)	3257 (64)	2667	"
HIDALGO- TITLAN 15	1910 (60)	3317 (69)	2468	"
MINATI-- TLAN 45	1525 (50)	3885 (33)	2515	BAJA
MANCHI-- TAL 27	2091 (54)	3593 (58)	2803	"
HUAMUN-- TLAN 10	1185 (70)	1976 (65)	1610	"
CORTZA-- COALCOS 40	2058 (59)	3417 (28)	2275	COSTA
PROMEDIO EN LA ZONA			2118	

Del análisis de precipitación se observó lo siguiente:

El periodo de registro es grande en la mayoría de los casos y por lo tanto se consideró que representan una buena aproximación de las condiciones medias de precipitación para la región.

De la tabla mostrada se observa que para la zona alta de la cuenca la precipitación promedio fué de 1625 mm., anuales.

En la zona media este valor promedio de precipitación pluvial alcanzó el valor de 2552 mm.

Y para la zona baja el promedio fué de 2301 mm.

Se vió también que el periodo de mayores lluvias -- ocurre entre agosto y octubre en toda la región.

C) Evaporación potencial.-- La medición de este tercer elemento climático sólo fué posible realizarla en 5 de las estaciones. Similarmente a los dos anteriores, en el siguiente cuadro se muestran los resultados del análisis hecho a los registros disponibles.

EVAPORACION ANUAL (en mm.)

ESTACION	PERIODO - OBSERVADO (AÑOS)	MINIMA (AÑO)	MAXIMA (AÑO)	MEDIA	ZONA DE UBICA-- CION
SANTIAGO CHIVELA	15	1381 (54)	1862 (65)	1679	ALTA
LAS PER- LAS	7	1068 (66)	1230 (65)	1153	MEDIA
HIDALGO- TITLAN	13	1088 (58)	1244 (68)	1169	MEDIA
NANCHI-- TAL	12	1106 (64)	1402 (57)	1255	BAJA
COATZA-- COALCOS	8	1868 (54)	2501 (51)	2068	COSTA

A pesar de las pocas estaciones climatológicas que -  
aportaron datos de este elemento, éstos fueron de un perio-  
do suficientemente largo que permitieron observar que los  
mayores valores de comparación se registraron en las par--  
tes alta y baja de la cuenca y los menores en la zona me--  
dia.

D) Clima.- Basándose en los resultados obtenidos del  
análisis de los 3 elementos climáticos considerados y de -  
acuerdo al sistema de clasificación propuesto por Köppen -  
modificado por E. García en 1964, para adaptarlo a las ca-  
racterísticas particulares de la República Mexicana, se --  
distingue la variación siguiente de clima en la región.



ZONA

VARIACION DEL CLIMA EN LA REGION:

BAJA

Desde: Am(f)(i')g.- Corresponde a un clima cálido húmedo con lluvias en verano,  $\mu$  de la lluvia invernal 10.2 (con respecto a la anual), la precipitación del mes más seco 60 mm., poca oscilación de temperatura (entre 5° y 7° C) y marcha de temperatura tipo Ganges (el mes -- más caliente es antes de junio).

MEDIA

ALTA

Hasta: A wo(x')(i')g.- Clima cálido subhúmedo, lluvias en verano, el cociente de precipitación anual entre temperatura media anual (P/T) 43.2,  $\mu$  de la lluvia invernal respecto a la - anual 10.2, poca oscilación de temperatura y la marcha de ésta es tipo Ganges.

3.1.2.- Hidrografía de la cuenca.

La región de estudio, como ya se apuntó antes, pertenece a la cuenca del Río Coatzacoalcos; de acuerdo a la regionalización propuesta por la CRNH, para el estudio hidráulico del país, queda ubicada en la región 5, subregión 4; también pertenece a la región hidrológica núm. 29, de la regionalización propuesta por la Dirección de Hidrología, de la S.A.R.H.

La cuenca del Coatzacoalcos tiene una extensión de 21091 km<sup>2</sup>, su drenaje es de tipo arborescente de orden 4.

El río Coatzacoalcos, con una longitud aproximada de 325 km., nace en la Sierra Atravesada, del Edo. de Oaxaca, a más de 1500 m.s.n.m., convencionalmente se le ha dividido en 4 tramos. El primero corresponde al localizado en la zona montañosa, de topografía abrupta, cuenta -- con numerosos afluentes, difíciles de identificar; en esta zona, poco poblada, el río no recibe nombre específico. El segundo tramo, conocido como Río del Corte, tiene una topografía menos complicada que la anterior, el número de afluentes se atenúa, aquí el parteaguas izquierdo está -- más alejado del cauce principal que el derecho. Estos dos primeros tramos se pueden considerar como la parte alta de la cuenca.

El tercer tramo, que forma la mayor parte de la zona media de la cuenca, se considera que se inicia a la altura donde confluyen los afluentes Chichihua, Almoloya y Amatengo, aproximadamente 30 km., aguas abajo del poblado Sta. Ma. Chimalapa.

El último tramo, situado en plena zona baja, de topografía prácticamente plana, se inicia en el tramo donde ocurre la confluencia del Río Jaltepec, a unos 120 m.s.n.

m.; a partir de aquí el río se vuelve divagante, forma meandros, lagunetas y esteros, siendo notable el doble cauce que presenta a la altura del poblado Hidalgotitlán. Sobre este cuarto tramo recibe importantes afluentes como el Río Solosúchil, el Coachapa, el Uspanapa (el mayor de todos) y el Calzadas.

Es característica importante de estos ríos su régimen de corriente, el cual es de tipo perenne; además están alimentados por varios tributarios con régimen intermitente, que forman un sistema dendrítico y en ocasiones de cauces inestables debido al azolve que sufren durante la época lluviosa, siendo también esto una de las causas de la formación de meandros, lagunas y pantanos.

De acuerdo a la hidrografía de la cuenca y a su topografía se distinguen 30 subcuencas, algunas levemente definidas, que se describirán a continuación (véase la figura 3.1.2):

NUM.	CORRIENTE	DESDE	HASTA	AREA DRENADA (Km <sup>2</sup> )
(1)	Coatzacoalcos	Nacimiento	Estación Hidrométrica Paso Arnulfo	1480
(2)	Coatzacoalcos	E.H. Paso - Arnulfo	Confluencia del Río Chichihua	607
(3)	Chichihua	Nacimiento	Confluencia del Grande o del Corte	455
(4)	Grande o del Corte	Nacimiento	Confluencia del Chichihua	432
(5)	Chichihua y Tolosa	Confluencia de del Corte Nacimiento	Confluencia del Tolosa Confluencia del Chichihua	7 590
(6)	Chichihua	Confluencia del Tolosa	Confluencia al Coatzacoalcos	50
(7)	Coatzacoalcos	Confluencia del Chichihua incluyendo	Confluencia del Palo Grande el río Sarabia	935
(8)	Palo Grande	Nacimiento	Confluencia al Coatzacoalcos	1079
(9)	Coatzacoalcos	Confluencia del Palo Gran.	Confluencia del Jaltepec	87
(10)	Ixcuintepc	Nacimiento	Confluencia al Jaltepec	1152
(11)	Santiago Tutla	Nacimiento	Confluencia al Jaltepec	407
(12)	Jaltepec	Nacimiento	Est. Hidrom. Jesús Carranza II	1637
(13)	Jaltepec	E.H. Jesús Carranza II	Est. Hidrom. Jesús Carranza I	135
(14)	Jaltepec	E.H. Jesús Carranza I	Confluencia al Coatzacoalcos	76

NUM.	CORRIENTE	DESDE	HASTA	AREA DRENADA (Km <sup>2</sup> )
(15)	Coatzacoalcos	Confluencia del Jaltepec	Est.Hidrom. Las Perlas	95
(16)	Coatzacoalcos	E.H.Las Perlas	Confluencia del Chalchijapa	129
(17)	Chalchijapa	Nacimiento	Confluencia al Coatzacoalcos	1331
(18)	Coatzacoalcos	Confluencia del Chalchijapa	Confluencia del Coahuila	2395
(19)	Coahuila	Nacimiento	Confluencia al Coatzacoalcos	1354
(20)	Coatzacoalcos	Confluencia del Coahuila	Confluencia del Uspanapa	250
(21)	Uspanapa	Nacimiento	Confluencia del Oaxaca incluido éste	1088
(22)	Uspanapa	Confluencia del Oaxaca	Confluencia del Nanchital	987
(23)	Nanchital	Nacimiento	Confluencia al Uspanapa	782
(24)	Uspanapa	Confluencia del Nanchital	Confluencia al Coatzacoalcos	1946
(25)	Coatzacoalcos	Confluencia del Uspanapa	Confluencia del Calzadas	167
(26)	Tilapa o Calzadas	Nacimiento	Confluencia del Huazuntlán	651
(27)	Huazuntlán	Nacimiento	Est.Hidrom,Huazuntlán	138
(28)	Huazuntlán	E.H.Huazuntlán	Confluencia al Calzadas	205
(29)	Calzadas	Confluencia del Huazuntlán	Confluencia al Coatzacoalcos	317
(30)	Coatzacoalcos	Confluencia del Calzadas	Desembocadura al Golfo de México	127
TOTAL	---	---	---	21091

Se distinguen además, dentro del área, otras subcuencas pequeñas que drenan directamente al Golfo, éstas son - las correspondientes a:

- Pequeñas corrientes que drenan al Golfo, comprendidas entre el límite de las regiones hidrológicas - 28 y 29 (SARH) y la cuenca de la Laguna del Ostión, la superficie drenada es de 63 Km<sup>2</sup> (núm. 31 en el plano 3.1.2).
- Laguna del Ostión y corrientes aportadoras, comprende una área de 219 Km<sup>2</sup> (subcuenca 32 de la fig. 3.1.2).
- Pequeña corrientes entre las cuencas de los ríos Coatzacoalcos y Tonalá, que drenan al Golfo de México. Comprenden una superficie de 123 Km<sup>2</sup> y están marcadas con el mismo plano con el número 33.

Estas pequeñas cuencas suman un total de 405 Km<sup>2</sup> que sumados a los de la cuenca del Coatzacoalcos dan un total de 21496 Km<sup>2</sup> para la región en estudio.

### 3.1.1.- Escurrecimientos.

Por escurrimiento debe entenderse al escurrimiento -

superficial, éste es la cantidad de agua que es drenada por los arroyos y ríos habidos en ella y que es conducida a desembocar en el mar o en algún otro cuerpo de agua (lagos, lagunas, etc.).

El escurrimiento superficial en una cuenca es afectado por diversos factores, que dependen de las características propias de la cuenca, tales como su geología, topografía, vegetación, precipitación, evapotación, temperatura, etc.

Los ríos siempre presentan gran variación de sus escurrimientos en el tiempo, por lo que para su aprovechamiento es necesario conocer su régimen, sus gastos máximos, mínimos, medios, instantáneos, diarios, mensuales y anuales, así como la periodicidad y probabilidad con que se presentan. Por lo tanto, para poder determinar las características de las corrientes en base a los datos anteriores, es necesario disponer de un número suficientemente grande de registros de sus escurrimientos.

La medición de los escurrimientos dentro de la cuenca del Coatzacoalcos se ha efectuado en 5 estaciones hidrométricas, de las cuales 3 siguen en operación; las otras dos fueron suspendidas, Huasuntlán en 1956 y Jesús Carranza I en 1965, al ser relocalizada aguas arriba de su ubicación -

con el nombre de Jesús Carranza II. La localización de las estaciones se muestra en la figura 3.1.1.

Las 3 estaciones que contiúan operando, Paso Arnulfo y Las Perlas, sobre el Coatzacoalcos, y Jesús Carranza II sobre el Jaltepec, proporcionan datos de los escurrimientos del Río Coatzacoalcos correspondientes a los primeros 9224 Km<sup>2</sup> de la cuenca.

Con los datos reportados, de los gastos aforados, -- por las estaciones hidrométricas se elaboraron los hidro--gramas (gráficas escurrimientos-tiempo) de los gastos a--nuales promedio, para cada una; estos se muestran en la fi--gura 3.1.3, en donde también se indica el periodo observa--do en cada una.

También, con los gastos medios anuales, se calculó - el gasto promedio anual, que elevado al año dió por consi--guiente el volumen promedio anual escurrido y medido por - cada estación. Estos se muestran en la tabla 3.1.3.

Como se aprecia en la tabla 3.1.3, de los 21091 Km<sup>2</sup>- que tiene la cuenca, sólo se tienen aforados los escurri--mientos correspondientes a sus primeros 9224, es decir, el 43.7% de su área. Nótese también que el periodo observado



E S T A C I O N	Corriente	Años obser- vados	Gasto medio $m^3/seg.$	Volum.med. anual escu- rrido $\times 10^6 m^3$	Area arena da ( $Km^2$ )	Rendi- miento ( $m^3/m^2$ )
Paso Arnulfo	Coatzacoalcos	8	105.36	3324.9	1480	2.25
J. Carranza I	Jaltepec	13	147.52	4655.4	3331	1.40
J. Carranza II	Jaltepec	9	145.46	4590.4	3196	1.44
Las Perlas	Coatzacoalcos	21	436.61	13778.4	9224	1.49
Huazuntlán	Huazuntlán	5	7.00	220.9	138	1.60

TABLA 3.1.3

(en número de años) en cada estación fue relativamente grande y los valores medios obtenidos, de escurrimiento, fueron considerados como representativos para cada estación. Como prueba de confiabilidad de esto se tienen los valores de -- las estaciones Jesús Carranza I y II, las que a pesar de haber sido ubicadas, una en substitución de la otra, en puntos diferentes, su separación sobre la misma corriente no es muy grande y se consideró que estaban emplazadas en la misma zona; entonces se obtuvo que para los periodos de observación de 13 y 9 años respectivamente, los rendimientos de cuenca (desde el nacimiento del Jaltepec hasta la zona -- donde se ubicaron las estaciones) son congruentes.

Efectivamente, los valores de rendimiento de cuenca -- (relación volumen/área, que representa una lámina de agua -- en escurrimiento) se comportan decrecientemente al aumentar el área aforada hasta la sección, y en el referido caso de las estaciones Jesús Carranza, el rendimiento calculado fué mayor en la estación II, que en la I, en sensible proporción a la diferencia de áreas entre una y otra. Tómese en cuenta que los valores de la columna área drenada corresponden a la superficie de cuenca habida desde el nacimiento de la corriente hasta el sitio donde se ubica la estación. -- Así el rendimiento calculado hasta la estación Jesús Carranza II ya ha tomado en cuenta el de la Jesús Carranza I; de

igual modo, el rendimiento calculado en Las Perlas ya comprende a los rendimientos de las áreas correspondientes a las estaciones situadas aguas arriba (Paso Arnulfo y las - Jesús Carranza).

El concepto de rendimiento relacionado con los factores que afectan al escurrimiento superficial en una cuenca, es útil en la suposición de las características de las corrientes en aquellas zonas de la cuenca donde se carezca de la información relativa.

De este modo, en la cuenca estudiada, en que más de la mitad de su área carece de afluentes en sus escurrimientos fué necesario realizar un análisis de sus características para poder suponer la aportación de agua por concepto de escurrimiento superficial. Esto se comentará más adelante en la sección 3.1.5, denominada disponibilidad de agua superficial.

#### 3.1.4.- Aprovechamiento del agua superficial.

Las características propias de la cuenca, que es donde se localiza la mayor parte del área en estudio, no presentan condiciones favorables para la construcción de grandes obras de captación de agua superficial. No obstante esto, se han llegado a construir algunos sistemas de aprovechamiento; en su mayoría se trata de represas con pequeños

bordos y escasos sistemas de bombeo, también se tienen los proyectos para construir los sistemas hidroeléctricos comentados en el capítulo anterior, que, como se recordará, dispondrán de alturas (cargas hidráulicas) no muy grandes.

A) Inventario de aprovechamientos.— Los escasos sistemas de aprovechamiento habidos, han sido construidos con la finalidad principal de utilizarlos en la industria, a -- continuación se muestra, en el cuadro 3.1.4.a, el inventario de los aprovechamientos superficiales que se tenían hasta 1970, algunos de los cuales han dejado de funcionar o -- son operados por otras compañías.

#### APROVECHAMIENTOS SUPERFICIALES (HASTA 1970)

NOMBRE	CORRIENTE	MUNICIPIO	CAPACIDAD m <sup>3</sup> /seg.	USOS
Minatitlán	Huazuntlán	Minatitlán	3.0	Industriales
Cía. Exploradora del Istmo	Coachapa	Minatitlán	0.5	"
Azufre de Vera-cruz	Coachapa	Minatitlán	0.4	"
Azufre de Vera-cruz	Coachapa	Minatitlán	0.2	"
Azufre Mexicana	Coachapa	Minatitlán	0.1	"
Mexican Sulphur Sales y Alcalis	Coachapa	Minatitlán	0.1	"
	Chacalapa	Coatzacoalcos	0.4	"
	Teapa	Coatzacoalcos	2.0	"

TABLA 3.1.4.a

Recientemente, la Compañía Azufrera Panamericana, S. A., ha construido una pequeña presa sobre el Río Mezcalapa; sobre el arroyo Paso Real Mechiapa, se halla un aprovechamiento destinado a usos agrícolas, en el riego de escasas áreas de cultivo cercanos a la Ciudad de Acayucan, pero -- también es utilizado en la industria.

Debido al desarrollo de los complejos petroquímicos de Pajaritos y La Cangrejera, las demandas de agua han aumentado considerablemente y fue necesaria la construcción de la Presa La Cangrejera, sobre el arroyo Teapa, que forma parte del sistema de drenaje del Río Upanapa (ver plano 1.1). Con esta presa se pretende cubrir las demandas de los dos complejos aludidos, además de las del complejo Morelos, así como ayudará a satisfacer las demandas urbanas del Puerto de Coatzacoalcos, haciéndolo en diferentes etapas de operación de la presa.

Los principales datos de proyecto de la presa son: - elevación máxima extraordinaria, por encima del lecho inferior, 21.65 m; elevación del umbral de la toma, 15.30 m; - capacidad para azoives, 5 millones de  $m^3$ ; capacidad útil, 18.5 millones de  $m^3$ ; gasto máximo del vertedor, 166  $m^3$ /seg. y gasto máximo de la obra de toma, 20  $m^3$ /seg. A continuación se da la relación elevación-área-capacidad de la presa.

RELACION ELEVACION-AREA-CAPACIDAD DE LA PRESA CANGREJERA

Elevación (m)	Area $\times 10^6 \text{m}^2$	Volumen $\times 10^6 \text{m}^3$
15.30	2.00	5
16.00	2.50	6
17.00	3.30	9
18.00	4.15	13
19.00	5.25	18
20.00	6.50	25
21.00	7.50	34
21.65	8.25	40

B) Calidad.- Existe en la actualidad gran preocupación por el aumento de la contaminación de fuentes superficiales de agua.

La contaminación de ríos, lagos, lagunas, estuarios y aguas litorales se origina por la descarga de sustancias que modifican la calidad del agua en ellos. Los factores que agravan los problemas de contaminación son el crecimiento de la población, el consiguiente aumento de la actividad en los diversos sectores de la economía, y los costos asociados al establecimiento de mecanismos destinados al control de la contaminación.

Los principales contaminantes son:

- La materia orgánica y nutrientes que provocan déficit de oxígeno disuelto.
- Grasas y aceites, que entre otros perjuicios provocan oclusión en las agallas de los peces.
- Coliformes que afectan a la salud humana.
- Otros, como metales pesados y pesticidas, que ejercen efectos letales a diferentes tiempos sobre la flora y la fauna acuáticas.

En la zona estudiada se ha detectado un fuerte problema de contaminación principalmente en la porción baja de la cuenca, que es la de mayor importancia, por concentrarse -- allí las principales actividades económicas.

Existen 47 descargas de aguas residuales, que llegan directamente al río o a través de sus afluentes.

Las principales fuentes de contaminación son las ciudades de Coatsacoalcos, Minatitlán, Nanchital y Las Choapas, la Refinería de PEMEX en Minatitlán, los complejos petroquímicos y Puertos Libres Mexicanos.

Las principales descargas polucionantes son, entre -- otras, aceite (90 ton/día) grasas y fenoles (350 Kg/día), -

por parte de la refinería; Guanos y Fertilizantes descarga aguas con alto contenido de yeso; en Pajaritos las descargas más peligrosas son las de plomo (45.8 Kg/día) y --mercurio (0.52 Kg/día); además de las aguas negras de los poblados y los derrames de los barcos petroleros.

En la zona Minatitlán-Coatzacoalcos se generan 14.2 Ton/día de Demanda Biológica de Oxígeno y 69.0 Ton/día de Demanda química de O., por contaminantes.

De análisis físico-químicos y biológicos realizados a muestras de agua superficial locales, se obtuvieron los siguientes resultados:

CONTENIDO	Variación en el contenido		
Grasa y aceite	1.0	-	204.2 mg/l
Nitrógeno amoniacal	0.05	-	25.3 "
Cloruros disueltos	9.1	-	24,500 "
N.M.P.coliformes fecales	0.003	-	0.467 <u>miles</u> 100 ml

Estos valores están muy por encima de los mínimos -- marcados por las normas de calidad de agua de la S.S.A., - para uso doméstico y de pesca; llegando en ocasiones a ser impropia el agua para otros usos.



Resulta necesaria entonces la creación de sistemas de control de calidad de las descargas, procurando disminuir - este proceso contaminador del vital recurso. Así se consideró y ha sido establecido en la región , un distrito de control de la calidad del agua en el que participan las ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, así como 15 empresas industriales establecidas en la zona (1978).

El distrito consta de las siguientes características:

**CARACTERISTICAS DEL DISTRITO DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA (1978)**

	MINATITLAN	COATZACOALCOS	PAJARITOS
USUARIOS MUNICIPALES	Cd. (1)	Cd. (1)	(0)
USUARIOS INDUSTRIALES	(7)	(1)	(7)
TIPO DE PLANTA	Lagunas aereadas	Lagunas Estabilizadoras	Lagunas Aereadas
CAPACIDAD DE PLANTA (en l.p.s.)	600	100	1250
INVERSION millones de pesos	157.5	25	319.5
COSTO DE AGUA TRATADA (\$/m <sup>3</sup> )	2.25	2.15	2.20

Tabla 3.1.4.b

Es imprescindible que este tipo de acciones continúe aumentando conforme lo hace la actividad industrial, a fin de mantener un saludable equilibrio ecológico de la región y que así la industria represente un completo beneficio para la población.

### 3.1.5.- Disponibilidad de agua superficial.

El agua disponible en cualquier región depende del número y tipo de fuentes de abastecimiento, que a su vez están determinadas por las características de la cuenca.

En el caso de la disponibilidad del agua superficial, las fuentes naturales más comunes de abastecimiento de agua dulce son los ríos, lagos y lagunas; y el agua contenida en ellas constituye la disponibilidad natural.

La disponibilidad natural es susceptible de aprovechamiento mediante la construcción de la respectiva obra de captación, la disponibilidad así lograda suele denominarse disponibilidad con infraestructura y prácticamente constituye el volumen que se encuentra listo para ser utilizado mediante su adecuada conducción y distribución hasta el sitio donde se aprovechará.

En lo que concierne a la zona de estudio, la disponibilidad que se cuantificó fue la natural, porque evaluar la disponibilidad con infraestructura hubiera conducido a abordar otros temas propios de las obras hidráulicas y de políticas de planeación e inversión. Así pues, considerando el objetivo central de la tesis, se analizó la disponibilidad natural, de la que se obtuvo un panorama amplio de la potencialidad de las fuentes de suministro superficial.

les regionales, siendo esto valiosa ayuda en la planificación de las acciones a desarrollar para su aprovechamiento y el desarrollo de la región.

A) Evaluación de la disponibilidad.- La disponibilidad de agua en las fuentes depende de su recarga y de su vaciado. Este último es función del aprovechamiento que se tenga de ella, así como de la evaporación y drenado natural de sus volúmenes; mientras que la primera, tratándose del agua superficial en una cuenca, depende de la única fuente de recarga existente: la precipitación.

En efecto se recuerda la ecuación de balance hidráulico, que expresa a la continuidad del ciclo hidrológico y que dice:

$$P = S+I+E \dots \dots \dots (3.1)$$

que del volumen (P) de agua precipitado, en una región de balance, una parte (S) es drenada superficialmente, por las corrientes existentes (escurrimiento superficial), otra (I) se infiltra y otra cantidad del volumen (E) es evaporado o transpirado y aprovechado por los seres vivos para su subsistencia.

De la ecuación se desprende que el volumen a conside

rar como oferta de agua superficial en la región de estudio es el correspondiente al escurrimiento superficial.

Así, para evaluar este volumen, basta con despejar a S, de la ecuación 3.1, y conocer las otras cantidades, lo cual no es tan sencillo en lo concerniente a la infiltración principalmente y en menor grado la evaporación y evapotranspiración.

Sin embargo, ante este problema, se cuenta con la información de los escurrimientos medidos en las estaciones hidrométricas durante un periodo suficientemente largo de observaciones, que permitieron considerarlos confiables y representativos del volumen disponible de agua superficial. Aún así, se recordó que la mayor parte de la cuenca (en su porción baja) se encuentra sin mediciones al respecto, por lo que, para estimar sus escurrimientos, se hizo un análisis que se describirá adelante.

A.1) La disponibilidad de agua en zonas que cuentan con aflores de sus escurrimientos.

Esta determinación se hizo directamente de los datos disponibles de los escurrimientos registrados en las estaciones afloradoras.

El volumen anual disponible se tomó como el promedio de los volúmenes anuales de escurrimientos observados en cada estación, éste es el indicado en la tabla -- 3.1.3.

El área cubierta corresponde a las porciones alta y parte de la baja (en su inicio) de la cuenca del Río - Coatzacoalcos.

A.2) La disponibilidad en zonas que carecen de afo ro en sus corrientes.

Esta zona corresponde en su mayoría a la porción - baja de la cuenca, la situada prácticamente en la planicie costera; contiene también, en menor proporción, a zonas altas, como son los nacimientos de los ríos Huazuntlán, Uspanapa, Coachapa y Chalchijapa.

La determinación de la disponibilidad en esta zona se hizo bajo las siguientes consideraciones:

- 1ª. El escurrimiento superficial es función de la precipitación, la infiltración y la evaporación, - que a su vez dependen del clima (precipitación, -- evaporación, temperatura), tipo de vegetación y -- características topográficas y geológicas.

- 2ª. El clima, la vegetación y la geología, presentan características muy similares, con pequeña variación, en toda la cuenca, se puede decir que son homogéneos. No sucede lo mismo con la topografía -- (véase la figura 3.1.5) que presenta pendientes muy fuertes en las partes altas y muy pequeñas en la -- parte baja.
  
- 3ª. Se calcularon los rendimientos de cuenca para las áreas correspondientes hasta las estaciones hidrométricas. Como pudo observarse (tabla 3.1.3), estos valores disminuyen al aumentar las áreas y al -- decrecer las pendientes (aún en las estaciones Jesús Carranza, a pesar de la cercanía entre ellas).
  
- 4ª. Como el clima, la vegetación y la geología son homogéneas en la cuenca, se consideró que su influencia en el escurrimiento superficial es prácticamente constante para cualquier área drenada y su valor es ponderado en la relación escurrimiento-área, es decir el rendimiento.

La otra característica, cuya variación incide en el escurrimiento y que se estimó pertinente considerar para cuantificarlo, es la topografía, analizada con

la pendiente de cuenca (evaluada en el cauce principal).

- 5ª. Se decidió hacer un análisis de correlación lineal, entre los valores del rendimiento y la pendiente promedio; asociados a cada estación. Este análisis se realizó para los datos de las estaciones Paso Arnulfo y Las Perlas, por encontrarse ambas sobre el cauce principal.

La pendiente promedio se calculó con la expresión:

$$S_m = \left( \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{s_i}}{n} \right)^2 \dots \dots \dots (3.2)$$

donde:

- S<sub>m</sub> - pendiente promedio hasta el punto donde se pretende calcular.
- n - número de tramos en que se divide el cauce.
- s<sub>i</sub> - pendiente del tramo i.
- l<sub>i</sub> - longitud del tramo i.

Cálculo de Pendientes promedio.

DAFOS: (ver figura 3.1.5)

TRAMO	Desnivel (m)	Longitud (Km)	Si=D/1	Sm (ec.3.2.)
(1)	901.4	17.2	0.0524	
(2)	197.9	6.6	0.0300	
(3)	201.4	15.9	0.0127	$\left(\frac{66.400}{624.596}\right)^2 = 0.0113$
(4)	138.9 (hasta Paso Arnulfo)	26.7	0.0052	
(5)	69.4	17.2	0.0040	$\left(\frac{180.400}{4555.248}\right)^2 = 0.0016$
(6)	69.5 (hasta Las Perlas)	96.8	0.0007	
(7)	121.5 (hasta la Desembocadura)	145.9	0.0008	$\left(\frac{325.300}{9713.592}\right)^2 = 0.0011$

TOTAL 326.3

CALCULO DEL RENDIMIENTO MEDIO DE TODA LA CUENCA HASTA LA DESEMBOCADURA.

Sm	Rm	
0.0113	2.25	(Hasta Paso Arnulfo)
0.0016	1.49	(Hasta Las Perlas)
0.0011	?	(Hasta La Desembocadura)

ajustando los primeros pares de valores a una recta, se llegó a la siguiente ecuación de correlación entre Rm y Sm.

$$(R_m - 1.49) = \frac{(2.25 - 1.49)(S_m - 0.0016)}{0.0113 - 0.0016}$$

$$R_m = (78.351) S_m + 1.365 \dots \dots \dots (3.3)$$



Por lo tanto, al sustituir en la ec. 3.3 el valor de  $S_m$  0.0011, que significa la pendiente promedio supuesta para toda la cuenca, se obtuvo el valor de rendimiento promedio para la misma, el cual fue:

$$\underline{R_m = (78.351) * (0.0011) + 1.365 = 1.451 \text{ m}}$$

Entonces el escurrimiento promedio supuesto para toda la cuenca, calculado mediante el procedimiento anterior, quedó como sigue:

VOLUMEN TOTAL PROMEDIO =  $R_m \times \text{Area}$  (DE TODA LA CUENCA)

Así:  $A = 21091 \text{ km}^2 = 21091 \text{ millones de m}^2$

por lo tanto:

$$V_{tp} = 1.451 \times 21091 \times 10^6 = \underline{30603.041 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

Y este volumen, de 30 603 millones de  $\text{m}^3$ , se consideró como la disponibilidad de agua superficial en la cuenca del Río Coatzacoalcos.

A.3) Resumen de la disponibilidad.

a) PARTE ALTA DE LA CUENCA (Hasta la Estación Las Perlas)  $V_1 = 13778.4 \times 10^6 \text{ m}^3$

b) PARTE BAJA (Hasta la desembocadura)  $V_2 = 16824.6 \times 10^6 \text{ m}^3$

c) Disponibilidad total de agua superficial en la -  
cuenca.

$$V_t = 30603.4 \text{ millones de m}^3$$

d) Disponibilidad adicional (405 km<sup>2</sup> de las peque-  
ñas cuencas adyacentes)

$$V_a = 1.3 \times 405 \quad 526.5 \times 10^6 \text{ m}^3$$

### 3.2.- Hidrología Subterránea.

La Hidrología Subterránea o Geohidrología puede defi-  
nirse como la parte de la Hidrología que se encarga del es-  
tudio del agua subterránea, su ocurrencia, movimiento y --  
distribución en el subsuelo, así como de los métodos em---  
pleados para su exploración, explotación y cuantificación.

De modo que habiendo determinado la disponibilidad -  
de agua superficial como se describió antes, ahora se pre-  
sentará, en forma sucinta, el estudio geohidrológico que  
se realizó en la zona de estudio para cuantificar la dispo-  
nibilidad de agua subterránea.

#### 3.2.1.- Geología

La Geología es una ciencia auxiliar para el estudio  
del agua subterránea, al describir las características de  
los materiales de la Tierra que conforman al suelo y al --  
subsuelo, donde podría tener lugar la infiltración y alma-  
cenamiento del agua.

Los rasgos topográficos de la zona estudiada presentan a un terreno llano, prácticamente de planicie, y con elevaciones poco significativas (30 a 50 m, sobre nivel de terreno). Se encuentra comprendida en la denominada Provincia Fisiográfica de la Planicie Costera del Golfo y, como se apuntó antes, en la porción baja de la cuenca del Río - Coatzacoalcos.

La base litológica de la zona se compone de rocas sedimentarias que estratigráficamente datan del Terciario Superior, identificada como de la formación Agueguxite del Mioceno y se compone de estratos de lutitas fosilíferas intercaladas con capas arcillosas y salinas. Sobre ésta se identificó otra formación que corresponde también al Mioceno, conocida como Cedral, la cual se constituye esencialmente de arena gris-azulosa, con variabilidad en el tamaño de sus granos (grueso a fino), escasas intercalaciones de lutita azul-verdosa y frecuentemente se encuentran alternas capas de grava; se le ha estimado un espesor hasta de 900 m.

Sobre estas formaciones se encuentra una más reciente, perteneciente al Plioceno, denominada Calapa; en ella se identifican areniscas, arcillas y grava, que en ocasiones se encuentran formando conglomerados.

Estas formaciones, que constituyen la base litológica de la región, se han encontrado aflorando al este y sureste de la región, así como una pequeña porción al sur, a la altura de Minatitlán.

En la parte restante del área en estudio, principalmente al centro se han detectado depósitos cuaternarios y holocénicos, constituidos por materiales de origen sedimentario, tanto de origen eólico como fluvial y marino, - mismos que han cubierto a las formaciones del Terciario.- La composición de esta formación es principalmente de arcillas a arenas gruesas, con profundidades hasta de 10 m, que se localizan en el cordón litoral de dunas cuaternarias a lo largo de la costa, también se les llega a encontrar cubriendo montículos de material del Terciario.

Esta última zona constituye la llanura de inundación, ubicada en una área plana con ligeras ondulaciones motivadas por la acumulación de bancos aluviales rodeados de pequeñas vaguadas. Véase el plano 3.2.1.

### 3.2.2.- Hidrogeología.

La Hidrogeología apoyada en la Geología es otra auxiliar de la Geomorfología y se encarga de relacionar a las características de los materiales constitutivos del -

suelo y subsuelo principalmente con su propiedad de permitir la infiltración a través de ellos y de formar acuíferos.

Con ayuda de la información geológica disponible de la zona, los resultados de perforaciones practicadas e investigaciones geofísicas locales, se han podido hacer análisis detallados de las propiedades que determinan cuales formaciones geológicas de las localizadas son aptas, y en que medida, para constituir acuíferos.

Como se vió anteriormente, en la zona estudiada se han localizado formaciones en la superficie cuyas edades se encuentran comprendidas entre el Jurásico y el Reciente y están constituidas por materiales tanto de origen marino como continental, con variación en su granulometría y en su permeabilidad consecuentemente.

Los sedimentos marinos del Jurásico y del Cretácico son arcillas calcáreas; los sedimentos del Oligoceno y del Mioceno Inferior son arcillosos con intercalaciones eventuales de arena; los del Mioceno Superior son predominantemente arenosos. La permeabilidad de estos materiales es de media a baja.

Los sedimentos del Terciario están constituidos --

por arcillas principalmente, se encuentran generalmente en la parte superior de las intrusiones salinas, por lo que han sufrido alteraciones de parte de éstas, ocasionando que los cuerpos de arena que pudieran contener sean compactos y de poca permeabilidad.

Los materiales de origen Continental datan del Pleistoceno al Holoceno o Reciente y son predominantemente volcánicos y aluviones, presentando tamaños de arcillas, arenas y fragmentos grandes de roca. Su permeabilidad varía de buena a muy buena.

Estas características hidrogeológicas se presentan en la figura 3.2.1, indicando a la vez en el cuadro adjunto al plano un resumen de ellas.

De acuerdo a las características hidrogeológicas observadas, se han distinguido zonas propicias para la explotación del agua subterránea, dos cercanas al lugar de emplazamiento del complejo petroquímico del Puerto de Laguna del Estión.

La primera se localiza al oriente del anticlinal Chinameca, ésta consiste en depósitos arenosos con saturación de agua dulce. La segunda, que presenta depósitos arenosos más restringidos que los anteriores debido a la

ocasional presencia de arcillas, además que se encuentra - influido por las intrusiones de domos salinos, se localiza al poniente del mencionado anticlinal. Asimismo, un poco - más alejadas de la costa, se hallan otras zonas con buenas posibilidades hidrogeológicas de contener agua subterránea a poca profundidad.

Por otra parte, durante la perforación de pozos de - explotación y exploración petrolera, se han localizado acuíferos a profundidades tales que actualmente su explotación sería a costos mayores de los que se tienen con la extracción de los acuíferos más someros. Mas sin embargo, tomar en cuenta su existencia resulta previsorio para situaciones de escasez que en algún tiempo pudieran presentarse.

### 3.2.3.- Geohidrología.

El agua subterránea representa, por su calidad y en muchos lugares por su disponibilidad, el principal de los recursos hidráulicos.

La fuente de abastecimiento de agua subterránea la - constituyen los acuíferos, que son formaciones geológicas capaces de permitir el movimiento y almacenamiento del - - agua a través de sus poros o intersticios moleculares.

El agua subterránea puede encontrarse estática o en

movimiento, pero la explotación de ella exige siempre su movimiento.

Para que la explotación resulte activa deben cumplirse dos condiciones: La formación o acuífero debe contener volúmenes importantes de agua y permitir su libre circulación. Esto es que la formación geológica tenga una cierta proporción de vacíos capaces de contener agua; pero para que el acuífero sea atractivo, desde el punto de vista de su aprovechamiento, los huecos deben estar interconectados de manera que el agua pueda transitar de uno a otro en sucesión continua para aflorar finalmente en las captaciones, sean éstas naturales o artificiales.

El agua subterránea está relacionada directamente -- con el concepto hidrológico de infiltración, del cual depende su recarga y por ende su potencialidad de aprovechamiento.

En México, como en otras partes del mundo, se considera que el agua subterránea está constituida por dos componentes principales:

- El volumen renovable. Determinado por la recarga estacional del acuífero.
- Volumen no renovable. Equivalente al almacenamiento



to del acuífero.

El conocimiento del comportamiento y capacidad de los acuíferos es el campo que atañe a la Geohidrología, la evaluación de tales características se realiza mediante diversos estudios que dependen del grado de profundidad con que se ejecutan. Así se tiene que existen.

- Estudios iniciales, con los que se detiene una primera información de las características de los acuíferos, apenas burda.
- Estudios preliminares, en los que al afinar la información dada por los estudios iniciados pueda ya estudiarse la recarga del acuífero estudiado.
- Estudios avanzados (2º orden). Con este tipo de estudios puede llegarse a un cálculo más aproximado de la recarga y con ello la cuantificación del potencial del acuífero. Esto se logra con un mayor tiempo de observación continua de las características del acuífero en estudio.
- Estudios con modelo (1º orden). Cuando se tiene un mayor periodo de información de las características de los acuíferos y ésta ha sido continua, es posible la elaboración de un modelo matemático o analógico, permitiendo definir el comportamiento del acuífero a diferentes tiempos y bajo diferentes al-

ternativas de explotación.

La evaluación de la potencialidad de un acuífero debe realizarse mediante un método que trabaje directamente con el acuífero, con el agua ya infiltrada y relativamente al margen de los fenómenos que ocurren en la superficie. - Este método se denomina "Balance de Agua Subterránea".

Un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recargas, descargas y un cierto almacenamiento. La acción combinada de las dos primeras tiene como consecuencia una variación en la tercera; en efecto, el nivel del agua en el recipiente varía, descendiendo si la recarga es menor que la descarga, y ascendiendo, en el caso contrario.

La recarga, descarga y cambio en el almacenamiento se relacionan entre sí y están restringidas por el principio universal de la conservación de la materia. El balance del agua subterránea se basa en este principio.

La ecuación de balance, que expresa el principio mencionado y cuya finalidad principal es determinar el volumen de recarga en un acuífero se denomina Ecuación de balance de agua subterránea, que en su forma más simple dice:

Recarga-Descarga = Cambio de almacenamiento . . . . . (3.3.a)

Tanto la recarga como la descarga ocurren de diferentes maneras:

- La recarga puede tener lugar debido a flujo subterráneo ( $E_h$ ) proveniente de otros acuíferos o bien de zonas de recarga y/o por recarga vertical neta en el área de balance ( $R$ ), ya sea por aportaciones de acuíferos superiores o por la infiltración de la lluvia.
- La descarga puede deberse a flujo subterráneo ( $S_h$ ); o bien aflorando en forma de manantiales, a una corriente superficial o al mar, en el caso de acuíferos, ( $D$ ); también al bombeo ( $B$ ) mediante pozos de explotación; así como también por evaporación del agua que se halla bajo la superficie del terreno a profundidades someras ( $E_v$ ).

Si se denota con la letra  $V$  al cambio de almacenamiento la ecuación (3.3.a) puede expresarse como sigue:

$$(E_h + R) - (S_h + D + B + E_v) = V \dots \dots \dots (3.3)$$

Para el caso de la zona tratada en la presente tesis, los estudios realizados, que cubrieron una área de 2300 km<sup>2</sup>, arrojaron los siguientes datos de las características del

acuifero costero correspondiente a la región de Coatzacoalcos-Minatitlán.

De observaciones piezométricas y pruebas de bombeo realizadas en los pozos y norias existentes en la zona se determinaron importantes diferencias, en áreas de bombeo intenso, entre niveles estáticos (de los pozos) y niveles freáticos (en norias).

Las configuraciones de niveles realizados en gabinete con ayuda de los datos piezométricos obtenidos en campo permitieron inferir que los niveles freáticos se encuentran sobre el nivel del mar, mientras que los niveles estáticos, correspondientes a los acuíferos inferiores, se encuentran abajo del nivel señalado, dando lugar a que, si se establece una explotación excesiva de agua subterránea y cercana a la costa, se pudieran establecer gradientes hidráulicos hacia tierra adentro, propiciando la invasión de agua salina en los acuíferos de agua dulce.

Esto condujo a establecer que el funcionamiento de los almacenamientos habidos en los primeros 40 m de profundidad es propio de acuíferos libres y es, además, independiente de los acuíferos más profundos, seguramente la separación de ambos se debe a la presencia de estratos arcillosos e impermeables que confinan a los últimos.

Los valores de transmisibilidad obtenidos de las -- pruebas de bombeo realizadas en los aprovechamientos exigentes, previamente seleccionados varían de  $2 \times 10^{-4}$  a  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/seg. Además se obtuvieron valores de permeabilidad del suelo entre Minatitlán y Coatzacoalcos, siendo estos de  $3 \times 10^{-4}$  m/seg para la horizontal y  $5 \times 10^{-8}$  m/seg para la vertical, en promedio.

La mayor parte de la recarga de los acuíferos proviene de la infiltración de la precipitación, las principales descargas ocurren por las aportaciones de los acuíferos a las corrientes superficiales en las épocas de baja precipitación o estiaje, estimándose ésta en  $1000 \times 10^6$  m<sup>3</sup> por año, y otras por la extracción mediante la operación de pozos y norias.

En la región considerada, los acuíferos son de extensión y espesor importantes y reciben una recarga abundante, que aún no ha sido cuantificada en su totalidad ni con precisión. Sin embargo, se han emitido las siguientes cifras relacionadas con la potencialidad del acuífero estudiado por la SARH (Atlas Geohidrológico de la República Mexicana, Subdirección de Geohidrología, 1978).

Area estudiada	2,300 km <sup>2</sup>
Area explotada	2,223 km <sup>2</sup>

Los valores de transmisibilidad obtenidos de las -- pruebas de bombeo realizadas en los aprovechamientos exigentes, previamente seleccionados varían de  $2 \times 10^{-4}$  a --  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/seg. Además se obtuvieron valores de permeabilidad del suelo entre Minatitlán y Goatzacoalcos, siendo estos de  $3 \times 10^{-4}$  m/seg para la horizontal y  $5 \times 10^{-8}$  m/seg para la vertical, en promedio.

La mayor parte de la recarga de los acuíferos proviene de la infiltración de la precipitación, las principales descargas ocurren por las aportaciones de los acuíferos a las corrientes superficiales en las épocas de baja precipitación o estiaje, estimándose ésta en  $1000 \times 10^6$  m<sup>3</sup> por año, y otras por la extracción mediante la operación de pozos y norias.

En la región considerada, los acuíferos son de extensión y espesor importantes y reciben una recarga abundante, que aún no ha sido cuantificada en su totalidad ni con precisión. Sin embargo, se han emitido las siguientes cifras relacionadas con la potencialidad del acuífero estudiado por la SARH (Atlas Geohidrológico de la República Mexicana, Subdirección de Geohidrología, 1978).

Area estudiada	2,300 km <sup>2</sup>
Area explotada	2,223 km <sup>2</sup>

Volumen susceptible de explotación	$100 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$
Extracción anual	$27 \times 10^6 \text{ m}^3$

Sin duda que existen otros acuíferos, los cuales -- convendrían ser estudiados para definir disponibilidades adicionales de agua subterránea.

#### 3.2.4.- Aprovechamiento del agua subterránea.

El aprovechamiento del recurso agua, cualquiera que sea su fuente, está sujeto a la calidad mínima requerida para el uso a que se destine y a los recursos económicos de que se disponga para la ejecución de obras e implantación de los sistemas indispensables para su explotación.

Las obras de toma de agua subterránea se pueden clasificar de acuerdo a las características que presentan -- los acuíferos que las contengan. Así las tomas pueden ser:

- Manantiales o afloramientos espontáneos del agua subterránea a través de formaciones geológicas que así lo permitan.
  
- Pozos que son excavados, hincados, perforados o barrenados en la tierra. Los excavados e hincados, comúnmente llamados norias, se restringen a profundidades menores a 30 m.

- Galerías filtrantes. Consistentes en túneles o excavaciones a cielo abierto destinados a conducir el agua desde sus depósitos en el subsuelo, hasta el sitio de su aprovechamiento.

a) Extracciones. - La explotación de agua subterránea puede calificarse como de media intensidad, queriendo decir con esto que los acuíferos en la zona estudiada no están sobreexplotados a pesar de realizarse en ellos extracciones considerables.

En el acuífero estudiado, el de la costa, las extracciones más importantes se realizan mediante la operación de 230 pozos, (1978). Existen numerosas norias diseminadas en toda la región, de las que se extraen volúmenes poco significativos, incluso las profundidades de estos aprovechamientos son tan someras que se concluyó que sólo se explota el agua freática. Los aprovechamientos establecidos en manantiales son poco numerosos, restringiéndose en su mayoría a la explotación manual, de despreciable significancia.

El volumen de extracción se calculó que es de  $56 \times 10^6$  de  $m^3$ /año, en la región estudiada, que comprende la planicie costera de la cuenca. De la extracción total, -



aproximadamente  $33.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$  son extraídos en el -- área circunvecina a Minatitlán; en Coatzacoalcos la ex-- tracción es de  $13.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$ ; en la zona de la Con-- gregación de Allende y Nanchital el volumen explotado -- anual es de aproximadamente  $9.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ . El principal - uso de las extracciones es para agua potable en un 70%, 25% en la industria y el restante en diversas activida-- des. Las extracciones más importantes se realizan median-- te la operación de pozos que, según el último censo rea-- lizado, en cantidad son 230; existen numerosas norias, - principalmente en las áreas urbanas de Coatzacoalcos y - Minatitlán.

A pesar de que la explotación de los acuíferos lo-- cales no es muy intensa, es preciso hacer notar que ésta se realiza en áreas reducidas, dando lugar a la concen-- tración excesiva del bombeo en esas áreas; esto sin duda crea problemas serios en cuanto al abatimiento de los ni-- veles en los acuíferos y los pone en peligro, principal-- mente en la región costera, de una posible contaminación por invasión del agua salada proveniente del mar, conta-- minación que es de carácter irreversible.

Por lo tanto, a pesar de que es factible incremen-- tar la explotación gracias a la gran disponibilidad de - agua, esta explotación debe realizarse con especial cui--

dado y acatando las normas y disposiciones que para tal efecto tiene establecidas la S.A.R.H.

B) Calidad del agua subterránea.- A pesar del severo deterioro en la calidad del agua superficial y, como es sabido, el funcionamiento de las fuentes de agua superficial y las de agua subterránea no es independiente en una misma región, sino que forman un sistema interdependiente y, que según el tipo de terreno en el que se encuentran, sufren alteraciones correspondientes, indicadas por diversas manifestaciones; es por esto que la contaminación química de los acuíferos debida a la que puedan sufrir los escurrimientos superficiales es factible de ocurrir, especialmente en esta región, en la que el aumento de la industria petroquímica puede causar serios problemas de contaminación por desechos industriales si no se toman medidas preventivas a tal situación.

Por otra parte, el problema actual de la concentración de pozos en operación cerca de la costa aún no ha causado problemas en la calidad del agua, ya que afortunadamente no se ha presentado invasión de agua salada, pero esta situación sí podría presentarse de no tener cuidado en la explotación futura.

En general, puede decirse que el agua subterránea es de buena calidad química, apropiada para uso de agua potable con un mínimo tratamiento, razón por la cual es recomendable que al incrementar la explotación de estas fuentes, el uso al que se destine debe ser el aludido, destinando entonces el aprovechamiento de agua superficial para a los otros usos demandantes.

En efecto, los análisis físico-químicos practicados a muestras de agua, de los acuíferos de la zona, revelan que los índices de composición y contenido de diferentes elementos se encuentran dentro de los rangos establecidos en las normas sanitarias que determinan la calidad del agua para uso potable.

Los índices encontrados en los análisis físico-químicos del agua subterránea varían según se enuncia a continuación.

Color 0

Turbiedad 1

Sólidos totales disueltos, de 50 a 300 p.p.m.

Dureza total expresada en  $\text{CaCO}_3$ , de 10 a 150 p.p.m.

Calcio varía entre 5 y 50 mg/l

Magnesio entre 5 y 10 mg/l

Sodio entre 10 y 70 mg/l

Cloruros entre 15 y 70 mg/l

Sulfatos de 0 a 50 p.p.m.

Conclusión: apta para consumo humano.

(Índices proporcionados por la Dirección de agua potable y alcantarillado, S.A.H.O.P., 1981)

### 3.2.5.- Disponibilidad de agua subterránea.

Aún cuando no ha sido evaluado con precisión, el Estado de Veracruz, en esta región particularmente, ha sido considerado cualitativamente con abundantes recursos de agua subterránea, atendiendo principalmente a la importante aportación que representa la precipitación pluvial como fuente de recarga y a la explotación que no es abundante, todo esto comparado con otras regiones del país.

Al margen de los volúmenes que pueden ofrecer otros acuíferos localizados en la misma región pero que carecen de estudios, como el caso del llamado Cerro del Oro (en la región del Usapanapa), la disponibilidad de agua subterránea en la región se tomó conservadoramente igual a la determinada para el acuífero de la franja costera de Coatzacoalcos, mediante la aplicación de la ecuación 3.3 y las consideraciones de la sección 3.2.3.

Así, la disponibilidad de agua subterránea, restringida para la zona comprendida en la desembocadura del Río Coatzacoalcos es:

- Disponibilidad del acuífero de la zona costera de Coatzacoalcos . . . . . 100 millones de m<sup>3</sup>/año

### 3.3.- Disponibilidad adicional.

En muchos lugares del país, fisiográficamente menos favorecidos que la región de estudio, se presentan situaciones deficitarias críticas en lo relativo a sus recursos hidráulicos para la satisfacción de sus diversas demandas. Para compensar tales deficiencias, en muchos casos se ha tenido que recurrir a la utilización de fuentes de suministro no convencionales, entre las que se destacan la desalación de agua de mar y el reuso de aguas servidas.

Aún cuando no es el caso para la región que atañe al presente estudio, dada la abundancia del recurso en ella, se hicieron las siguientes consideraciones acerca de las mencionadas fuentes alternativas de suministro de agua. Esto puede ser útil en algún tiempo a futuro para ayudar a resolver las carencias de agua en otras regiones

vecinas o en la misma, en el caso de que llegasen a presentarse situaciones críticas en la disponibilidad de sus fuentes de suministro.

### 3.3.1.- Desalación de agua de mar.

En la República Mexicana, el 67% del territorio nacional es desértico, árido, esta situación ha limitado el desarrollo en varias de esas regiones. Es a partir de --- 1971 cuando se empieza a estudiar la alternativa de la utilización del agua de mar mediante la desalación de ella y se empiezan a construir las primeras plantas desaladoras.

Aunque los costos de operación para desalación de agua de mar son relativamente altos, hasta ahora la aplicación de la desalación en México, para el fomento y proyección de algunos asentamientos humanos, puede resumirse en los siguientes propósitos:

- a) Para el consumo doméstico en donde se carezca -- del recurso o para complementar el gasto.
- b) Para el fomento turístico, mediante la dotación a hoteles, centros recreativos, instalaciones para yatismo, etc.
- c) Para el incremento de la industria pesquera y -- las empacadoras costeras.
- d) Para el incremento industrial, sobre todo en la

explotación de recursos no renovables; petróleo en desiertos y plataformas marinas, roca fosfórica, etc.

- e) Plantas para unidades a flote.
- f) Para cultivos y hortalizas de alta redituabilidad.
- g) Usos pecuarios en escala rentable.
- h) Usos específicos en la industria química, alimenticia y en la generación de energía eléctrica.

Los sistemas seleccionados hasta ahora por la tecnología mexicana incluyen:

- Procesos de destilación:

- a) Destilación solar. Desarrollado con un 100% de tecnología nacional.
- b) Compresión de vapor. Desarrollado con un 60% de tecnología nacional y 40 de importación.
- c) Evaporación instantánea por etapas. 90% nacional y 10% importado.

- Procesos de membrana:

- d) Osmosis inversa. que requiere del 35% de importación y 65% de tecnología nacional.

La capacidad de las plantas desaladoras que ya han

sido instaladas en el país varía mucho, desde 15 m<sup>3</sup>/día - hasta 1000 m<sup>3</sup>/día.

### 3.3.2.- Reuso del agua.

Otra alternativa de obtención de agua, para cubrir deficiencias o incluso para la explotación administrada - del recurso, consiste en el reuso de aguas; el cual se logra mediante el tratamiento que sufren las aguas residuales. Este procedimiento alternativo ya es usado en México y los volúmenes de agua así rescatados se utilizan primordialmente en la agricultura y en la industria.

El grado de tratamiento que deba darse varía según las necesidades que se tengan del agua y los fines de uso a que se destinen. Estos factores que determinan el tratamiento son, en resumen, los siguientes:

- Características de la calidad del agua por tratar, se define a partir de los respectivos análisis físicos, químicos y biológicos a que se sometan las muestras de agua.
- Los objetivos que se propongan del tratamiento. - Esto es la definición del destino de los volúmenes tratados.

Los procesos más frecuentemente usados para el tra-



tamiento de aguas residuales en el país son los siguientes:

a) Lagunas de estabilización.

- Aerobias.
- Anaerobias.
- Facultativas.

b) proceso de lodos activados.

- Lagunas aereadas.
- Convencional.
- aereación extendida.
- Estabilizacion por contacto.

c) Clarificación.

- Primaria.
- Secundaria.

d) Desinfección.

- hipocloradores
- Cloradores

e) Tratamiento de lodos.

- Espesamiento de lodos.
- Digestión aerobia.
- Digestión anaerobia.

f) procesamiento de lodos.

- Lechos de secado.
- Filtros de vacío.
- Centrifugación.

En la zona industrial de la región estudiada ya han sido instaladas 3 plantas de tratamiento con el propósito de reducir la contaminación de los cuerpos receptores de las descargas de aguas servidas industriales; estas fueron mencionadas en la sección 3.1.4, inciso B, en la tabla 3.1.4.b se indicaron sus características.

El volumen de tratamiento proporcionado varía según la capacidad de cada planta en particular, pero se puede dar una cifra del volumen potencial de aguas servidas susceptibles de tratamiento.

Este volumen potencial es función del suministro habido para cada uso. Así se tiene que:

- Del suministro para producción de energía en sistemas hidroeléctricos, el volumen de reuso es aproximadamente el 97% del suministro para su operación, además requiere de un mínimo de tratamiento.
- Las aguas negras domésticas proporcionan un volumen potencial aproximado del 70% del suministro -

de agua potable, y así es como se diseñan los sistemas de alcantarillado. Estas aguas requieren de un tratamiento mayor.

- Del agua usada por la industria, aproximadamente - el 19.7% de su abastecimiento de agua es consumido (ver tabla 2.3.1), por lo tanto el 80.3% del volumen proporcionado para su uso representa el potencial para tratamiento y reuso.

### 3.4.- Disponibilidad total.

Como se pudo observar, según lo expuesto, en la cuenca del río Coatzacoalcos es notoria la abundancia de agua en condiciones naturales, tanto de fuentes superficiales - como de subterráneas. Pero también cabe la observación en el sentido de que el aprovechamiento del recurso es incipiente aún, situándose este concepto en niveles de explotación muy por debajo de la potencialidad de las fuentes de suministro.

Aún cuando el incremento en la explotación del agua es recomendado, este debe efectuarse al amparo de disposiciones que racionalicen el aprovechamiento a fin de evitar el deterioro de la disponibilidad; asimismo recuérdese que la disponibilidad calculada fue en condiciones naturales, por lo que es imprescindible tomar en cuenta la planeación

para construir la infraestructura necesaria para su aprovechamiento.

La disponibilidad natural total en la región en estudio es la suma de los volúmenes de agua superficial y la subterránea y como éstas se calcularon tomando en consideración las características promedio de la cuenca, las cuales tienen poca probabilidad de sufrir alteraciones significativas, se consideró que su valor será constante en los años para los que se hicieron los pronósticos de la demanda.

Entonces se obtuvo lo siguiente:

a) Disponibilidad de agua en condiciones naturales - para la cuenca del Río Coatzacoalcos.

	Volumen (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Agua superficial:	
aforado (hasta la E.R. Las Perlas).	13,778.4
estimado para la porción baja de - la cuenca . . . . .	16,824.6
Agua subterránea:	
acuifero de la zona costera de Coatzacoalcos . . . . .	100.0
otros acuíferos tanto de la parte - alta como de la baja . . . . .	<u>no cuantificados</u>
Disponibilidad Total	30,603.0

#### IV.- B A L A N C E.

Un balance hidráulico es la comparación que se realiza entre los volúmenes que extraen y consumen los usuarios y la disponibilidad de agua renovable en una región determinada, referidos al mismo periodo de tiempo.

En este capítulo se presenta el balance hidráulico que se efectuó para la zona de influencia del Puerto de Coatzacoalcos, que permitió concluir acerca de la factibilidad de abastecimiento de agua para los diversos usos establecidos en esa región.

##### 4.1.- Balance hidráulico.

Habiéndose determinado, como se señaló en los respectivos capítulos anteriores, tanto la cuantía de la demanda a diferentes años, por los diversos usuarios, en función del crecimiento, así como la magnitud de los volúmenes de agua, ofrecidos por las fuentes naturales de abastecimiento, se pueden resumir los resultados obtenidos en el siguiente cuadro de comparación, tabla 4.1.

BALANCE HIDRAULICO PARA LA ZONA DE ESTUDIO.

AÑO	(volúmenes en millones de m <sup>3</sup> )		DISPONIBILIDAD GLOBAL	DIFERENCIA (DISP-DEM.)	CONDICION
	DEMANDA G.E.E.	Div.U.			
1980	-	1,377.9	30,603.0	29,225.1	Suf.
1990	11,020.0	2,165.6	30,603.0	17,417.4	Suf.
2000	20,405.0	3,199.7	30,603.0	6,998.3	Suf.

Tabla 4.1

G.E.E.- Demanda para generación de energía eléctrica.

Div.U.- Demanda por los demás usos considerados en el capítulo II.

Suf.- Indica que el agua disponible es suficiente para cubrir las demandas, incluso se presenta exceso en la oferta.

Por lo anterior fué posible manifestar la suficiencia de agua en la región en estudio para cubrir las diversas demandas habidas por todos los usos y que no se prevén conflictos en la relación oferta-demanda de agua, ni en la actualidad ni en el futuro.

4.2.- Comprobación de resultados.

La comprobación efectuada consistió en hacer un análisis probabilístico que permitiera deducir la confiabilidad de los resultados obtenidos para la disponibilidad. En el caso de las demandas, su cálculo fue justificado en su oportu-

tunidad, dejando su comprobación a los resultados de estudios directos que se hagan en lo futuro.

Por lo tanto, determinando la confiabilidad de la -- disponibilidad, podrá hacerse extensiva a los resultados -- del balance.

La aplicación del cálculo de probabilidades dió un -- intervalo de confianza dentro del cual puede variar el va- -- lor medio calculado para el escurrimiento de la estación -- Las Perlas.

Se escogió a la estación Las Perlas por ser la que -- cuenta con un mayor número de datos de escurrimiento y, lo -- más importante, por considerarse como la representativa de -- la cuenca dada su ubicación en la zona media de la cuenca, -- que es donde se reflejan las características de la zona al -- ta y al mismo tiempo determina las de la zona baja.

- Cálculo probabilístico de la confiabilidad, ajuste a -- una distribución "t" de probabilidad.

La distribución de los escurrimientos de una corrien- -- te no se ajusta frecuentemente a la distribución normal, -- además que generalmente se cuenta con muestras que tienen -- un número pequeño de datos.

Para el presente caso se dispuso del siguiente conjunto de valores de escurrimiento, registrados en Las Perlas.

1954 - 415.06 m <sup>3</sup> /seg.	1964 - 417.56 m <sup>3</sup> /seg.
1955 - 422.84 "	1965 - 434.97 "
1956 - 476.15 "	1966 - 416.64 "
1957 - 319.82 "	1967 - 311.06 "
1958 - 397.28 "	1968 - 593.92 "
1959 - 348.30 "	1969 - 506.23 "
1960 - 404.19 "	1970 - 480.67 "
1961 - 482.46 "	1971 - 371.86 "
1962 - 330.30 "	1972 - 434.95 "
1963 - 444.24 "	1973 - 723.68 "

Como se observa, el número (n=20) de datos (X<sub>i</sub>) es pequeño. Sin embargo, fue posible hacer el ajuste de los datos a una distribución "t" de probabilidad, con 19 grados de libertad (g=n-1), con lo que se determinó la probabilidad de que el valor promedio de los datos ( $\bar{x}$ ) caiga en un cierto intervalo de confianza. Recordando que dicho promedio se determinó como valor de la cantidad de agua disponible.

Para lo anterior se emplearon las siguientes fórmulas:

Promedio:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \dots \dots \dots (4.1)$$

Desviación estándar:



$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (4.2)$$

Error estándar:

$$\frac{s}{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} \dots \dots \dots (4.3)$$

Que para los datos proporcionados se obtuvieron los valores siguientes.

$$\bar{x} = 456.61 \frac{m^3}{seg.} \quad s = 95.80 \frac{m^3}{seg.} \quad \frac{s}{\bar{x}} = 21.42 \frac{m^3}{seg.}$$

El criterio seguido para aplicar la distribución "t" fue encontrar un intervalo de confianza, dentro del cual se estimó que debía caer el valor promedio con una probabilidad de 95%.

Así y conocidos  $\bar{x}$ ,  $s$  y  $\frac{s}{\bar{x}}$  el intervalo buscado fue calculado mediante la ecuación 4.4.

$$I.C.p = \bar{x} \pm t_{\alpha} \frac{s}{\bar{x}} \dots \dots \dots (4.4)$$

en la que: I.C.p = Intervalo de confianza a la probabilidad (1- $\alpha$ ).

$t_{\alpha}$  = Valor de t para la probabilidad (1- $\alpha$ ) y para (n-1) grados de libertad. Existen tablas de "t".

En las tablas de "t" se encuentra, para una probabi-

lidad del 95% y 19 grados de libertad, que  $t = 2.093$ .

Sustituyendo los respectivos valores que intervienen en la ecuación 4.4 se obtienen los valores del intervalo.

Límite inferior =  $391.78 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Valor medio =  $436.61 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Límite superior =  $481.44 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Como la probabilidad del 95% comprende a un intervalo cuyos límites son aún aceptables, en especial el superior, para abastecimiento de agua; y debido a que se observó (1) que la distribución en este caso tiene la forma de una jota invertida, lo cual indica que el promedio debe tender hacia los valores más bajos, se hizo una discriminación de los valores más grandes que el límite superior. Entonces se discriminaron los valores de 1961, 1968, 1969 y 1973.

Hecho lo anterior, se repitió el cálculo con los 16 datos restantes para:  $\bar{X} = 401.62$ ;  $S = 52.06$ ;  $S_{\bar{X}} = 13.02$ ;  $t = 2.347$ , para 15 grados de libertad y 99% de probabilidad.

Obteniéndose que:

(1) Mediante pruebas de simetría.

Lím. inf. = 363.25 m<sup>3</sup>/seg.

Valor medio = 401.62 m<sup>3</sup>/seg.

Lím. sup. = 439.79 m<sup>3</sup>/seg.

La interpretación de estos datos fue de que existe un 99% de probabilidad de que el valor promedio de escu-rrimientos, si se considera un número grande de años, sea entre 363.25 y 439.79  $\frac{\text{m}^3}{\text{seg.}}$ .

Con lo cual, haciendo extensivo este resultado a toda la cuenca según las consideraciones antecedentes -- puede tenerse como confiable la disponibilidad para el abastecimiento agua para la zona de influencia del Puerto de Coatzacoalcos, Ver.

## V.- CONCLUSIONES.

### 5.1.- Conclusiones generales.

- Se consideró como la región en estudio a la porción de cuenca del Río Coatzacoalcos que se localiza dentro -- del Estado de Veracruz. Comprende a los municipios (20 en total) siguientes: Acayucan, Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Chinameca, Hidalgotitlán, Ixhuatlán del Sureste, Jáltipan de Morelos, Jesús Carranza, Las Choapas, Mecayapan, Minatitlán, Motoacán, Oluta, Oteapan, Pajapan, Sayula, Soconusco, Soteapan, Texistepec y Zaragoza.

Constituye la aquí denominada "Zona de influencia -- del Puerto de Coatzacoalcos, Ver."

- La región en estudio ha experimentado un notable -- crecimiento en sus actividades económicas, debido al fuerte impulso dado principalmente al sector industrial-petrolero, propiciando un incremento en la población y en la -- demanda de servicios (agua, habitación, transporte, etc.).

- Las demandas de agua fueron calculadas bajo diver-- sos criterios, todos de acuerdo al uso al que se avocarán. Sus cuantías se hallan debidamente resumidas en el capítulo correspondiente.

Es posible que los volúmenes de demanda pronosticados puedan presentar variaciones en la realidad, por lo que se recomienda hacer las verificaciones y ajustes pertinentes a lo que aquí fué calculado.

- Respecto a la determinación de la disponibilidad, hidráulica ofrecida en condiciones naturales, de las --- fuentes de abastecimiento, su cuantificación se realizó apeándose a la tecnología y métodos desarrollados por la Hidrología, haciéndose la diferenciación entre la hidrología superficial y la subterránea.

- Se consideró la posibilidad de utilizar agua de -- fuentes alternativas, no convencionales, como lo son el reuso de aguas servidas y la desalación del agua de mar, con el propósito de preservar las condiciones naturales del recurso en la región y al mismo tiempo para sembrar la inquietud de investigar otras alternativas para su aprovechamiento.

- El balance efectuado entre la demanda y la disponibilidad, calculadas para la región, señaló una total suficiencia de agua para el abastecimiento a los diferentes usos demandantes del recurso. El balance incluso --- muestra un superávit de agua, es decir agua disponible - en condiciones naturales por encima del volumen de deman

da. Incluso el agua que se estimó requerida para uso en la generación de energía eléctrica puede considerarse como disponibilidad adicional, asequible de explotación sin problemas por la variación de su calidad.

- Se realizó una prueba de confiabilidad de los resultados obtenidos para la disponibilidad, basándose en un análisis probabilístico de datos de escurrimiento. Con lo que se logró sustentar, al mismo tiempo, el balance realizado.

## 5.2.- Consideraciones relativas al abastecimiento de agua.

1ª. al abastecimiento para generación de energía eléctrica.

Como se vió en su oportunidad, se tienen planeados 3 proyectos hidroeléctricos para la región, que representan potencialmente el mayor volumen demandado en la región.

Su abastecimiento será a partir del aprovechamiento del agua superficial conducida por los ríos. Además, la cualidad de estos aprovechamientos es la reincorporación, a la fuente de suministro, con un mínimo de pérdidas. --

prácticamente nula variación de la calidad del agua empleada.

Por lo tanto, el suministro y uso de agua por este sector no afectará, en caso de establecerse, al resto de los usuarios de la región.

2ª. Al abastecimiento para la agricultura y ganadería.

El mayor problema para este sector lo constituye la escasa inversión para la construcción de la infraestructura adecuada para hacer uso de los recursos naturales de la región. La disponibilidad del recurso agua para el desarrollo de este sector es múltiple, contando incluso con la lluvia. El aprovechamiento de las fuentes superficiales y subterráneas, para riego, debe planearse conjuntamente con el aprovechamiento de la precipitación y con un adecuado programa de cultivos, a fin de lograr la mayor eficiencia en la explotación de recursos.

3ª. Al abastecimiento de agua a las poblaciones.

El mayor volumen demandado por uso doméstico tiene lugar hacia la desembocadura del Río Coatzacoalcos, que es la zona donde se concentra la mayor parte de la población,

localizándose allí a los principales centros urbanos de la región.

El abastecimiento actual de agua en la zona de Coatzacoalcos-Minatitlán se hace a partir de la explotación -- del acuífero localizado en la zona costera, cuya potencialidad calculada hasta el presente lo presenta apto para cubrir las demandas de ambas ciudades hasta el año 2000. Sin embargo es necesario recurrir a la explotación y desarrollo de nuevas fuentes subterráneas de abastecimiento para el uso doméstico de las poblaciones, dado que su calidad -- las hace apropiadas para el consumo humano.

Es necesario que los acuíferos a explotar se encuentren lo suficientemente alejados de la costa para que no se presente el riesgo de una posible contaminación por intrusión de agua de mar, como ha ocurrido en otros lugares de la República.

#### 4<sup>a</sup>. Al abastecimiento de agua para la industria.

La demanda por este uso se verifica casi totalmente en la zona de la desembocadura del Río Coatzacoalcos.

Sólo que la condición para el abastecimiento de agua para este uso es la de aprovechar el agua superficial, de-



jando reservado, por lo ya expuesto, el abastecimiento de agua subterránea a la demanda para uso doméstico. Recordando la recomendación en el sentido del control de la calidad de las descargas de agua utilizada, coadyuvando a la preservación del medio ambiente; aconsejándose además el desarrollo de métodos para el aprovechamiento de las fuentes alternativas de abastecimiento: el reuso y la desalación.

### 5.3.- Conclusión final.

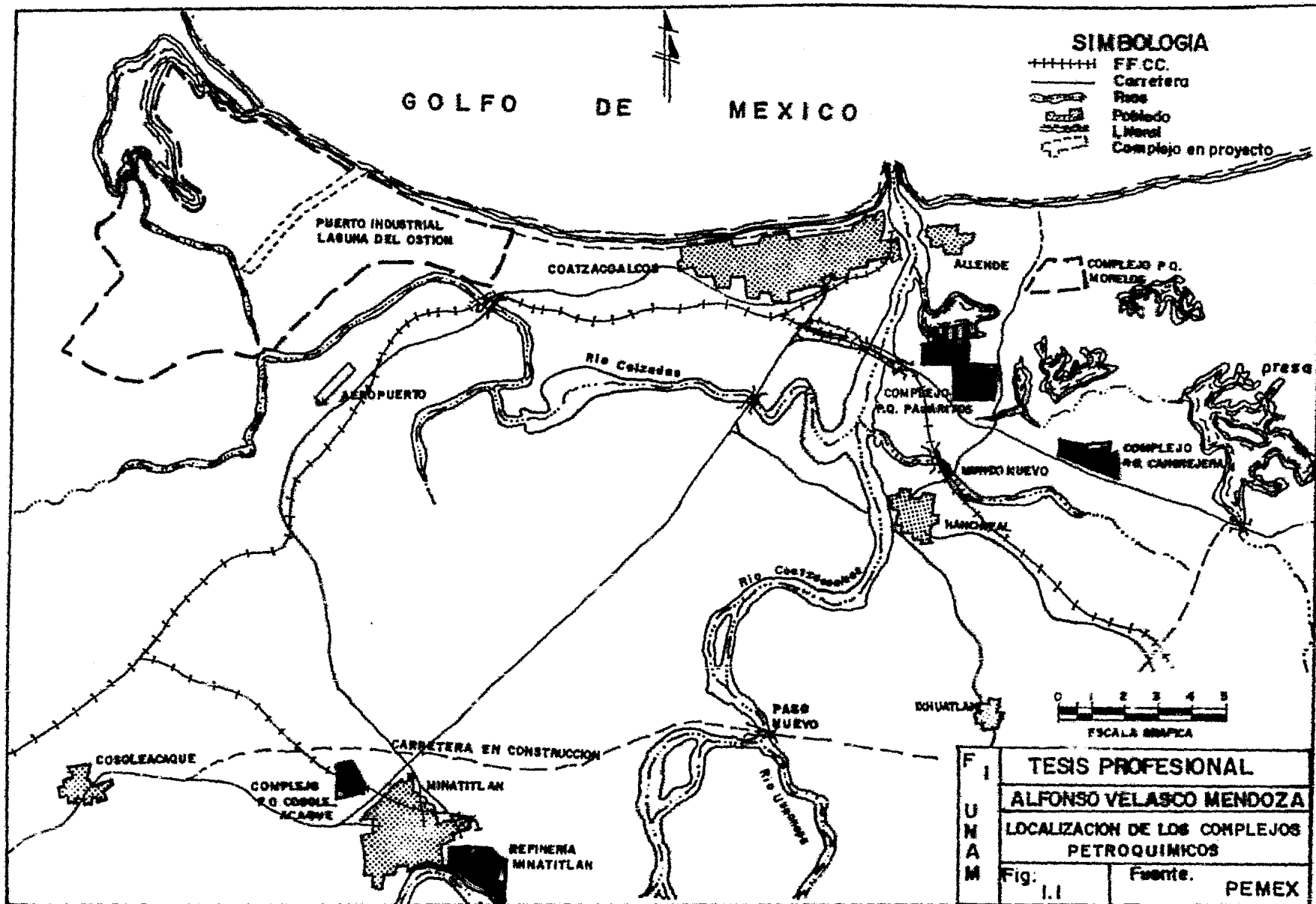
Ha sido expuesta, con cierta profundidad, la forma en que se determinaron las demandas a presente y a futuro, así como la disponibilidad, en las distintas fuentes, del agua en la zona de influencia del Puerto de Coatzacoalcos.

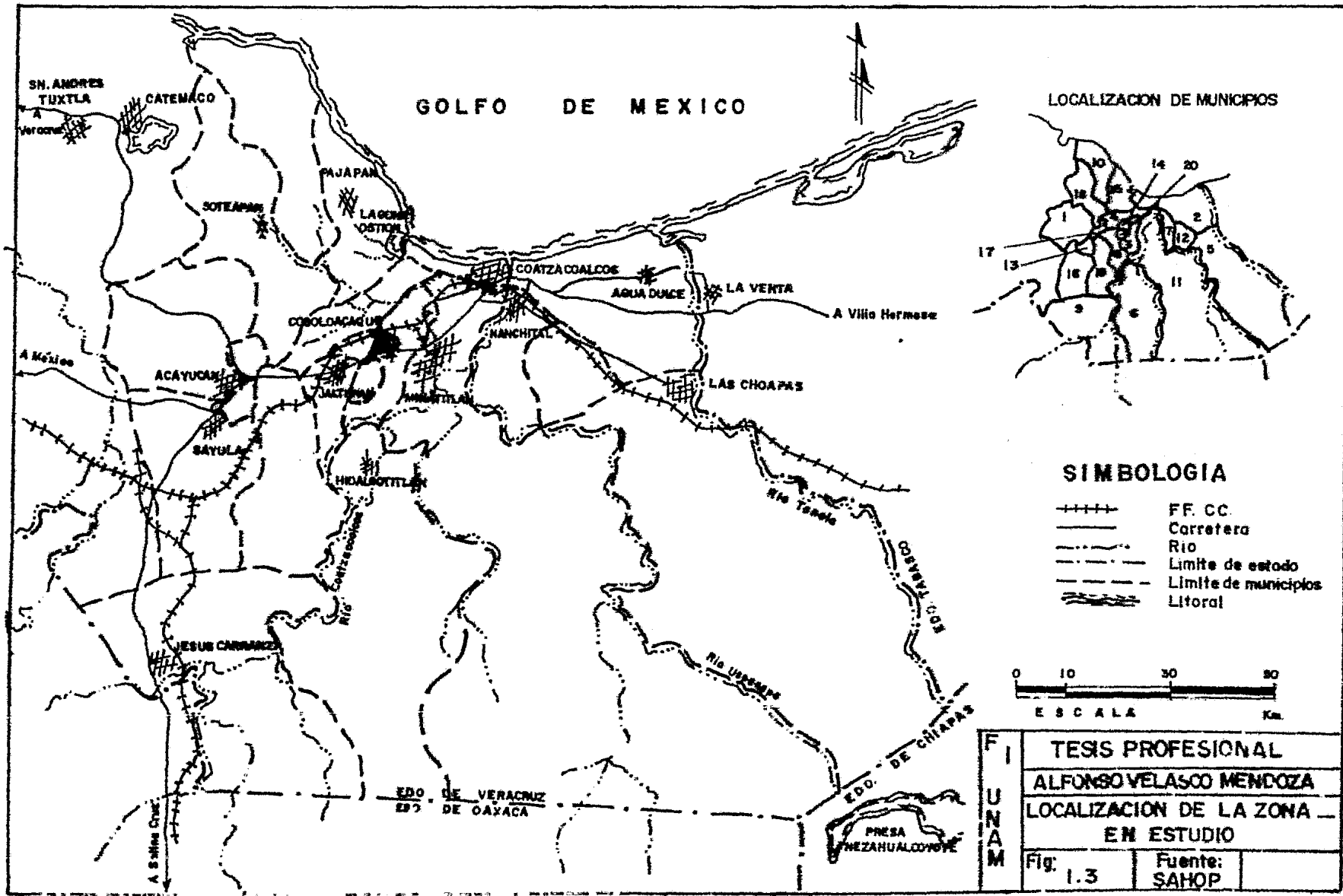
Concluyéndose que el abastecimiento de agua, para su aprovechamiento en los diversos usos establecidos por las múltiples actividades socioeconómicas de la región, queda sujeto a las obras de infraestructura que deban y que puedan ser construidas para su explotación y no a su disponibilidad, para la que no se prevén conflictos, dado su gran potencial (determinado por la ubicación de la cuenca). quedando sustentado, de esta manera, lo supuesto al inicio del estudio (sección 1.2.1).

## BIBLIOGRAFIA.

- Plan Nacional de Desarrollo Urbano. SAHOP.
- Plan Regional de D.U. para la zona costera del Golfo e Istmo de Tehuantepec. SAHOP.
- Plan Municipal de D.U. de Coatzacoalcos y Minatitlán. SAHOP.
- Estudios preliminares de Puertos Industriales. Coordinación de Puertos industriales, SPP.
- Complejo Petroquímico La Cangrejera, PEMEX.
- V, VI, VII, VIII y IX Censos de población.
- V Censo agrícola y ganadero.
- Ley Federal de aguas
- Perfil del uso del agua en las plantas de nueve industrias; CPNE, SARH. 1976.
- Plan Nacional Hidráulico 1981. CPNH, SARH.
- Boletín hidrológico para la región no. 29. SARH.
- Diagnóstico - Pronóstico del agua para los Puertos Industriales de Laguna del Ostión, Ver. y Salina Cruz, - Oax. SAHOP.
- Estudio para determinar las reservas territoriales de la Ciudad de Coatzacoalcos, Ver. SAHOP.
- Ayudas de Diseño. CFE.
- Hidrología. apuntes de clase. P.I.
- Estudio Geohidrológico de la planicie costera de Coatzacoalcos, SARH.
- Disponibilidad del agua de una corriente superficial. Barique Espinosa de L., Ingeniería Hidráulica en México. 1967.
- Geología Petrolera de México. Benavides I.

- Tesis. Diseño de un separador de gas y aceite en el campo Los Soldados, Ver. Manuel Campuzano M. 1961. F. I. UNAM.
- Exploración y Desarrollo de los Recursos de agua Subterránea. Apuntes del curso, 1980. D.E.C., F.I., UNAM.
- Atlas Geohidrológico, SARH.
- Geohidrología. Apuntes de clase; F.I.
- Probabilidad y Estadística para ingenieros. I. Miller y J.E. Freund, Ed. Reverté.
- Normas de calidad de agua. SSA.
- La desalación en México. SAHOP.
- Plantas de Tratamiento de agua. SAHOP.
- Normas para aprovisionamiento de agua potable. SARH.





SN. ANDRES TUXTLA

CATEMACO

GOLFO DE MEXICO

LOCALIZACION DE MUNICIPIOS

SOTEAPAN

PAJAPAN

LAGUNA COSTERA

COATZA COALCOS

AGUA DULCE

LA VENTA

A Villa Hermosa

COBOLACAN

MANCHITAL

LAS CHOAPAS

ACAYUCAN

LAZARON

MANCHITAL

SAYULA

HIDALGOTTILAN

Rio Tenango

CONVENIO DE MANZANILLO

JESUS CARRANZA

Rio Usumacinta

EDO. DE VERACRUZ  
ED. DE OAXACA

EDO. DE CHIAPAS

PRESA MEZAHUALCOCHOTE

Veracruz

A Mérida

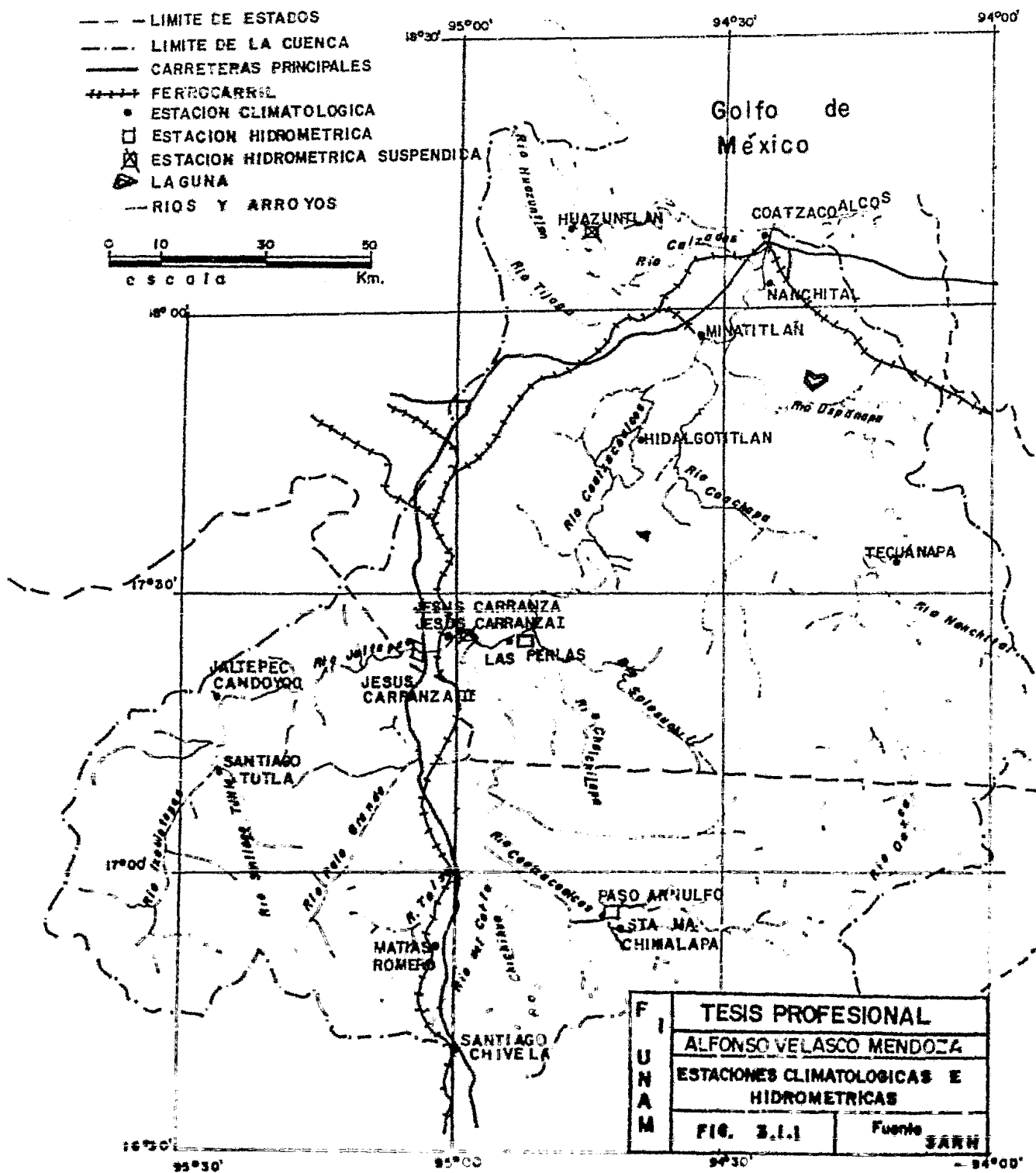
A S. Maria Chuc

## RELACION DE MUNICIPIOS

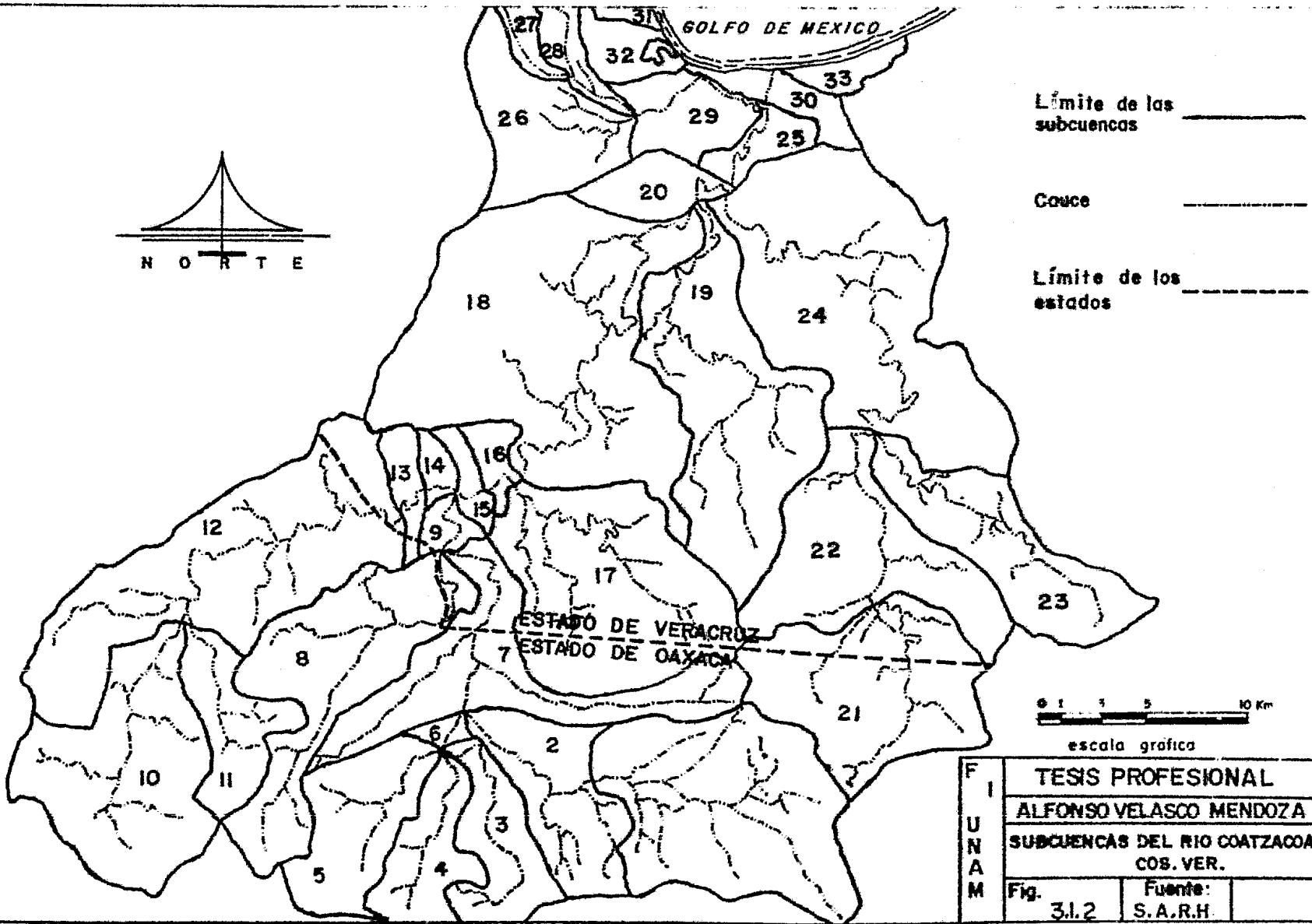
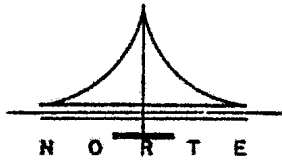
- |                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| 1.- Acayucan              | 11.- Minetitlán       |
| 2.- Coatzacoalcos         | 12.- Moloacán         |
| 3.- Cosoleacaque          | 13.- Oluta            |
| 4.- Chinameca             | 14.- Oteapan          |
| 5.- Las Choapas           | 15.- Pajapan          |
| 6.- Hidalgotitlán         | 16.- Sayula de Alemán |
| 7.- Ixhuatlán del Sureste | 17.- Soconusco        |
| 8.- Jáltipan de Morelos   | 18.- Soteapan         |
| 9.- Jesús Carranza        | 19.- Texistepec       |
| 10.- Mecayapan            | 20.- Zaragoza         |

Anexo a la figura 1.3

# LOCALIZACION DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS

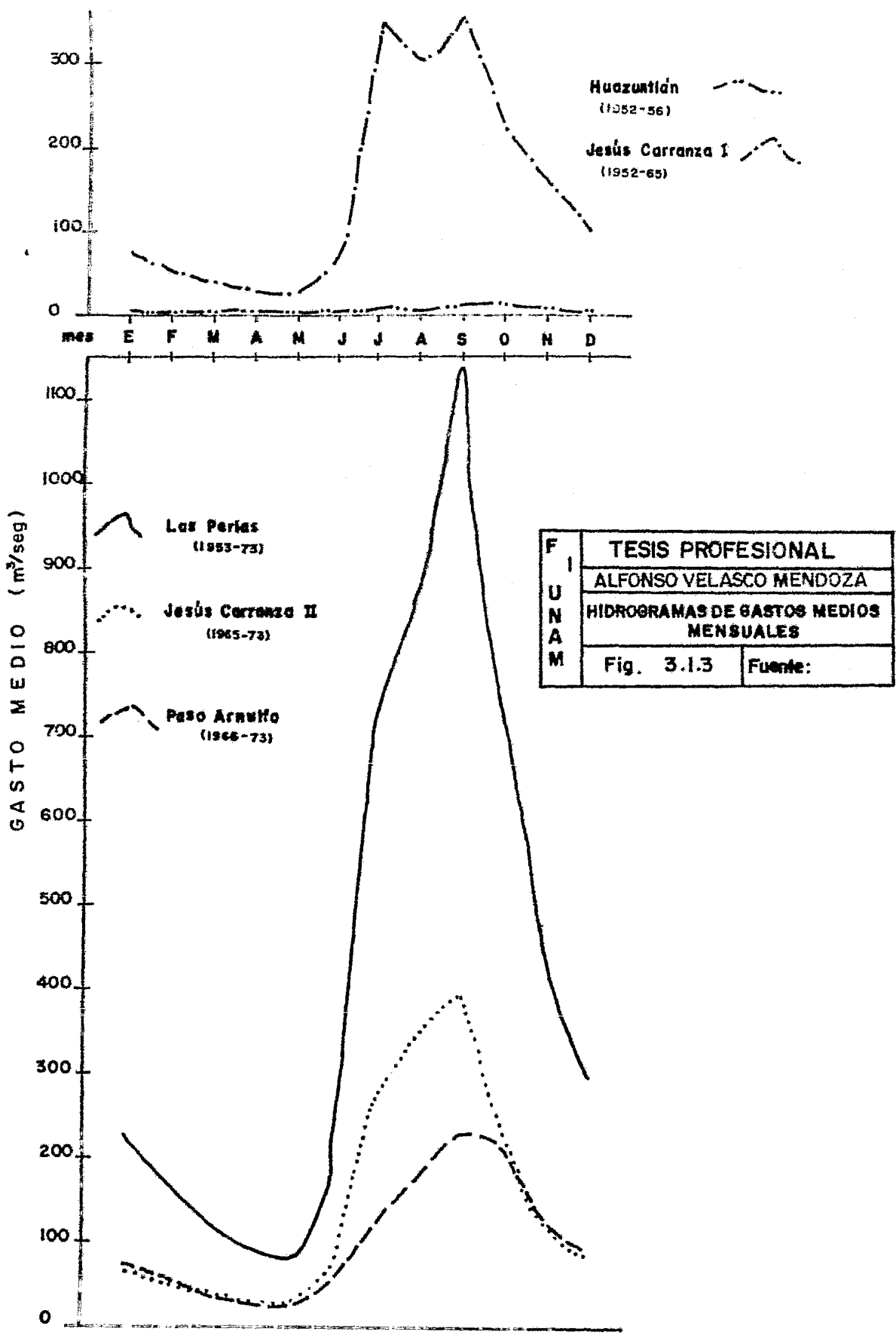


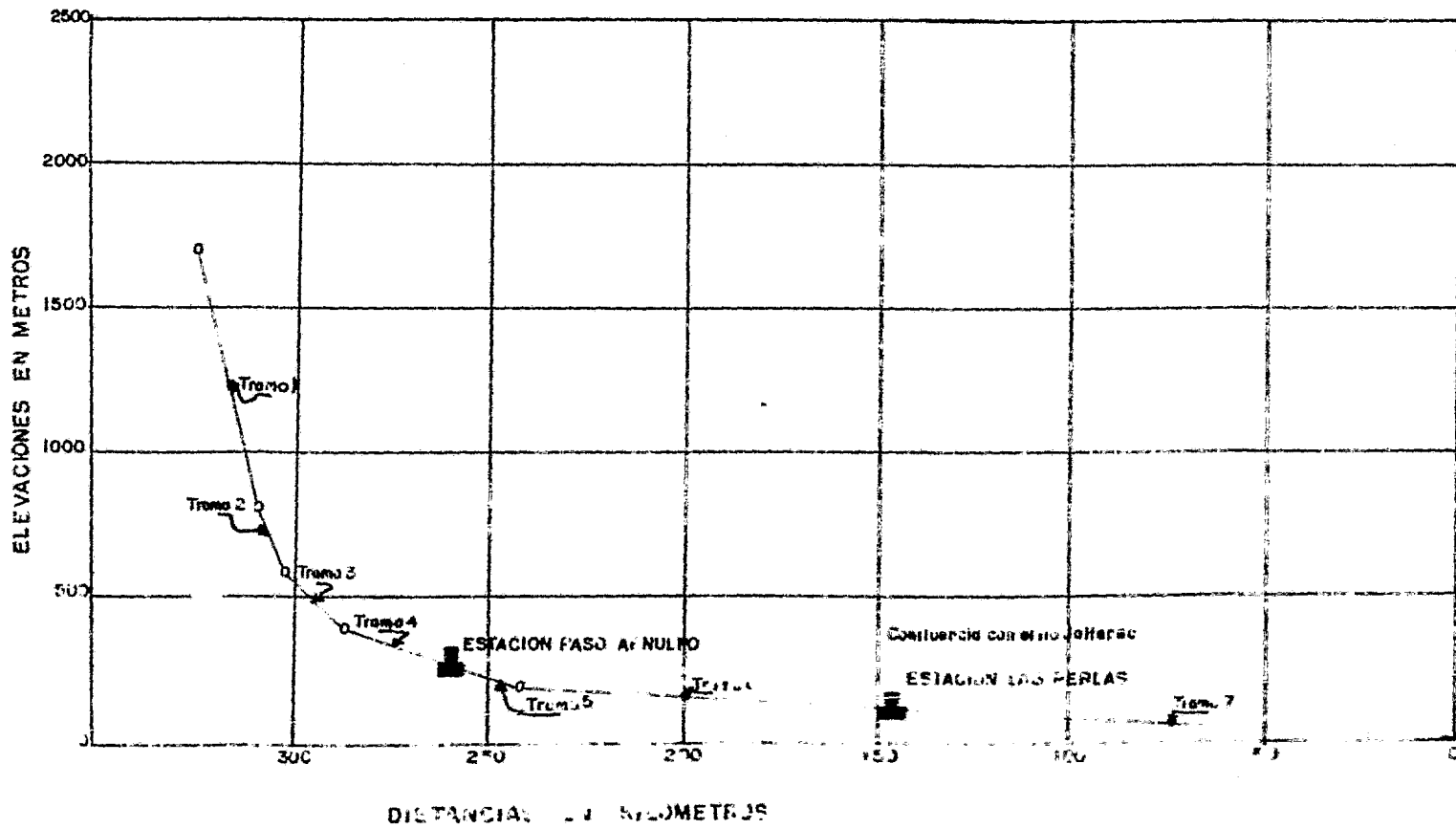
F U N A M	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	ALFONSO VELASCO MENDOZA	
	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS	
	FIG. 3.1.1	Fuente <b>SARN</b>



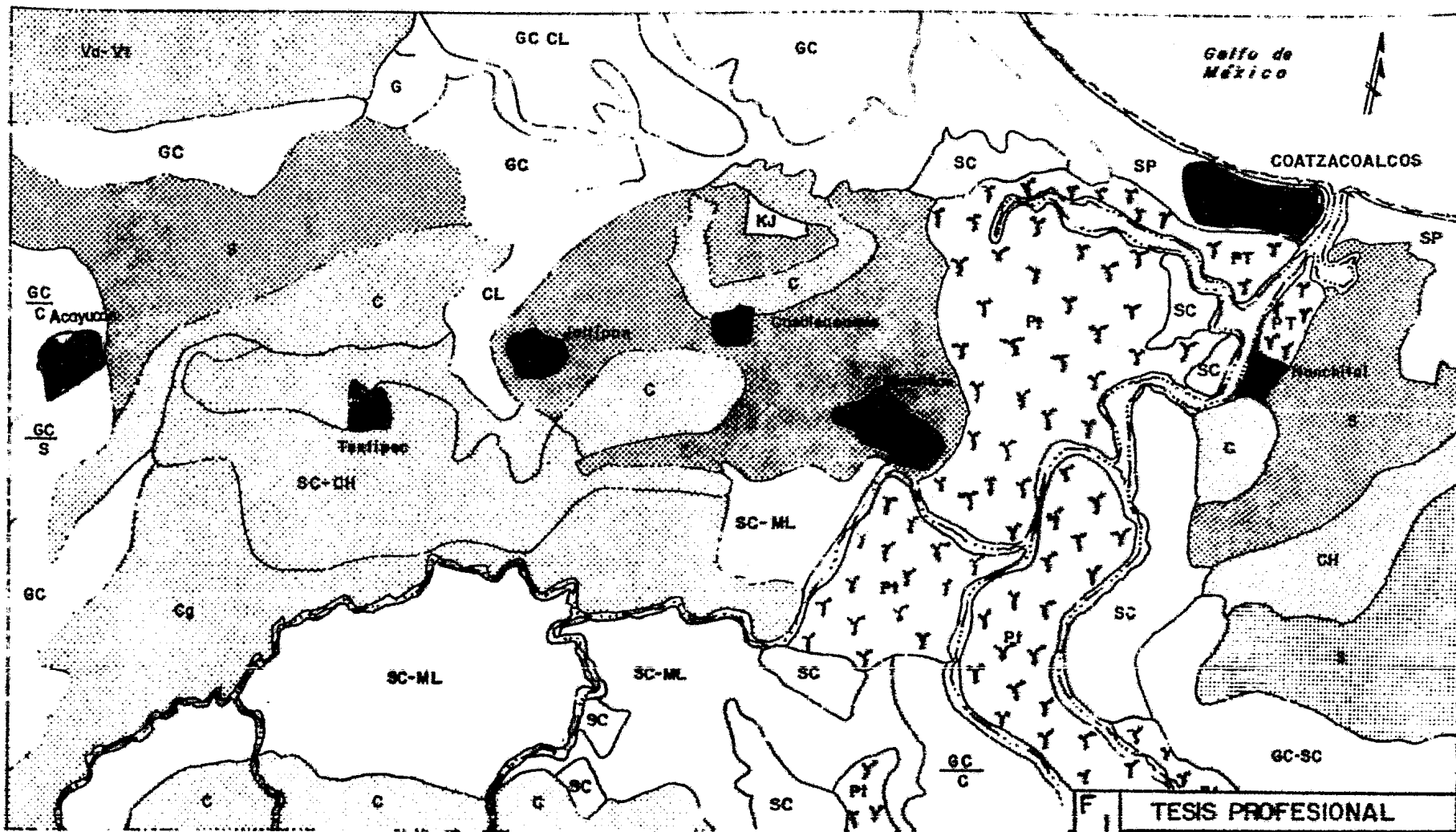
F U N A M	TESIS PROFESIONAL		
	ALFONSO VELASCO MENDOZA		
	SUBCUENCAS DEL RIO COATZACOAL COS. VER.		
Fig.	3.1.2	Fuente:	S.A.R.H.












F I U N A M	TESIS PROFESIONAL	
	ALFONSO VELASCO M..	
	PERFIL DEL RIO COATZACOALCOS	
	FIG. 3.1.5	FUENTE: SARH



**SIMBOLOGIA**

-  Acuíferos o frontera impermeable
-  Zona de Recarga y permeabilidad media

-  Zona de alta permeabilidad (Acuíferos)
-  Palustre
-  Poblado



F U N A M	TESIS PROFESIONAL	
	ALFONSO VELASCO MENDOZA	
	PLANO GEOLOGICO E HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA	
	FIG. 3.2	Fuente: SAHOP

CARACTERISTICAS GEOLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS  
DE LA PLANICIE COSTERA

EDAD	FORMACION	CARACTERISTICAS GEOLOGICAS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS	SINBOLO
R E C I E N T E	ALUVIAL	Aluvión.- Comprende los depósitos de material producto de la erosión, gravas, arenas y arcillas, generalmente mezcladas entre sí (GC, SC, CH, CL). Aquí también se toman en cuenta los depósitos palustres (Pt) y eólicos (SP). La morfología que presentan es de lomerío y llanura. Los espesores van de 4 a 50 m.	La permeabilidad que presenta es de buena a baja debido a la presencia de arcillas. Aquí se han localizado manantiales y norias que proporcionan bajos caudales. Generalmente se trata de acuíferos libres de baja potencialidad.	GC SC-CH ML CL SP PT
	VOLCANICA	Piroclásticos.- Están constituidos por tobas y aglomerados, con estructura masiva. La morfología que presenta es de lomeríos con cauces profundos y fuerte erosión.	La permeabilidad que presenta es muy baja, aunque llegan a tener permeabilidad secundaria en zonas intemperizadas	Va Vt
T E B C I A	CEDRAL AGUEQUEXITE PARAJE SOLO  FILISOLA	Sedimentos Arenosos.- Esta formación es predominantemente arenosa, se llega a presentar en capas interstratificadas con arena arcillosa, eventualmente con contenido de arcilla carbonosa, tobas limosas y minerales micáceos. Estructuralmente estos sedimentos han sido deformados por intrusiones salinas. Son cuerpos arenosos que forman lomeríos y su espesor máximo es de 500 m.	Hidrogeológicamente, son los más permeables de la zona y tienen buena capacidad para almacenar el agua subterránea. Constituyen los acuíferos más importantes de la zona y la mayoría son de tipo semiconfinado.	S
	CONCEPCION	Sedimentos Arcillosos.- Esta formación comprende principalmente las lutitas marinas, areniscas y conglomerados que tienen estructuras en capas y masivas, las muestras más recientes afloran al Noroeste de Jáltipan y los más antiguos al Sur. Se manifiestan morfológicamente en lomeríos y sinclinales, todos deformados por intrusión de formaciones con alto contenido salino. Presentan espesores hasta de 30 y 50 m.	Al estar constituida principalmente por arcillas, esta formación presenta de baja a casi nula permeabilidad y llegan a constituir los acuitardos de la zona (frentes impermeables).	C CH Cg
C R E T A C I C O	ENCHANTO DETOSITO USPANAPA  CHINAMECA	Rocas Calcáreas.- Este tipo de formación se ha localizado en pequeños afloramientos cerca de Chinameca y constan de calizas bien estratificadas en capas delgadas (laminadas) y en parte bituminosas que descansan sobre sedimentos del Triásico al Jurásico. Su espesor llega a ser hasta de 300 m.	Dada la reducida extensión detectada, su importancia hidrogeológica es despreciable.	Kj

## FE DE ERRATAS

PAGINA	REGLON	DICE:	DEBE DECIR:
3	7	...no será válida...	...no sería válida...
3	Último	...,determinando por	...,determinado por...
10	2	Chimaneca	Chinameca
17	8	...las áreas de dispersión,...	...las áreas de concentración de la población y en menor medida en las áreas de dispersión,...
25	10	...tabla se...	...tabla 2.2.2.b,se
34	20	. Corresponde a la...	. Corresponde a las...
40	11-12	...jerar-quizado	...jerar-quizando
49	16	... que creen serios...	... que crearen serios
92	7	...se detiene	... se obtiene