

01162  
2ej. 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA

**"ANALISIS DE LA OPERACION DE LA CUENCA MEXICANA  
DEL RIO BRAVO (GRANDE)"**

**MODESTO ANTONIO ACOSTA GODINEZ**

**T E S I S**

**Presentada a la División de Estudios de Posgrado de la  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**de la**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**como requisito para obtener el grado de**

**MAESTRO EN INGENIERIA  
(HIDRAULICA)**

**CIUDAD UNIVERSITARIA  
AGOSTO - 1988**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# "ANALISIS DE LA OPERACION DE LA CUENCA MEXICANA DEL RIO BRAVO (GRANDE)"

## I N D I C E

CAPITULO	PAGINA
1) INTRODUCCION	1
2) MARCO DE REFERENCIA	4
3) OFERTA Y DEMANDA DE AGUA	10
4) MODELOS PARA EL ANALISIS	15
5) SIMULACION DEL SISTEMA	25
6) CONCLUSIONES	35
BIBLIOGRAFIA	36
AGRADECIMIENTOS	
ANEXOS	
- TABLAS	38
- GRAFICAS	68
APENDICES	
- A	88
- B	89

# INDICE DE TABLAS

TABLA	PAGINA
1.1.- Volúmenes entregados por México a EUA.	38
2.1.- Areas de la cuenca internacional del Río Bravo.	
2.2.- Número de habitantes en ciudades importantes de la cuenca del Río Bravo.	40
2.3.- Comparación de los volúmenes para abastecimiento de agua potable y la población prevista para las principales ciudades ubicadas en la cuenca del Río Bravo.	41
2.4.- Características de las presas; cuenca Río Bravo.	42
2.5.- Zonas de riego del Río Bravo.	43
2.6.- Características de las plantas hidroeléctricas.	44
2.7.- Relación de estaciones hidrométricas.	45
2.8.- Relación de estaciones climatológicas operadas por la sección mexicana de CILA México/EUA.	46
2.9.- Estadísticas de escurrimientos en presas del Río Bravo.	47
2.10.- (Continuación de 2.9).	48
2.11.- (Continuación de 2.9).	49
2.12.- (Continuación de 2.9)	50
2.13.- Escurrimientos "vírgenes" en presas (por cuenca propia).	51
2.14.- Sitios correspondientes a la zonificación de aguas subterráneas (región Bravo).	52
3.1.- Disponibilidad de agua subterránea.	53
3.2.- Volumen disponible del almacenamiento (subterráneo).	54
3.3.- Valles con síntomas de sobreexplotación de agua subterránea; acuíferos en rellenos (región VI).	55
3.4.- Derrames; presa Marte R. Gómez, Tamps.	56
5.1.- Cuenca del Río Bravo; balance para el: "año normal".	57
5.2.- Cuenca del Río Bravo; balance para el: "año característico"	58
5.3.- Simulación hidrológica del Río Bravo; rango de extracciones históricas.	59
5.4.- Resumen de resultados de las simulaciones	60
5.5.- Simulación hidrológica del Río Bravo; demandas de reigo prioritarias	62
5.6.- Simulación hidrológica del Río Bravo; pago prioritario.	63

## INDICE DE TABLAS (CONTINUA)

### T A B L A

### PAGINA

5.7.- Simulación hidrológica del Río Bravo; operación "óptima": sistema de 11 presas.	64
5.8.- Simulación hidrológica del Río Bravo; operación "óptima": sistemas de 12 presas.	65
5.9.- Simulación hidrológica del Río Bravo; operación "óptima": sistema de 10 presas.	66
5.10.- Simulación hidrológica del Río Bravo; operación "óptima": sistema de 9 presas.	67

## INDICE DE GRAFICAS

FIGURA	PAGINA
1.1.- Cuenca internacional del Río Bravo.	68
2.1.- Parte de la cuenca del Río Bravo (CILA)	69
2.2.- Esquema de las principales obras de almacenamiento existentes en 1944.	70
2.3.- Croquis de la infraestructura actual (1988)	71
2.4.- Zonificación de aguas subterráneas; Región VI, parte Chihuahua.	72
2.5.- Zonificación de aguas subterráneas; Región VI, parte Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.	73
4.1.- Relación almacenamiento-extracciones históricas (1946-85), en presa Lázaro Cárdenas, Dgo.	74
4.2.- Diagrama de bloques del programa "Optima"	75
4.3.- Diagrama de bloques del programa para simulación de vasos.	76
5.1.- Esquema de cada uno de los subsistemas que integran la cuenca del Río Bravo.	77
5.2.- Relación almacenamiento inicial 1º de octubre-extracción anual (programa Optima), en presa San Gabriel, Dgo.	78
5.3.- (misma que 5.2 para presa La Boquilla, Chih.).	79
5.4.- (misma que 5.2 para presa Francisco I. Madero, Chih.).	80
5.5.- (misma que 5.2 para presa Luis L. León, Chih.).	81
5.6.- (misma que 5.2 para presa La Amistad, Coah.)	82
5.7.- (misma que 5.2 para presa La Amistad, Coah.; cuenca propia).	83
5.8.- (misma que 5.2 para presa Venustiano Carranza, Coah.).	84
5.9.- (misma que 5.2 para presa Falcón, Tamps.).	85
5.10.- (misma que 5.2 para presa Falcón, Tamps.; cuenca propia).	86
5.11.- (misma que 5.2 para presa Marte R. Gómez, Tamps.).	87

## RESUMEN

La cuenca del Río Bravo (Grande), al ser compartida por dos países (México y -- EUA), crea problemas muy especiales para el aprovechamiento de sus recursos; de ellos, de manera especial, el AGUA.

Para evitar en lo posible los conflictos en la utilización del agua, después de un largo proceso de trabajo conjunto de los países, en 1944 se firmó el "Tratado sobre Distribución de las Aguas"; con diversos compromisos para ambos pa--- ses.

De 1944 a la fecha, el país ha ido desarrollándose y por tanto, demanda más recursos; el agua no ha sido la excepción. Este crecimiento del país y consecuente satisfacción de los requerimientos, ha creado algunos problemas dentro de la cuenca.

Entre la problemática actual de la cuenca, se tiene que los compromisos contrafdos por el país con los EUA, según el tratado de 1944, ya no se pueden cumplir plenamente; lo que se hace necesario establecer políticas anuales de distribución del agua en la cuenca, para los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo --- León y Tamaulipas, que permitan cumplir con el tratado y las demandas presentes; y si hay que imponer algunas restricciones, donde serían. Esto es precisamente el objeto del presente trabajo.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

La Cuenca Mexicana del Río Bravo (Grande), es una de las más extensas y complejas del país. A lo largo de su recorrido en territorio mexicano, drena 229,480 km<sup>2</sup>, distribuidos en los estados de Durango, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; esta situación, que ya de por sí implica conflictos en el uso de sus aguas, se ve agravada por el carácter internacional de esta corriente, al servir de frontera entre México y Estados Unidos, en una longitud de 2.010 km.

El área total de la cuenca internacional es de 868,945 km<sup>2</sup> (Fig.1.1); sin embargo, cerca de la mitad de su superficie está formada por cuencas cerradas que no contribuyen al escurrimiento del cauce principal, por lo que se puede decir que, la superficie drenada en Estados Unidos de Norte América (E.U.) es de 230,410 km<sup>2</sup> (50.1%) y en México de 229,480 km<sup>2</sup> (49.9%), para totalizar, desde sus orígenes y hasta su desembocadura en el Golfo de México, 459,890 km<sup>2</sup>.

Con objeto de regular la utilización de los volúmenes de escurrimiento del río, en 1944 se implantó el: "Tratado de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos", que define los compromisos de ambos países en el manejo, por un lado, de las aguas del río Bravo y, por el otro, las del río Colorado, cuyas aguas también comparten.

Uno de los puntos sobresalientes del Tratado es el compromiso de nuestro país de entregar a E.U. un volumen anual de 431.721 Mm<sup>3</sup>; en promedio y en ciclos de cinco años (2,158.605 Mm<sup>3</sup>); asimismo, establece, que en cualquier momento en que la capacidad de almacenamiento americana en las presas internacionales se encuentre llena, se considera concluido el ciclo de cinco años y se iniciará nuevamente la contabilidad de las aportaciones mexicanas.

## 2.

Desde que en 1953, se inició la operación de la presa internacional "Falcón", únicamente durante los primeros 5 años de funcionamiento, no fue posible para nuestro país entregar los 2,159 Mm<sup>3</sup>, ni los volúmenes americanos fueron suficientes para llenarla.

Posteriormente, aún cuando en 1968 empezó a funcionar la presa "La Amistad", no se había presentado nuevamente el caso de que se concluyera un ciclo de 5 años (tabla 1.1); ya que,, bien sea con volúmenes procedentes de los afluentes mexicanos o americanos, las capacidades pertenecientes a Estados Unidos en ambas presas alcanzaron el 100% de llenado.

Sin embargo, debido a la marcada escasez de lluvia que desde hace varios años afecta de manera especial al noreste de nuestro país, en junio de 1987, se completaba el ciclo de 5 años, iniciado en junio de 1982 y nuestro país estuvo a punto de no cubrir el compromiso con E.U.

Es importante señalar que este hecho, si bien es atribuible a la sequía, es consecuencia también de la cada vez mayor utilización, en nuestro país, de los recursos hídricos disponibles en sus cuencas.

La oferta de agua superficial aún con variaciones estacionales y anuales, es básicamente la misma que se tenía en 1944, cuando se firmó el Tratado; el agua subterránea, muestra una tendencia a decrecer gradualmente, debido a su explotación intensiva en aquellas zonas donde el régimen pluvial es más errático o las características fisiográficas impiden dotar a la población de una adecuada infraestructura hidráulica, para el aprovechamiento del escaso escurrimiento superficial.

No sucede lo mismo con la demanda. Es evidente, que en los últimos cuarenta y cinco años desde la firma del Tratado, los cinco estados mexicanos que utilizan las aguas de la cuenca Mexicana del Río Bravo, han tenido un importante crecimiento demográfico, acompañado por un incremento de las actividades productivas y, consecuentemente, se ha mantenido un gradual, pero constante, aumento de los requerimientos de agua potable, al igual que para usos municipales, industriales, agrícolas . . .

### 3.

Sin embargo, esta tendencia no podrá frenarse, sin revertirse fácilmente, ya que las cada vez mayores necesidades de alimentación, empleo y servicios, que demandará la creciente población en todo el país, y en particular en esa región, provocará una presión para consumir cada vez más agua.

La alternativa es entonces hacer cada vez más eficiente el uso del agua y una reorientación en la relación de su uso, por lo cual es necesario un análisis detallado de las diversas alternativas de operación del sistema, con su infraestructura actual y la que pudiera proponerse para un futuro próximo.

## CAPITULO 2

## MARCO DE REFERENCIA

Con el fin de tener un panorama claro de las condiciones asociadas al manejo del agua en la cuenca mexicana, es conveniente revisar, de manera detallada, las modificaciones que han sufrido el marco físico, desde la celebración del Tratado y hasta la fecha.

En la figura 2.1 se muestra la cuenca considerada internacional del río Bravo y se resaltan la existencia de cuatro zonas:

- La primera, hasta la presa la Amistad, en que las principales aportaciones provienen de Estados Unidos y el río Conchos; el resto de las corrientes, son de pequeño desarrollo y drenan una sucesión de cuencas pequeñas.
- La segunda, desde la presa La Amistad hasta la presa Falcón que, por ambas márgenes, recibe las aportaciones de pequeñas corrientes.
- La tercera, la cuenca del río Salado que, aún cuando de gran tamaño, debido a lo escaso de la precipitación, tiene aportaciones limitadas a la presa Falcón.
- Finalmente la cuarta, está formada por los afluentes aguas abajo de Falcón; primordialmente del lado mexicano, donde la principal corriente es el río San Juan, controlado por la presa Marte R. Gómez. El río Alamo, fluye incontrolado, por lo que sus escurrimientos sólo son aprovechados en una mínima parte.

En la tabla 2.1 se detallan las áreas de las diferentes subcuencas que forman la internacional del río Bravo.

En la parte mexicana de la cuenca internacional del río Bravo, se asientan numerosos centros de población, de diversa magnitud, entre los que sobresalen, por su importancia: Juárez, Chihuahua, Delicias, Hidalgo del Parral y Nuevo Casas Grandes, en Chihuahua; Murolova, Piedras Negras y Saltillo, en -

## 5.

Coahuila; Matamoros, Nuevo Laredo, Reynosa y Río Bravo, en Tamaulipas; y una de las ciudades más grandes del país, Monterrey, en Nuevo León.

Es evidente, que los consumos de agua en estas ciudades, tanto para uso doméstico, como municipal e industrial, en 1944, eran muy inferiores a los que actualmente presentan. Aún cuando no se tienen datos cuantitativos respecto a la variación de la demanda de agua a lo largo del tiempo, un dato que representa un índice confiable, en cuanto al ritmo de crecimiento de ella, lo da el número de habitantes.

En la tabla 2.2, se ilustra para varias comunidades de la zona, el crecimiento que ha tenido su población de 1940 a 1980, de casi 700,000 a más de 4 millones; esto es, mayor de 6 veces.

Asimismo, en la tabla 2.3, se presenta una proyección del crecimiento demográfico (CPNH) de 1980 al año 2000 (entre paréntesis), junto con el correspondiente aumento de sus requerimientos de agua; puede verse, que en este lapso, se duplicará la población y la demanda de agua sufrirá un incremento cercano al 130%.

Es conveniente hacer notar, que el agua utilizada en los diferentes procesos industriales, es tomada en la mayoría de los casos de la red de distribución urbana, por lo que se dificulta su cuantificación.

Paralelamente al crecimiento de la población, se han incrementado las superficies abiertas al cultivo, bajo sistemas de riego; por lo cual, se han construido, en toda la cuenca mexicana, importantes obras de infraestructura hidráulica para lograr un mejor control y aprovechamiento de los escurrimientos. Entre estas obras, destacan las presas de almacenamiento tanto para riego, como también para apoyar el suministro de agua potable, cuya construcción ha favorecido un mayor consumo de líquido. A este respecto, en la figura 2.2, se presentan el esquema de las principales obras de almacenamiento existentes en 1944; mientras que, en la figura 2.3 se muestra el cro

quis de la infraestructura actual y en la tabla 2.4 las capacidades de las presas de almacenamiento, ordenadas cronológicamente; volúmenes que se incrementaron, de la firma del Tratado al 1979, de 5,300 a 13,900 Mm<sup>3</sup>.

Por otro lado, en la tabla 2.5 se incluyen las principales zonas de riego, con su superficie, tanto en 1944, como su evolución hasta 1987; puede observarse que se ha duplicado la superficie regada, con el consecuente incremento en el consumo de agua; ello al pasar de 250,600 Ha. a 524,160 Ha.

También la generación de energía eléctrica se ha modificado a lo largo del período de vigencia del Tratado, aunque en este caso, no siempre en forma creciente, ya que en 1944 estaban en operación las plantas hidroeléctricas de las presas La Boquilla, La Colina y Rosetilla, sobre el río Conchos; pero en 1978 fueron cerradas por incosteables. Esto provocó que los almacenamientos, en los últimos años y a partir del cierre, en Boquilla fueran, temporalmente, muy altos, al verse reducidas drásticamente las extracciones. Actualmente, están por entrar en operación la primera unidad de generación de la presa La Amistad, y las de La Boquilla, ya rehabilitada, cuyas características se presentan en la tabla 2.6; así como, las de las restantes plantas.

Cabe señalar, que la C.F.E. se encuentra estudiando la posibilidad de operar nuevamente, previa modificación de los equipos, alguna de las restantes plantas cerradas, además de revisar las condiciones de otras presas, para determinar la factibilidad de instalar nuevos sistemas de generación; por ejemplo, en la Presa Luis L. León, donde desde el diseño y después de su construcción, se ha dejado un túnel y válvulas preparadas para este fin.

En lo relativo a la información básica, en la cuenca mexicana del Río Bravo, existen poco más de 230 estaciones climatológicas; algunas de ellas con registros que se inician desde fines del siglo pasado; sin embargo, la parte más importante de ellas es de reciente instalación.

## 7.

Esta instrumentación, permite disponer de suficiente información para conocer, a gran escala, las características de lluvia en la región y en sus principales subcuencas; asimismo, otras de tipo climatológico (evaporaciones, temperaturas, ...)

La cuenca del río Conchos, recibe una lluvia media anual de 397 mm.; el 89% de la cual ocurre de mayo a octubre. Las acumulaciones máximas, se registran en la parte alta de la cuenca, en la zona de la sierra Tarahumara, con láminas hasta de 745 mm.; por el contrario, las mínimas se registran en la parte baja, cerca de la confluencia con el Bravo, con láminas del orden de 240 mm.

En el río Salado, la lluvia media anual es de 383 mm., y entre abril y octubre, se presenta el 97% de la precipitación total, con máxima de 550 mm., y mínima de 250 mm., en las porciones sureste y noroeste de Coahuila, respectivamente.

En los ríos San Juan y Bajo Bravo, la lámina media anual es de 498 mm., con el 83% de la lluvia entre abril y octubre, y máxima hasta de 1320 mm. en la zona al SE de Monterrey, N.L., y mínima de 320 mm. en Ciénega de Flores, N.L.

La precipitación media anual en el tramo internacional del río Bravo (Grande), de Ciudad Juárez a Falcón; es de 509 mm., con máxima de 622 mm. y mínima de 282 mm.

Por lo que respecta a la evaporación, la lámina anual promedio de la cuenca del Río Conchos, es de 2,364 mm., con máxima de 2,675 mm. y mínima de 1,768 mm. En el río Salado, el promedio es de 2,135 mm., con máxima de 2,512 mm., y mínima de 1,839 mm. En las cuencas de los ríos San Juan y Bajo Bravo, el promedio es de 1,907 mm. con máxima de 2,560 mm., y mínima de 1,318 mm.; en la cuenca aportadora al río Bravo entre las presas Amistad y Falcón, la evaporación media anual es de 2,292 mm., con promedio anual máximo de 2,890 mm., y mínimo de 1,768 mm.

8.

Se cuenta también con un número importante de estaciones hidrométricas, que aforan las principales corrientes de la cuenca, lo que permite conocer su régimen de escurrimientos a lo largo del espacio y del tiempo; asimismo, se poseen registros anuales, mensuales y diarios de los niveles de las presas, así como de sus extracciones y, consecuentemente, de sus ingresos, a través de balances de entradas y salidas.

En las tablas 2.7 y 2.8, se muestra de manera tabular la ubicación tanto de las estaciones hidrométricas, como de las climatológicas que son operadas por la sección mexicana de CILA MEX/EU. Asimismo, en las tablas 2.9 a 2.17 se resumen las características estadísticas de los escurrimientos históricos.

Debe tenerse en cuenta que estos registros no pueden utilizarse en su forma original dentro de los análisis que se realicen, ya que debido a las alteraciones que ha sufrido el comportamiento de la cuenca, como resultado de la construcción de obras de control y de aprovechamiento a lo largo del tiempo, las series de datos no resultan representativas; ni de la situación original, ni de las condiciones actuales.

Para eliminar esta irregularidad de los registros, es necesario deducir, para cada subcuenca, a partir de la información disponible, los escurrimientos "vírgenes"; es decir, aquellos que se habrían presentado de no existir aprovechamientos o modificaciones significantes a las características de la cuenca; a partir de una condición inicial dada y que para fines del estudio se toma la de 1944.

En lo relativo a las subcuencas correspondientes a las presas San Gabriel, Boquilla, Fco. I. Madero, Venustiano Carranza y La Boca, no se ha tenido desde ese año cambios significantes en las obras de aprovechamiento de las aguas superficiales, por lo que es posible, en este caso, utilizar sus registros históricos en la forma en que se encuentran. En la presa Marte R. Gómez, se corrigieron sus valores para tomar en cuenta el efecto de la presa La Boca; dado que ésta se utiliza para abastecimiento de agua potable, se consideró que el 50% del volumen extraído por las tomas, retorna al río San Juan.

Por lo que respecta a la presa Luis L. León, fue necesario tomar en cuenta el efecto de las obras ubicadas en la parte alta del río Conchos, las cuales están destinadas primordialmente, al riego; en este caso se estimó que el 25% de la demanda, retorna a los ríos. De manera similar, se determinaron los escurrimientos vírgenes para las subcuencas de las presas Amistad y Falcón. En la tabla 2.13 se presentan los resúmenes de las características estadísticas de los escurrimientos así determinados.

Adicionalmente a lo antes mencionado, se cuenta con los datos relativos a las características físicas de las presas existentes en este sistema; como son: curvas elevaciones - áreas - capacidades; elevaciones - descargas; capacidades máximas y mínimas, etc.; así como, las características de los vasos reguladores existentes en el tramo terminal del río Bravo y las capacidades aproximadas (último observado o deducido) de conducción de los cauces en todo el sistema.

Por lo que respecta al agua subterránea en la cuenca del río Bravo, en la tabla 2.14, se incluye una relación de las principales zonas, donde se tiene identificada la existencia de almacenamientos subterráneos.

En las figuras 2.4 y 2.5, se presenta una clasificación de dichas zonas, - en función de las posibilidades de aprovecharlas de acuerdo con: el gasto - esperado, el abatimiento resultante y la columna de bombeo necesaria para su extracción. En esta clasificación, se aprecia que sólo se dispone de - condiciones favorables para apoyar de manera significativa el riego en las zonas de: Ciudad Juárez, Delicias, Camargo, Aldama, Casas Grandes y Cuauhtémoc, Chih., y en Múzquiz, Coah.; en el resto de los puntos, el apoyo será limitado porque las características de los acuíferos, en cuanto a columna de bombeo y gasto esperado, hacen muy costosa la extracción del agua -- subterránea.

## CAPITULO 3

## OFERTA Y DEMANDA DE AGUA

Para la oferta de agua superficial, a partir de los valores estadísticos de los escurrimientos "virgenes", pueden definirse los volúmenes de agua en cada una de las zonas del Río Bravo, para diferentes condiciones de humedad.

Para el año normal, es decir aquel al que corresponde una probabilidad de ocurrencia del 50%, se tienen los siguientes volúmenes de oferta por subcuenca:

## RIO CONCHOS

Subcuenca San Gabriel, Dgo.	116	Mm3.	
Subcuenca Boquilla, Chih.	1056	Mm3.	
Subcuenca Francisco I. Madero, Chih.	333	Mm3.	
Subcuenca Luis L. León, Chih.	406	Mm3.	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>1911 Mm3.</b>

## RIO SALADO

Subcuenca Venustiano Carranza, Coah.	309	Mm3.	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>309 Mm3.</b>

## RIO ALAMO

	94	Mm3	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>94 Mm3.</b>

## RIO SAN JUAN

Subcuenca La Boca, N.L.	59	Mm3.	
Subcuenca Marte R. Gómez, Tamps.	916	Mm3.	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>975 Mm3.</b>

## RIO BRAVO

Subcuenca Amistad, Coah.	348	Mm3.	
Subcuenca Falcón, Tamps.	1022	Mm3.	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>1370 Mm3.</b>
	<b>T O T A L:</b>		<b>4659 Mm3.</b>

Es decir, la oferta total de escurrimientos mexicanos en la cuenca, es de - 4659 Mm<sup>3</sup>.

Es conveniente señalar, que en el caso de las presas internacionales, se es timaron primeramente las aportaciones "virgenes" totales y de éstas, se res taron los volúmenes procedentes de los afluentes americanos aforados.

Por lo que se refiere a la oferta de agua subterránea, es necesario conside rarla en dos partes: por un lado, la extracción permanente; es decir el eje mento renovable de los acuíferos; y por el otro, el volumen almacenado, que constituye la parte no renovable.

En la tabla 3.1 se puede ver la extracción permanente de los diferentes acuí feros; es necesario señalar que en la medida de que se dispenga de trabajos de campo adicionales, los valores hasta ahora deducidos pueden sufrir varia ciones significantes. De acuerdo con dicha tabla, la extracción permanente en la cuenca del Río Bravo es de cerca de 2 500 Mm<sup>3</sup>. por año.

En cuanto al volumen disponible de almacenamiento, tabla 3.2, hasta el momento se ha estimado en alrededor de 25 100 Mm<sup>3</sup>. A este valor debe agregarse la disponibilidad de Nuevo León que es de 1 050 Mm<sup>3</sup>. por cada metro de abatimi entamiento del nivel estático que se imponga a los acuíferos en rellenos.

El volumen almacenado debe ser extraído racionalmente para garantizar el me jor aprovechamiento del acuífero; ya que, de lo contrario se pudieran gene ralizar las zonas con problemas de sobreexplotación. En la tabla 3.3 se pre sentan algunos de los valles de la cuenca del Río Bravo, en el estado de - Chihuahua, en que se tienen sistemas de extracción excesiva, en los que se registran abatimientos medios anuales del nivel estático que var de 0.50 m. a 2.00 m.

En lo relativo a las demandas, sin lugar a dudas, el consumo más grande de agua en la cuenca del Río Bravo, es el destinado al uso agrícola. Entre las principales zonas de riego, se pueden mencionar las siguientes:

ESTADO	DTO. DE RIEGO (NOMBRE Y NUMERO)	SUPERFICIE (HA.)	
Chihuahua	Ciudad Juárez (009)	17483	
	Ciudad Delicias (005)	59476	
	Bajo Río Conchos (090)	6208	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>83167</b>
Coahuila	Palestina (006)	10534	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>10534</b>
Nuevo León	Don Martín (004)	26020	
	Las Lajas y Alto San Juan(031)	4408	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>30428</b>
Tamaulipas	Acuña - Falcón (050)	5000	
	Bajo Río Bravo (025)	202818	
	Bajo Río San Juan (026)	79493	
	<b>SUBTOTAL:</b>		<b>287311</b>
	<b>T O T A L :</b>		<b>401440</b>

Además de adicionarse 150 000 Ha. en unidades de riego distribuidas en toda la cuenca; que hace un gran total aproximado de 450 000 Ha.

Otra demanda que es necesario asertar es la que de acuerdo con lo que establece el Tratado de 1944, la tercera parte de los escurrimientos mexicanos que llegan al Río Bravo, procedentes de los ríos: Conchos, San Diego, San Rodrigo, Esccondido, Salado y arroyo Las Vacas, se le asignan a los Estados Unidos; además, este volumen no será menor; en conjunto, en promedio y en ciclos de cinco años consecutivos, de 431.721 Mm3. al año.

Si se revisa nuevamente la tabla 2.1, se podrá apreciar que las corrientes - que drenan las mayores extensiones mexicanas, son las del Conchos y Salado; sin embargo, como puede apreciarse en las Tablas 2.10 y 2.13, los escurrimientos del río Salado, son de menor magnitud; y la mayor parte de ellos, son - controlados por la presa Venustano Carranza y aprovechados para el riego de 26 000 Has. del Dto. 004 (Don Martín).

Ante tal circunstancia, es evidente que un alto porcentaje de los volúmenes destinados a cubrir el compromiso derivado del convenio, deberá provenir -

del Río Conchos, por lo que las políticas planteadas deberán considerar esta restricción y buscar que en la parte baja del Río Bravo, se logre un mejor aprovechamiento de los excedentes que actualmente se tienen, tanto provenientes de los Estados Unidos, como principalmente, de los Ríos Alamo y San Juan.

Esta situación queda de manifiesto al analizar la tabla 3.4, en la que se muestran los volúmenes históricos anuales derramados por la presa Marte R. Gómez, que representan un promedio anual de 352 Mm<sup>3</sup>., con máximos hasta de 3273 Mm<sup>3</sup>.

Aún cuando el tratado establece también, que siempre que la capacidad útil, de las dos presas internacionales asignadas a los Estados Unidos se llene con agua de su propiedad, que puede provenir de ambos países, se considera terminado un ciclo de cinco años y todos los débitos totalmente pagados: la situación de escasez que ocurre cíclicamente; al mismo tiempo del posible incremento del aprovechamiento de las aguas pertenecientes a Estados Unidos, lleva a considerar que las políticas que se planteen debieran tender a garantizar el cumplimiento del convenio.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente y según se muestra en la tabla 2.3, el volumen demandado en la cuenca del Río Bravo para abastecimiento a centros urbanos, tanto para usos municipales, como domésticos y ocasionalmente industriales, era en 1980 de 646 Mm<sup>3</sup>. anuales y se estima que para el ya próximo 1990 será de 1077 Mm<sup>3</sup>. La mayor parte de esta demanda, se satisface con agua subterránea.

De manera similar el agua utilizada por las industrias proviene primordialmente de pozos. De acuerdo con estimaciones de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, las actividades industriales utilizarán en 1980, 365 Mm<sup>3</sup>. y para 1990 llegarán a 624 Mm<sup>3</sup>. anuales.

En cuanto a la generación de energía eléctrica actualmente es prácticamente nula la demanda, ya que a partir de 1977 las plantas hidroeléctricas de La Boquilla, Colima y Rosetilla, Chih. dejaron de operar; sin embargo, en fe-

cha próxima entrarán en operación las plantas generadoras de La Amistad, - que requerirán un volumen de 1 000 a 1 200 Mm<sup>3</sup>. anuales y la planta de la Boquilla; éstas en adición a las plantas, que desde su inicio de operación - funcionan en la presa Falcón.

**MODELOS PARA EL ANALISIS**

La determinación del volumen de agua que puede ofrecer una presa cualquiera, sujeta a una política deficitaria es, a la vez, un problema antiguo y - frecuente. Para resolverlo, el ingeniero tuvo que aceptar hipótesis simplificadoras que, aunque lo alejaban en cierta medida de la realidad, le permitieron aplicar métodos de solución.

El desarrollo de la Hidrología y el uso de computadores modernos, han podido idear nuevos procedimientos, en los que se eliminan algunas de las hipótesis originales, para lograr mayor apego a las condiciones reales.

Es propósito de este capítulo incluir algunos comentarios de los métodos - teórico - prácticos; en especial, el del método para maximizar el aprovechamiento de los volúmenes de ingresos. También se hace referencia particular al modelo de simulación general de operación de presas, para ajustar las reglas de operación obtenidas de manera aislada y proponer criterios de operación del sistema de presas.

**4.1.- Criterios Tradicionales**

Existen diversos métodos para calcular el volumen de oferta de un almacenamiento. Entre ellos, dos han sido los más usados: el Diagrama de Rippl - o curva masa aplicada a estudios hidrológicos y el funcionamiento analítico de vasos, con fundamento en el principio de conservación de la materia.

**4.1.1.- Curva Masa aplicada a estudios hidrológicos**

Es ésta una solución gráfica al problema. Consiste en dibujar sobre ejes - coordinados las curvas de volúmenes acumulados de entradas y salidas, contra el tiempo.

Los volúmenes de entradas se determinan con base en el registro histórico - de escurrimientos y los de salidas, como la suma de las demandas a la presa, evaporaciones netas y filtraciones.

La curva de volúmenes de entrada se desplaza verticalmente con relación a la de volúmenes de salidas hasta encontrar la posición en que no se cruzan y son tangentes cuando menos en un punto. El tiempo crítico ( $t_c$ ) es aquél en que la diferencia de ordenadas es máxima y ésta diferencia representa el volumen útil que debe tener el almacenamiento para cumplir con la ley de extracciones establecida. Este método con la aparición de los computadores, ha pasado a ser pura referencia histórica.

#### 4.1.2.- Funcionamiento analítico de vasos

Debido al desarrollo de computadores cada vez más rápidos, precisos y baratos, las técnicas gráficas cedieron el paso a procedimientos analíticos más confiables, para resolver el problema que nos ocupa.

En la actualidad, el criterio más generalizado es el funcionamiento analítico de vasos, que simula la evolución de los volúmenes almacenados, evaporaciones y derrames de una presa, a partir de ciertos regímenes de escurrimientos y extracciones.

El método se basa, según enfoque determinístico, en las siguientes hipótesis:

- La longitud del registro histórico es tal que los escurrimientos y evaporaciones netas registradas son representativos de aquellos que ocurrirán en el futuro.
- La demanda anual de agua es constante en el tiempo, aunque su distribución a lo largo del año puede ser o no variable.
- Las filtraciones se desprecian cuando no se espera que sean muy importantes. En caso contrario se determinan como una función de la elevación del nivel de agua almacenada, o a través de relaciones teóricas.

La información necesaria es:

- Curvas elevaciones - áreas - capacidades del vaso.
- Volúmenes de escurrimiento, generalmente mensuales e históricos.

Cuando se cuenta con una estación hidrométrica en el sitio de la presa, se utilizarán los datos que ella aporte y cuando no sea así, será necesario inferirlos. Entre más largo sea el período con datos de escurrimiento, mejor se cumplirá con la primera de las hipótesis.

- Lámina de evaporación mensual neta, para un período igual al del registro de escurrimientos, en el sitio del almacenamiento.
- Volumen de demanda anual (DA), y su distribución por meses a lo largo del año.
- Capacidades muerta y de conservación de la presa.
- Almacenamiento inicial.

La simulación consiste en resolver, para cada lapso (normalmente mensual) - del registro de escurrimientos, la ecuación de conservación de la materia:

$$E - S = \frac{dA}{dt} \quad (4.1)$$

que resulta por incrementos finitos de tiempo (iguales a un mes):

$$AF (i) = AI (i) - S (i) + E (i) \quad (4.2)$$

$$\text{pero como } S (i) = DS (i) + EV (i) + DR (i) \quad (4.3)$$

$$\text{entonces } AF (i) = AI (i) + E (i) - DS (i) - EV (i) - DR (i) \quad (4.4)$$

al tener en cuenta que:

$$DR (i) = 0$$

$$Si \quad AI (i) - DS (i) - EV (i) + E (i) \leq CC \quad (4.5)$$

y :

$$DR (i) = AI (i) - DS (i) - EV (i) + E (i) - CC \quad (4.6)$$

$$si \quad AI (i) - DS (i) - EV (i) + E (i) > CC \quad (4.7)$$

y además

$$DS (i) = DEM (i) \quad si \quad AI (i) + E (i) - EV (i) - DEM (i) \geq CM \quad (4.8)$$

$$DS (i) = 0 \quad si \quad AI (i) + E (i) - EV (i) \leq CM \quad (4.9)$$

$$DS (i) = AI (i) + E (i) - EV (i) - CM \quad (4.10)$$

$$si \quad AI (i) + E (i) - EV (i) > CM \quad (4.11)$$

$$y \quad AI (i) + E (i) - EV (i) - DEM (i) < CM \quad (4.12)$$

donde:

- E (i) volumen de ingreso al vaso en el mes i
- S (i) salidas totales del vaso en el mes i
- AI (i) almacenamiento al inicio del mes i
- AF (i) almacenamiento al final del mes i
- DS (i) volumen extraído para satisfacer las demandas, durante el mes i
- EV (i) volumen evaporado neto durante el mes i
- DR (i) derrame en el mes i
- CC capacidad de conservación (igual al volumen almacenado hasta el nivel de aguas máximas ordinarias)
- CM capacidad muerta (igual al volumen almacenado hasta el nivel mínimo de operación; generalmente umbral de la obra de toma - más baja)

Para el primer mes del funcionamiento, el almacenamiento inicial es dato y para los siguientes es el almacenamiento final del mes anterior; esto es:

$$AI (i) = AF (i - 1) \quad (4.13)$$

La demanda anual (DA) se distribuye entre todos los meses de ese año, según porcentajes fijos atribuidos a cada mes, que son constantes para todos los años. Si llamamos PD (k) al porcentaje correspondiente al mes k (de 1 a 12), la demanda de ese mes se determina como:

$$DEM (k) = PD (k) \times DA \quad (4.14)$$

y se debe cumplir:

$$\sum_{k=1}^{12} PD (k) = 1.00 \quad (4.15)$$

Los porcentajes de demanda de cada uno de los meses del año, se fijan según el destino del almacenamiento (agua potable, riego, ...)

El volumen DS (i) puede ser igual o menor que DEM (i); cuando es menor, se dice que hubo deficiencia en el mes i. Su magnitud se calcula como:

$$\text{Volumen de "déficit" (i)} = \begin{cases} DEM (i) - DS (i); & \text{si } > 0 \\ 0 & ; \text{si } \leq 0 \end{cases} \quad (4.16)$$

La evaporación es función del área expuesta y ésta depende de aquélla, por lo que la ecuación (4.4) debe resolverse por aproximaciones sucesivas.

El derrame se considera como el volumen que al final de un mes sobrepase al de conservación. Se calcula con las fórmulas (4.5) y (4.7)

Al terminar la simulación se hará un balance de volúmenes derramados, "déficits", evaporaciones, demandas satisfechas, lapsos de deficiencias y fre--

cuencias de éstas. Se deberán analizar diversas alternativas (al variar las demandas y los volúmenes útiles).

#### 4.2.- Metodología utilizada

Las metodologías antes expuestas, consideran constante la demanda anual, lo que es un defecto, ya que en la realidad, ésta es variable y se determina para cada año al considerar el volumen almacenado al inicio del ciclo agrícola, que generalmente va de octubre a septiembre.

El método aquí propuesto determina la oferta para cada año, en función del almacenamiento al inicio del ciclo, lo que se acerca más a la realidad.

Usualmente la decisión del volumen por extraer en el siguiente ciclo se toma con base en la experiencia, sin seguir reglas establecidas; pero, al analizar registros históricos de varios almacenamientos, se ha observado que existe una tendencia hacia una función del tipo:

$$DA(k) = \alpha AI(k)^\beta \quad (4.17)$$

donde DA (k) demanda total para el ciclo k  
 AI (k) almacenamiento al inicio del ciclo k  
 $\alpha, \beta$  parámetros cuyos valores siempre son positivos y varían para cada presa

La forma de la ecuación se muestra en la figura 4.1

Es posible fijar valores de  $\alpha$  y  $\beta$  y realizar un funcionamiento analítico de vaso, similar al descrito en el capítulo anterior, pero con la determinación de la extracción de cada año con la fórmula (4.17). Entre los resultados que se obtienen, destacan la deficiencia anual promedio (DAP) y la extracción media anual (EMA).

Para cada valor de  $\alpha$  existe sólo uno de  $\beta$  para el que el "déficit" anual promedio (DAP), es igual al porcentaje de deficiencia preestablecido (PDF), o sea DAP = PDF.

Se desea encontrar la función exponencial para determinar extracciones, que cumpla con la política de deficiencia (PDP) y que además maximice el valor de la extracción media anual. Para lograrlo existen varios procedimientos. El más sencillo es el de tanteos, que fué la primera solución aplicada para resolver el problema; sin embargo, este sistema es demasiado largo y tardado, aún con la ayuda de un computador. Se proponen para acelerar el proceso, métodos de eliminación (búsqueda) directa como lo son los de "Fibonacci" y "Bolzano".

El método de Fibonacci reduce al mínimo, el máximo número de iteraciones necesarias para encontrar el máximo de una función unimodal, cuando al hacer una evaluación de la función, no se conoce el signo de su pendiente en ese punto. El de Bolzano, es similar, pero se aplica a funciones, que al evaluarlas; se conoce también el signo de su pendiente en ese punto.

Se propone seguir la siguiente secuela de cálculo:

- a) Fijar un intervalo de  $\alpha$  en el que se supone estará el valor correspondiente a la máxima extracción media anual (EMA).
- b) Determinar, por el método de Fibonacci, el número de iteraciones que serán necesarias para reducir el intervalo al tamaño deseado.
- c) Encontrar, también por el método de Fibonacci, un valor de  $\alpha$ , comprendido en el intervalo ( $\alpha$  inf,  $\alpha$  sup), fijado en el punto (a).
- d) Proponer un intervalo ( $\beta$  inf,  $\beta$  sup) en el que se encuentre un valor de  $\beta$ ,  $\beta^*$ ; tal que al combinarlo con el de  $\alpha$  establecido en el punto (c), se obtenga un "déficit" anual promedio igual al requerido, al realizar el funcionamiento de vaso, y determinar las DA (k) con base en la ecuación:

$$DA(k) = \alpha AI(k) \beta^*$$

(4.18)

- e) Definir por el método de Bolzano un valor de  $\beta$  localizado dentro - del intervalo ( $\beta$  inf,  $\beta$  sup).
- f) Realizar el funcionamiento de vaso, calculando las DA (k) con base en la ecuación (4.17), al ser  $\alpha$  y  $\beta$  las determinadas en los puntos (c) y (e), respectivamente.
- g) Reducir el intervalo ( $\beta$  inferior,  $\beta$  superior), con la información resultante del punto (f). Si la deficiencia anual promedio (DAP) resulta - menor que la deficiencia promedio buscada (PDP),  $\beta$  pasará a ser  $\beta$  infe- rior y  $\beta$  superior permanecerá sin cambio. En caso contrario,  $\beta$  supe rior tomará el valor  $\beta$  y  $\beta$  inferior no cambiará.
- h) Regresar al punto (e) las veces que sea necesario, hasta llegar - al (PDP) con tanta aproximación como se desee.
- i) Si sólo se ha efectuado el punto (c) una vez, volver a ejecutarlo. - En caso contrario, reducir el intervalo ( $\alpha$  inferior,  $\alpha$  superior), en - el que se encuentra  $\alpha^*$ .
- j) Ejecutar nuevamente los puntos (c) a (i) tantas veces como se determi - nó en el punto (b), hasta que la amplitud del intervalo en que se encuentre  $\alpha^*$  sea igual o menor a la aproximación deseada para  $\alpha$ .
- k) En caso de que los valores  $\alpha^*$  o  $\beta^*$  fueran iguales a algún extremo - de su intervalo original, esto sería indicio de que el intervalo supuesto - fué incorrecto y es necesario ampliar y repetir el proceso desde el punto - (a).
- l) La (EMA)\* para un (PDP) será aquella obtenida para  $\alpha^*$  y su correspondien - te  $\beta^*$ .

Como se ve, el procedimiento es largo e iterativo, por lo que se realizó el programa "OPTIMA", para computador, en lenguaje FORTRAN IV, que sigue los - doce pasos anteriores. Consta de programa principal y ocho subrutinas. En

la figura 4.2, se muestra el diagrama de bloques, y en el Apéndice A, la -- descripción de rutinas.

Por último, debe señalarse, a esta curva así determinada se le establecen - en los extremos las limitaciones de mínimo volumen de extracción (p.e. un - riego de punteo) y el de máximo volumen por derivar (p.e. debido a la capa- cidad de la toma, o del tamaño de la superficie por regar, etc.)

#### 4.3.- Simulación de sistemas de vasos

El modelo descrito anteriormente es aplicable para la determinación de las - relaciones almacenamientos - extracciones en vasos aislados. Cuando exis- - ten aprovechamientos de agua en cuencas con varias presas construídas y ope- - rando en serie o en paralelo, se requiere hacer una simulación del sistema de vasos para ver la bondad de estas relaciones y definir los ajustes requere- - ridos.

Para este caso, se decidió por la utilización de un modelo para computador - cuya característica principal es poseer una "Rutina" en la cual se estable- - cen las reglas de distribución del agua, para dos demandas prioritarias y - dos aportaciones secundarias; esto es, se puede llevar el control en cada - vaso de hasta cuatro diferentes usos o transferencias de agua. Además, dada la estructura de esta rutina de repartición de agua, se puede manejar el mo- - delo para simulación de sistemas de presas en paralelo o en serie (como es - el caso del complejo sistema de presas del Río Bravo).

Consta de un programa principal en el cual fundamentalmente se hace el con- - trol de las entradas, salidas y otras variables importantes, y de la impre- - sión de los resultados; así como, hacer el enlace entre las diferentes Rutinas, que son cuatro.

Posee la Rutina "REPART", en la que para cada vaso se plantean las entradas por cuenca propia y por transferencia. Los volúmenes de demanda de las dos prioritarias en la que se consigna la reducción por envío de otras presas o el apoyo hacia otras demandas de otros vasos y cualquier otra característi- - ca o limitante de almacenamiento, de capacidad de extracción de toma o de - sistemas de conducción de agua.

Incluye una Rutina de funcionamiento de vaso con las características expuestas en el párrafo 4.1.2, que no es otra cosa más que la simulación del vaso en cuanto a la contabilidad de entradas y salidas, definición de volúmenes perdidos en evaporación y derrames, así como la de los volúmenes realmente surtidos, respecto a las demandas establecidas en la Rutina REPART.

Posee las Rutinas de Interpolación y de Ajuste de las series, que usa el modelo "OPTIMA".

En la figura 4.3 se incluye el diagrama de bloques del modelo de simulación y en el Apéndice B, la característica de la rutina REPART utilizada para la simulación de las doce presas utilizadas en la cuenca internacional Río Bravo; nueve de ellas construidas y tres de ellas como proyecto.

Debe reiterarse que la distribución de la "Rutina", con pequeños cambios se puede analizar cualquier alternativa para diferentes números de presas y diferentes condiciones de repartición de agua.

## CAPITULO 5

**SIMULACION DEL SISTEMA****5.1.- Consideraciones Generales:**

El aspecto fundamental para definir una política de operación del Río Bravo es el balance hidrológico. Mediante la simulación del comportamiento de -- las subcuencas que integran el sistema del Río Bravo, bajo diferentes pro-- gramas de extracción, es posible determinar los volúmenes de oferta, exce-- dentes y deficiencias de cada uno de ellos y, a partir de sus análisis, se-- leccionar el que permita lograr el mejor aprovechamiento del agua disponi-- ble.

En el caso, se consideran dos enfoques básicos al efectuar la simulación: - el primero; consiste en buscar satisfacer plenamente los requerimientos de-- agua de nuestro país y los excedentes destinarlos a la entrega a Estados -- Unidos (sin buscar cumplir con los volúmenes que establece el Tratado de -- 1944), el segundo; consiste en aportar primeramente los volúmenes correspon-- dientes a Estados Unidos según Tratado de 1944 y destinar el resto del agua a cubrir las demandas nacionales.

En la figura 5.1 se muestra esquemáticamente cada uno de los subsistemas -- que integran la cuenca del Río Bravo; como puede apreciarse, no se conside-- ró la totalidad de las obras existentes en la cuenca; debido principalmente a la carencia de datos históricos del comportamiento de los ingresos a las-- presas pequeñas erigidas en la parte alta del Río Conchos.

En el caso de las presas La Colina y Rosetilla, en virtud de su limitada ca-- pacidad de almacenamiento, y de que ya no generan y al hecho de recibir la-- mayor parte de las descargas de la presa La Boquilla; que las ha convertido prácticamente en presas derivadoras, cuyo efecto sobre una simulación a lar-- go plazo es mínimo, desde el punto de vista del balance hidrológico.

Los registros de escurrimientos históricos y "vírgenes" utilizados en la si-- mulación, al igual que las láminas de evaporación neta, abarcan un período que va de 1944 a 1987; es decir 44 años.

Para seleccionar los volúmenes de demanda iniciales, se tomó como base el promedio de los volúmenes de extracción programados en los últimos cinco años, en el caso de riego. Por lo que respecta al abastecimiento de agua potable, se considera que el alto porcentaje se satisface con aguas subterráneas y únicamente aguas abajo de Falcón se podrán destinar a esta fin volúmenes significantes, que se extraerían de dicha presa, del arroyo Alamos y del río San Juan.

La distribución de los volúmenes de salida a lo largo del año, está basada en las necesidades de riego en las cuencas. Se considera que en el momento en que se establezcan demandas para generación de energía eléctrica en la presa La Amistad, éstas deberán subordinarse al régimen de riego, según se opera en la presa Falcón.

Las demandas para usos industriales se concentran principalmente en el área metropolitana de Monterrey (70%) y se abastecen con pozos; el resto de la demanda, dispersa en la cuenca, está, en general, en la misma situación, - salvo casos aislados.

Las demandas del Bajo Bravo se satisfacen de manera conjunta con las presas Amistad y Falcón.

## **5.2.- Balances con los años "NORMAL" Y "CARACTERISTICO"**

En estas alternativas se hace la hipótesis de que en cada una de las sub-cuencas se presenta el año del 50% de probabilidad de ocurrencia; a esta condición se denomina año "normal"; y una cuya probabilidad es tal que resultan cubiertas todas las demandas con esta describibilidad.

Así, a partir de las consideraciones anteriores, se efectúa el balance del sistema para el año "normal"; en la tabla 5.1, se presenta para cada subsistema los volúmenes de demanda total mexicana, así como los ingresos correspondientes al 50% de probabilidad de ocurrencia.

En el río Conchos se satisfacen plenamente la demanda y se tiene un volumen

de 322 Mm<sup>3</sup>. excedente, 81% del total del sistema. Las aportaciones a la --  
 cuenca directa del Bravo en Amistad, y Falcón son ligeramente menores a lo-  
 demandado, por lo que hay un deficit de 256 Mm<sup>3</sup>. En el caso de un año normal,  
 es posible cubrir totalmente la demanda de la presa Venustiano Carranza y se-  
 tendría un excedente de 78 Mm<sup>3</sup>. que representa el 19% de la aportación mexicana.

En el río San Juan, la presa La Boca es insuficiente para satisfacer toda la -  
 demanda de agua potable de la ciudad de Monterrey y siempre tendrá deficien-  
 cias, que deben subsanarse mediante los volúmenes suministrados por la presa -  
 Cerro Prieto y el sistema de Pozos. en la presa Marte R. Gómez, por el con-  
 trario, se tiene un volumen excedente de 475 Mm<sup>3</sup>. que no aprovecha.

En resumen, en esta opción, el volumen disponible para el pago de los Estados  
 Unidos sería de 133 Mm<sup>3</sup>.; que es una tercera parte de los excedentes en los -  
 ríos Conchos y Salado; y se tendría un déficit anual de 299 Mm<sup>3</sup>. (69%).

Para el año "Característico", con el cual se pueden cumplir en el Tratado al  
 igual que en la alternativa anterior, se supone que en todas las subcuencas,  
 se presenta escurrimientos con igual probabilidad de ocurrencia, tabla 5.2.

Para cumplir con el volumen de 431.7 Mm<sup>3</sup>. establecido por el Tratado, y satis-  
 facer las demandas de nuestro país, sería necesario que la tercera parte de -  
 los excedentes de México, aguas arriba de Falcón, totalizaran 1 295 Mm<sup>3</sup>. para  
 que la tercera parte de ellos cubriera el compromiso del Tratado.

En el caso, conocido el volumen de los excedentes, se procedió a determinar -  
 el volumen de ingresos a las presas, necesario para cumplir con las demandas -  
 y estas condiciones. De esta forma, se determinó que sólo en el caso de un -  
 año con escurrimientos con una probabilidad de ocurrencia del 33% (medio húme-  
 do), se logra satisfacer todas las demandas.

Los excedentes del río Conchos, 1124 Mm<sup>3</sup>., representan el 87% del total; mien-  
 tras que del Salado provienen 137 Mm<sup>3</sup>. y 34 Mm<sup>3</sup>. de las presas Amistad y Fal-  
 con.

Los primeros balances presentados, con indicativos de que las demandas actuales y el Tratado no se pueden cumplir en una gran mayoría de años y deben - buscarse políticas de distribución de agua, de operación de presas y de posibles nuevos proyectos.

### **5.3.- Simulación Hidrológica:**

Las alternativas anteriores, tienen la limitante de que simplifican excesivamente el análisis y, aunque permiten un primer panorama del problema, no toman en cuenta adecuadamente los efectos de una presa en las otras, ni la distribución de los volúmenes a lo largo del tiempo.

Con objeto de verificar el comportamiento del sistema, bajo diferentes programas de extracción, y los efectos que los cambios en la operación en una de las presas, ocasiona en el resto del sistema, se efectuó una simulación del funcionamiento de vaso, mes a mes, para cada uno de los subsistemas.

Se analizaron diversas alternativas, las cuales consideran diferentes volúmenes de demandas para cada una de las presas; en la tabla 5.3, se presentan los valores mínimos y máximos de extracción programada que se utilizaron.

Para esta simulación, se hicieron las siguientes hipótesis:

- Toda la capacidad de la presa La Boca se destina al abastecimiento de Monterrey, N.L., y sólo derrama cuando el volumen de ingresos en un mes supera la capacidad de la planta de tratamiento.
- En las presas internacionales se consideran sólo los escurrimientos y capacidades mexicanas.
- Se suponen despreciables las pérdidas de conducción y la infiltración.
- Los ciclos anuales van de octubre a septiembre.
- No hay penalización por "déficit" en la demanda.

### 5.3.1.- Simulación restringiendo el pago a EUA y demanda anual constante

Para todas las alternativas planteadas se analizó primeramente, el caso en que sólo se consideran las demandas mexicanas y únicamente los volúmenes excedentes se destinan a los Estados Unidos, sin cumplir con lo dispuesto por el Tratado de 1944.

Los volúmenes de extracción son constantes año con año.

Los resultados de todas las simulaciones se presentan en la tabla 5.4 En la tabla 5.5. se resumen los valores resultantes de la alternativa en que se consideran las demandas cercanas al promedio de los últimos 5 años. Puede verse que todas tienen deficiencias del orden del 5% salvo San Gabriel, La Boquilla y La Boca.

Los excedentes del río Conchos en esta opción llegan a 867 Mm<sup>3</sup>., en promedio, y los del Salado a 109 Mm<sup>3</sup>., la presa Falcón tiene excedentes de 466 Mm<sup>3</sup>. - El volumen disponible para el pago de los 431.7 Mm<sup>3</sup>., sería de 976 Mm<sup>3</sup>. (en tre tres).

Si bien es cierto existen 976 Mm<sup>3</sup>. excedentes y un tercio de ellos equivale a un volumen de 325 Mm<sup>3</sup>., en ninguno de los casos se cumple el que en promedio de 5 años se den 431.7 Mm<sup>3</sup>.

### 5.3.2.- Simulación dando preferencia al pago a EUA y demanda anual constante

Si se quisiera cumplir totalmente con el volumen que establece el Tratado - de 1944, sería necesario limitar la demanda de algunas zonas de riego para liberar volúmenes adicionales a los excedentes actuales, los cuales se -- transferirían a Estados Unidos, o desde la presa Luis L. León enviar los - "déficits" que anualmente existan; que fue el caso utilizado.

A partir de este supuesto, se analizaron diversas extracciones, a las presas del sistema, destinado al riego junto con las extracciones adicionales

necesarias para completar el volumen promedio de 431.7 Mm3. y cumplir cabalmente con el Tratado de 1944.

En la tabla 5.6 se resumen los resultados del análisis de esta alternativa. En primer lugar sobresale el hecho de que debe reducirse la extracción en Falcón en 50 Mm3., según la anterior alternativa a 1400 Mm3. y los excedentes de la presa Luis L. León pasan de 867 a 757 Mm3. (que es lo que aporta en forma directa a los E.U.)

El volumen de demandas para México es de 3880 Mm3. y se tiene un déficit del 4.7%.

### 5.3.3.- Simulación con extracción anual variable

Como ya se indicó en el capítulo 4, la parte más importante del trabajo es lo consistente en simular las condiciones de operación del sistema de presas de la cuenca internacional del Bravo, con un criterio que esté más apegado a la realidad de como viene realizándose el trabajo de decisión de extracciones anuales para diversos usos en la cuenca.

Asimismo, también como se ha señalado, como punto de partida se utilizarán las relaciones almacenamiento inicial al 1º de octubre contra extracción, anual en la presa, para un porcentaje de "déficit" determinado, que pudiera ser 0, 3 ó 5%; curvas que además incluyen las limitaciones en sus extremos; inferior por volumen mínimo a entregar y superior de volumen máximo derivable. En el trabajo de simulación conjunta de presas, sufrirá ligeros ajustes en sus parámetros característicos la ecuación  $(\alpha, \beta)$ , para que se obtenga como resultado final un volumen entregado respecto al demandado dentro del límite de deficiencias seleccionadas (ver figuras 8.2, 5.11).

El proceso de simulación por presas será efectuar un trabajo de distribución mencionado de agua, con enfoque determinístico; esto es, con información real histórica para el lapso 1944-1987 y en el cual todos los 1º de octubre, para todas las presas, se establecerá un volumen a derivar, distribuido a lo largo del año según porcentajes de demanda que corresponden al promedio de los últimos 5 años, según han sido demandados los volúmenes.

Otro comentario también conveniente sobre la característica de la simulación en general, es que se plantean alternativas para la simulación en las 9 principales presas del sistema, excluyendo a todos aquellos pequeños almacenamientos que a la fecha existen en la cuenca y no representan un volumen de importancia en la distribución. Asimismo, se presentan las alternativas en que pudieran decidirse la construcción de 3 proyectos a la fecha estudiados; a saber: el de "Pegüis", sobre el río Conchos, aguas abajo de la presa Luis L. León, para el pago del agua a los Estados Unidos; el proyecto "Las Blancas", sobre el arroyo Alamos, para abastecimiento de agua a la Ciudad de Monterrey, recibiendo aportaciones de la presa Falcón, adicionales a los de su cuenca propia y regresados al río San Juan, y poder transferirlos al Bajo Bravo para disminuir en forma importante los volúmenes de agua que se van al mar; por último, el proyecto "El Cuchillo", que está aguas arriba de la presa Marte R. Gómez y sobre el río San Juan, para fines agrícolas de los Distritos del Bajo San Juan y del Bajo Bravo, además de reducir en lo posible los volúmenes que se van actualmente al mar.

Como debe entenderse se hicieron simulaciones para alternativas de 9 presas, de 10 presas, en sus diferentes combinaciones, 11 y hasta 12 presas.

Dentro de la variedad de alternativas para la simulación, se incluye la variante en la alternativa de 10 presas, con el proyecto "Las Blancas", para diferentes volúmenes de envío de agua a la Ciudad de Monterrey; desde 100 Mm<sup>3</sup>, potencialidad aproximada del río Alamos y hasta 400 Mm<sup>3</sup>, demanda probable de la zona metropolitana de Monterrey, para el año 2010, en adición a la actual (186).

En lo relativo a las alternativas para el pago según Tratado de 1944 a los Estados Unidos, se siguió la decisión de distribuir agua, en el caso de la no existencia del proyecto "Pegüis; desde la presa Luis L. León y en las alternativas con la presencia de la presa Pegüis, el pago desde ésta. Debe señalarse que dentro de todas estas alternativas, se propuso simular los casos en que se pagaba a los Estados Unidos según el Tratado y los cuales no era prioritario el pago y sólo lo que potencialmente pudiera el sis

tema, dando como resultado final el agua a los Estados Unidos.

Otra consideración adicional en la simulación fue el abastecimiento conjunto de la presa "La Boca", dentro de la cuenca del San Juan y la importación de agua del río San Fernando, fuera de la Cuenca del Bravo, para dar un total de 6 m<sup>3</sup>/seg "firmes" durante todos los años de la simulación y en forma conjunta con "La Boca".

Por último, en todas las alternativas de simulación, tanto para demanda -- constante como para variable, se usaron volúmenes de retorno de agua; se -- consideró que el 25% de lo enviado a los Distritos, regresa a los ríos y el 50% de lo servido a la Ciudad de Monterrey, vuelve al río San Juan.

### 5.5.- Análisis de resultados

El proceso del programa de simulación de vasos con la Rutina de distribución REPART generalizada, que ya se mencionó, fue hacer el manejo de los -- procesos según el número de presas y proyectos que se decidiera utilizar -- para distribución de volúmenes anuales variables en sus 4 modalidades; pago a Estados Unidos con y sin envío de agua al Bajo Bravo; y el no pago a los Estados Unidos con sus 2 posibilidades de envío de agua y no al Bajo -- Bravo.

En la tabla 5.4 se incluye el resumen de las alternativas que se han mencionado en el apartado anterior, en el cual se consigna, por un lado, los aprovechamientos dentro del río Conchos, con un subtotal 1; la presa Venustiano Carranza; el volumen a los Estados Unidos; después las presas del Bajo Bravo, con el volumen a Monterrey y un subtotal 2; en seguida el volumen total aprovechado en toda la cuenca; el volumen total de derrame al mar; y por último, la evaporación promedio anual de todo el sistema.

En esta tabla, se pueden encontrar las siguientes particularidades en las alternativas, a saber:

Con las presas actualmente construidas no se puede pagar, de manera como --

lo señala el Tratado de 1944, a los volúmenes a Estados Unidos y se requiere desde la presa Luis L. León enviar volúmenes hasta de 138 Mm<sup>3</sup>, sin poner -- restricciones en las 3 principales presas de aguas arriba, en las que en -- conjunto se aprovechan 1446 Mm<sup>3</sup>. y a Luis L. León cubriría el total de las -- demandas de su Distrito. al comparar los volúmenes totales aprovechados - cuando la demanda es variable, con respecto a las alternativas estableciendo un volumen constante y firme a entregar año con año, se ve que se rescatan del orden de 100 Mm<sup>3</sup>. del volumen que va al mar y del orden de 400 Mm<sup>3</sup>. en volumen aprovechado para uso directo y en casi 200 Mm<sup>3</sup>. se disminuyen -- las evaporaciones.

En las alternativas en las cuales aparece el proyecto "Pegüis", se observa que el impacto benéfico de este proyecto en la simulación del sistema es el pago a los Estados Unidos, en 120 Mm<sup>3</sup>, del orden de 20 menos que desde la - presa Luis L. León; en el Bajo Bravo su influencia es más bien negativa y - casi representa el volumen que se está dando desde "Pegüis" a los Estados - Unidos (ver alternativas 10 presas en que está "Pegüis", comparativamente - con las alternativas de 9 presas).

Otro resultado también que se puede resaltar, es que cuando se incluye un - proyecto, de los 3, el que sí representa ganancias importantes en los volú- menes aprovechados, así como en la disminución de volúmenes enviados al mar, es en las alternativas en que aparece el proyecto "Las Blancas".

En las alternativas en que se incluye al proyecto "Cuchillo", se puede ob- serar que el efecto en la ganancia de volúmenes aprovechados en el Bajo Bra- vo es insignificante y salvo en los casos en que esté presente el proyecto Blancas, pudiera lograrse un volumen aprovechado en el Bajo Bravo de hasta 300 Mm<sup>3</sup> adicionales, según la alternativa de comparación de 9 presas; pero si se habla del escaso incremento en el aprovechamiento, los 300 vienen a representar una ganancia muy pequeña y con la limitante de que debe existir el proyecto "Las Blancas". En todo caso, lo más seguro es de que éste pro- yecto no se justifique económicamente.

En resumen, en las alternativas en que existen 10 presas, de éstas el pro--

yecto "Las Blancas" es el que tiene mayor impacto en el aprovechamiento total del sistema y una disminución en los volúmenes de derrame al mar. En caso de tener 11 presas, sólo el proyecto combinado "Las Blancas" - "Cuchillo", permite un volumen sustancial en el aprovechamiento y de disminución en los derrames y en las alternativas con 12 presas, no se nota ninguna ganancia importante respecto a las de 11 presas donde está "Las Blancas" y -- "Cuchillo" o de 10 presas en la cual esta sólo "Las Blancas" o en todo caso, cuando no está ningún proyecto, puesto que el aprovechamiento total del sistema no excede a los 300 Mm<sup>3</sup>.

También se puede consignar que en la alternativa de 10 presas en que está - "Las Blancas", para aprovechamientos de agua a la Ciudad de Monterrey, en la magnitud en que se hace los envíos a Monterrey desde Falcón y "Las Blancas", en cierta proporción se está incrementando la utilización en el sistema del Bajo Bravo y disminuyendo los derrames al mar, sin que se afecten -- los volúmenes evaporados del sistema; los que se mantienen en el entorno de los 500 a 540 Mm<sup>3</sup>. de promedio anual; de otra manera, se puede decir que ca da 100 Mm<sup>3</sup>. enviados a Monterrey representan 30 Mm<sup>3</sup>, disminuidos en derrames al mar y 70 Mm<sup>3</sup>. de reducción en el aprovechamiento en el Bajo Bravo.

Debe señalarse también el hecho que al analizar la columna de las evaporaciones totales, entre mayor es el número de presas en el sistema, mayor son los volúmenes evaporados, en promedio anual; y también que el proyecto "Las Blancas" viene a representar muy poco en incremento en las evaporaciones, - manteniéndose alta la evaporación en "Pegüis" y "Cuchillo".

En las tablas 5.7 a 5.10, se incluyen los volúmenes resultantes de la simulación para las mejores alternativas en 9, 10, 11 y 12 presas.

## CAPITULO 6

## CONCLUSIONES

- En las condiciones actuales de aprovechamiento de la cuenca internacional del Río Bravo, no es posible cumplir plenamente con el Tratado de 1944.
- Para pagar según el Tratado, se deberá promover una "Acta de Acuerdos", -- complementaria al Tratado, para que cuando México lo señale, desde la presa Luis L. León se envíe el complemento.
- Cualquier aprovechamiento que se haga en el futuro, seguirá repercutiendo en disminución de los volúmenes derivados al distrito del Bajo Bravo.
- Los volúmenes derramados al mar, son de magnitud importante y no es posible disminuirlos considerablemente; aún en el caso de 12 presas (más de -- 1000 Mm3 promedio anual se pierden).
- De los tres nuevos proyectos, el de "Las Blancas" es el que se ve más - - atractivo y si se hace para envío de agua a la ciudad de Monterrey, la factibilidad económica, no será problema. Es posible que en un futuro próximo pudieran ya ser factibles los proyectos "El Cuchillo " y "Pegüis".
- Es urgente establecer en la cuenca programas de ahorro de agua en todos -- los usos; así como, obras que permitan reducir los consumos de agua; en -- riego principalmente.
- Como complemento a lo anterior, también es necesario que con carácter prioritario se integre y establezca un "Reglamento de Utilización del Agua" de las cuencas, que resalte principalmente aquellas restricciones en caso de escasez de agua.
- Con análisis "estocástico" del problema, aunque recomendable, se piensa - que no habría cambios importantes en los resultados, en virtud de utilizar se 44 años de longitud de registro.
- En todo caso, para mejorar un poco los resultados, pudiera recomendarse el efectuar un análisis hidroeconómico, a través del uso de: modelos de programación lineal, para definir los planes de cultivo para diferentes niveles de oferta; modelos de programación dinámica, para obtener las relaciones almacenamiento-extracciones (anuales y por ciclos de cultivo); y modelos de acuífero, para tomar en cuenta el funcionamiento conjunto de las aguas superficial y subterráneas, y decidir el cuanto, de dónde y para qué de la derivación de volúmenes de agua.

**BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Acosta-Godínez, Antonio: "Volumen Útil de un almacenamiento (Un nuevo enfoque)"; Ed. Revista Recursos Hidráulicos, Vol. VI, Núm. 4 (1977).
- 2.- Biswas, Asit K.: "Systems Approach to Water Management"; Ed. McGraw-Hill (1976).
- 3.- Buras, Nathan: "Scientific Allocation of Water Resources"; Ed. Elsevier (1972).
- 4.- Fleming, George: "Computer Simulation Techniques in Hydrology"; Ed. - - Elsevier (1975).
- 5.- Hillier and Lieberman: "Introduction to Operation Research"; Ed. Holden-Day (1980, Third Edition).
- 6.- Hufschmidt y Fiering: "Simulation Techniques for Design of Water Resource Systems"; Ed. Harvard University Press (1966).
- 7.- Linsley, Kohler y Paulhus: "Hydrology for Engineers"; Ed. McGraw-Hill (1982, Third Edition)
- 8.- Maass et al: "Design of Water Resource Systems"; Ed. Harvard University Press (1966).
- 9.- Major y Lenton: "Applied Water Resource Systems Planning"; Ed. Prentice-Hall (1979).
- 10.- Naylor et al: "Computer Simulation Techniques"; Ed. John Wiley and Sons (1966).
- 11.- Pun, Lucas: "Introduction to Optimization Practice"; Ed. John Wiley and Sons (1969).
- 12.- SARH: "Boletines Hidrométricos 29, 34 y 53 (Región Hidrológica 24)"; Ed. D.H. (1969 a 1977).
- 13.- SARH: "Plan Nacional Hidráulico 1981"; Ed. CPNH (1981; 19 tomos)
- 14.- SRE: "Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América"; Ed. CILA (1944).
- 15.- SRE: "Boletines Hidrométricos del Río Bravo (1 al 54)"; Ed. CILA (1931 a 1984).

**BIBLIOGRAFIA (continúa)**

- 16.- Wagner, Harvey M.: "Principles of Operations Research"; Ed. Prentice-Hall (1975, Second Edition).
- 17.- Wilde y Beightler: "Foundations of Optimization"; Ed. Prentice-Hall (1967).

## VOLUMENES ENTREGADOS POR MEXICO A ESTADOS UNIDOS

VOLUMEN COMPROMISO CICLO = 2 158.5 Mm3.

INICIO		TERMINACION		VOL. ENTREGADO EN EL CICLO (Mm3.)	DIFERENCIA (Mm3.)
1º OCTUBRE	1953	30 SEPTIEMBRE	1958	1570.9	- 587.6
30 SEPTIEMBRE	1958	30 SEPTIEMBRE	1963	2834.8	+ 676.3
30 SEPTIEMBRE	1963	30 SEPTIEMBRE	1968	2198.4	+ 39.9
30 SEPTIEMBRE	1968	21 AGOSTO	1972	2594.7	+ 436.2
21 AGOSTO	1972	15 FEBRERO	1973	280.0	- 1878.5
15 FEBRERO	1973	16 OCTUBRE	1974	1015.8	- 1142.7
16 OCTUBRE	1974	8 DICIEMBRE	1976	1846.5	- 312.0
8 DICIEMBRE	1976	6 NOVIEMBRE	1978	1398.2	- 760.3
6 NOVIEMBRE	1978	16 NOVIEMBRE	1978	50.0	- 2108.5
16 NOVIEMBRE	1978	7 SEPTIEMBRE	1979	691.8	- 1466.7
6 SEPTIEMBRE	1979	11 JUNIO	1981	1045.3	- 1113.2
11 JUNIO	1981	3 SEPTIEMBRE	1981	209.9	- 1948.6
3 SEPTIEMBRE	1981	11 OCTUBRE	1981	180.0	- 1978.5
11 OCTUBRE	1981	26 OCTUBRE	1981	60.0	- 2098.5
26 OCTUBRE	1981	1º JUNIO	1982	275.0	- 1883.5
1º JUNIO	1982	1º JUNIO	1987	1877.0	- 281.5

TABLA(1.1)

**AREAS DE LA CUENCA DEL RIO BRAVO (Km2).**

		<b>MEXICO</b>	<b>E.U.A.</b>
<b>ALTO BRAVO</b>	Río Conchos hasta Ojinaga	71,964	0,000
	Río Bravo hasta la hidrométrica Presidio Arriba	7,082	83,467
	Río Bravo desde su confluencia con el Conchos hasta la estación Rancho Jhonson	<u>6,339</u>	<u>10,448</u>
	SUMA	<u>85,385/</u>	<u>93,915/</u>
<b>MEDIO BRAVO</b>	Entre estación Rancho Jhonson y la presa Amistad	22,469	120,225
	Entre Presa Amistad y Presa Falcón (Incluye el Río Salado con 60,137)	<u>80,605</u>	<u>13,740</u>
	SUMA	<u>103,074/</u>	<u>133,965/</u>
<b>BAJO BRAVO</b>	Entre la Presa Falcón y Matamoras-Brownsville (Incluye los ríos Alamo con 4,296 y San Juan con 32,972)	<u>41,022/</u>	<u>2,530/</u>
	Area total hasta Matamoros - Brownsville	<u><u>229,481/</u></u>	<u><u>230,410/</u></u>
	Area sin los Ríos Salado, Alamo y San Juan (97,405)	<u>132,076/</u>	<u>230,410/</u>
		36%	64%

## NUMERO DE HABITANTES EN CIUDADES IMPORTANTES

## DE LA CUENCA DEL RIO BRAVO

C I U D A D E S	A N O S				
	1940	1950	1960	1970	1980
Cd. Juárez, Chih.	62245	131308	276995	424135	567365
Chihuahua, Chih.	56805	86961	150430	277099	406830
Delicias, Chih.	11860	30651	51596	65298	79000
Hidalgo del Parra, Chih.	29933	36740	45080	64193	78994
Nuevas Casas Grandes, Chih.	10899	16034	22740	28971	36871
Monclova, Coah.	11325	21527	43077	81878	119609
Piedras Negras, Coah.	26105	31665	38408	46698	80290
Saltillo, Coah.	26086	98598	127772	190994	321758
Monterrey, N.L. (Área Metropolitana)	206156	375040	708399	1'246181	1'913075
Matamoros, Tamps.	114981	128247	143043	186146	238840
Nuevo Laredo, Tamps.	36856	59496	96043	148867	203286
Reynosa, Tamps.	37540	69428	134869	150786	211412
río Bravo, Tamps.	12065	21822	39470	71389	83522
SUMAS:	692856	1'107517	1'887922	2'982635	4'340852

TABLA 2.2

**COMPARACION DE LOS VOLUMENES PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE  
Y LA POBLACION PREVISTA PARA LAS PRINCIPALES CIUDADES  
UBICADAS EN LA CUENCA DEL RIO BRAVO**

	<b>DEMANDA TOTAL (Mm<sup>3</sup>/AÑO)</b>		
	<b>(POBLACION HABS.)</b>		
	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>
Ciudad Juárez, Chih.	91 (567365)	106 (703979)	161 (889383)
Chihuahua, Chih.	65 (406830)	76 (505000)	116 (638000)
Delicias, Chih.	11 (79000)	16 (104000)	26 (137000)
Hidalgo del Parra, Chih.	10 (78994)	15 (112600)	24 (156400)
Nuevas Casas Grandes, Chih.	7 (36871)	11 (93000)	17 (154500)
Monclova, Coah.	71 (119609)	116 (170000)	179 (251000)
Nueva Rosita, Coah.	6 (43795)	11 (62700)	20 (83700)
Piedras Negras, Coah.	11 (80290)	20 (167600)	39 (282500)
Saltillo, Coah.	40 (321758)	60 (364700)	93 (550000)
Monterrey, N.L. (Area Metropolitana)	350 (1'913075)	533 (2'864000)	868 (4'100000)
Matamoros, Tamps.	19 (238640)	27 (284700)	39 (360000)
Nuevo Laredo, Tamps.	23 (203286)	31 (224948)	40 (238461)
Reynosa, Tamps.	26 (211412)	39 (284000)	48 (300000)
Río Bravo, Tamps.	7 (83522)	16 (136500)	28 (210000)
	737	1077	1698
<b>S U M A S :</b>	<b>( 4'384,647)</b>	<b>(6'076,727)</b>	<b>(8'350,944)</b>

TABLA 2.3

CARACTERISTICAS DE LAS PRESAS CUENCA RIO BRAVO

P R E S A	INICIO DE OPERACION	CAPACIDAD DE CONSERVACION (Mm3)	CAPACIDAD DE CONSERVACION ACUMULADA	CAPACIDAD OBRA DE TOMA (m3/seg)	CAPACIDAD VERTEDEDOR (m3/seg)
Parral, Chih.	1904	4.5	4.5	0.80	300.0
Boquilla, Chih.	1916	2903.3	2907.8	72.00	10000.0
Colina, Chih.	1926	23.7	2931.5	41.00	--
Venustiano Carranza, Coah.	1930	1375.0	4306.5	64.00	* 6600.0
Rosetilla, Chih.	1931	19.5	4326.0	--	* 9000.0
San Miguel, Coah.	1935	10.6	4336.6	--	34.0
Centenario, Coah.	1936	15.6	4351.6	--	160.0
Marte r. Gómez, Tamps.	1943	932.2	5283.8	72.00	13000.0
Francisco I. Madero, Chih.	1949	348.0	5631.8	35.00	2540.0
Falcón, Tamps.	1953	3290.0	8921.8	250.00	* 13000.0
Chihuahua, Chih.	1960	26.4	2948.2	2.00	300.0
La boca, N.L.	1961	48.7	8996.9	3.00	* 2250.0
Rejón, Chih.	1966	6.6	9003.5	35.00	80.0
Amistad, Coah.	1968	4324.0	13327.5	120.00	* 43700.0
Luis L. León, Chih.	1968	356.0	12683.5	20.00	* 7000.0
San Gabriel, Dgo.	1979	255.4	13938.9	7.95	643.0

\* Vertedor controlado.

TABLA 2.4

## ZONAS DE RIEGO DEL RIO BRAVO

ZONAS DE RIEGO	1944	1950	1960	1970	1980	1984					
	(	H	E	C	T	A	R	E	A	S	)
Fort. quitman-Est. arriba río conchos			44		137		121		76		
Río Conchos-Presa Boquilla			2360		2360		1450		1565		
Río Conchos-Presa Luis L. León			133674		144933		135045		134245		
Río Conchos-Arroyo Alamito			200		183		280		85		
Abajo Conchos-Johnson Ranch			1330		656		1128		1116		
Arroyo Las Vacas			500		242		96		263		
Río San Diego-Est. río San Diego			6162		5031		8537		10298		
Del Río-Jiménez			351		403		1217		1420		
Río San Rodrigo			2270		2386		2296		2150		
Jiménez-Piedras Negras			1354		53		74		962		
Río Escondido-Est. Hidrométrica	6100	6000	4250		4142		4231		4160		
P. Negras-El Indio (Vicente Gro.)			243		86		179		747		
El Indio-El Jardín (Villa Hgo.)			2997		501		248		1712		
Vilal Hidalgo-Nuevo Laredo					1308		1235		2395		
Río Salado-Presa Carranza			24834		24800		14487				
Río Salado-Carret. Ribereña	24838	35109	27559		21309						
Nvo. Laredo-Presa Falcón	40600	51500	3756		1193		3083		1762		
Río Alamo-Est. Hidrom. Mier			3100		3100		3100		3100		
Zapata-San Pedro de Roma (Cd. Miguel Alemán)	4100	4400									
Río San Juan-Arriba-Presa Marte R. Gómez			41500		70880		41500		41500		
Río San Juan-Abajo Presa Marte R. Gómez			65873		41500		66968		66359		
San Pedro de Roma-Río Grande City	72200	134800									
Falcón-Río Grande City (Fuerte Ringgold)			2114		6518		1015		1836		
Río Grande City-Presa Anzalduas							7432		6826		
Canal Anzalduas			196213		181907		193841		195623		
Presa Anzalduas-Est. Progreso			956		2090		2106		2149		
Progreso-San Benito			3285		1075		1926		1530		
Río Grande City-Est. Hidrom. Abojo de Brownsville	7800	40800									
San Benito-Est. Cerca de Matamoros					907		806		1005		
Est. Abajo Brownsville-Golfo de México	0	0	459								
Est. Cerca Matamoros-Golfo de México							30		0		
TOTAL HASTA EL GOLFO DE MEXICO:	250600	361100	536012		516614		537275		524157		
	=====	=====	=====		=====		=====		=====		

NOTA: Se consideran áreas de riego permanentes y eventuales.

## CARACTERISTICAS DE LAS PLANTAS HIDROELECTRICAS

<b>P L A N T A</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>CAPACIDAD (MIN) POR UNIDAD (Mw)</b>	<b>GASTO (m<sup>3</sup>/s) POR UNIDAD</b>
Amistad, Coah.	2	33	66
Falcón, Tamps.	4	42	40
Boquilla, Chih.	4	6.3	44
Colina, Chih.	1	3.2	41
Rosetilla, Chih.	2	10.0	40

**TABLA 2.6**

## RELACION DE ESTACIONES HIDROMETRICAS

NUM.	ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTURA MSNM
1	ACEQUIA MADRE EN CD. JUAREZ	31°45'36"	106°30'32"	-
2	RIO CONCHOS CERCA DE OJINAGA, CHIH.	29°34'57"	104°25'52"	-
3	ABAJO DE PRESA AMISTAD CERCA DE CD. ACUÑA, COAH., Y DEL RIO, TEXAS.	29°25'31"	101°02'25"	274.00
4	DEL RIO, TEX., Y CD. ACUÑA, COAH.	29°19'40"	100°55'50"	264.93
5	ARROYO DE LAS VACAS CERCA DE CD. ACUÑA, COAH.	29°19'45"	100°57'18"	270.00
6	RIO SAN DIEGO CERCA DE JIMENEZ, COAH.	29°04'20"	100°47'35"	253.51
7	CERCA DE JIMENEZ, COAH., Y QUEMADO, TEXAS.	29°03'00"	100°39'50"	234.39
8	RIO SAN RODRIGC	28°53'20"	100°37'55"	228.89
9	PIEDRAS NEGRAS, COAH., Y EAGLE PASS, TEXAS.	28°42'47"	100°30'23"	208.15
10	RIO ESCONDIDO EN VILLA DE FUENTE, COAH.	28°40'05"	100°31'00"	218.96
11	VILLA HIDALGO, COAH., CERCA DE LAREDO, TEXAS.	27°47'55"	99°52'40"	132.90
12	NUEVO LAREDO, TAMPS., Y LAREDO, TEX.	27°29'44"	99°29'25"	105.24
13	RIO SALADO CERCA DE TORTILLAS, TAMPS.	26°50'10"	99°33'50"	99.28
14	RIO ALAMO EN CD. MIER, TAMPS.	26°27'02"	99°09'06"	0
15	RIO SAN JUAN EN CAMARGO, TAMPS.	26°18'38"	98°50'17"	0
16	CANAL ANZALDUAS CERCA DE REYNOS, TAMP.	26°07'52"	98°20'10"	26.31
17	ABAJO DE PRESA ANZALDUAS	26°07'51"	98°19'53"	25.18

TABLA 2.7

RELACION DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS OPERADAS POR LA SECCION  
MEXICANA DE CILA MEXICO/EUA

No. ESTACION	NOMBRE	LAT.	LONG.	ALT.
1	Cd. Juárez, Chih.	31°45'	106°27'	1 127
2	Los Barriles, Chih.	30°55'	105°45'	1 482
3	Garita Kr. 28, Chih.	31°34'	106°28'	1 215
4	Ojinaga, Chih.	29°34'	104°24'	788
5	Porvenir, Chih.	31°14'	105°52'	1 075
6	Vado Cedillos, Chih.	31°12'	105°49'	1 068
7	Samalayuca, Chih.	31°21'	106°28'	1 275
8	Cd. Acuña, Coah.	29°20'	100°53'	274
9	Hacienda San Miguel, Coah.	29°13'	101°30'	-
10	Jiménez, Coah.	29°04'	101°40'	248
11	Presa La Amistad (Abajo) Coah.	29°26'	101°02'	280
12	Presa La Amistad, Coah.	20°27'	101°05'	316
13	San Fernando, Coah.	29°25'	101°43'	52
14	Hacienda el Alamo, N.L.	26°29'	99°46'	-
15	Rancho Vidrios, Tamps.	27°35'	99°37'	136
16	Rancho San Diego, Coah.	28°03'	100°35'	-
17	R. Salado Carr. 85, N.L.	26°53'	99°49'	-
18	R. Salado Carr. Rib. Tamps	26°48'	99°25'	100
19	Colombia, N.L.	27°42'	99°46'	-
20	Nuevo Laredo, Tamps.	27°30'	99°30'	126
21	Sabinas Hidalgo, N.L.	26°30'	100°10'	313
22	San Ignacio, Tamps.	27°04'	99°28'	-
23	Est. Hidrom. Tortillas, Tamps.	26°50'	99°33'	111
24	Garita Km. 26, Tamps.	27°17'	99°37'	-
25	Villa Hidalgo, Coah.	27°47'	00°52'	200
26	Villa Guerrero, Coah.	28°18'	100°23'	210
27	San Rafael Bustamante, N.L.	26°54'	99°30'	-
28	Aniego No. 166, Tamps.	26°46'	99°15'	94
29	Nva. Cd. Guerrero, Tamps.	26°35'	99°15'	106
30	La Bandera, Tamps.	26°42'	99°22'	-
31	Cd. Mier, Tamps.	26°26'	99°09'	80
32	Mier Km. 8, Carr. 12, Tamps.	26°23'	99°14'	-
33	San Javier, N.L.	26°15'	99°25'	-
34	Argüelles, Tamps.	26°11'	98°28'	-
35	Presa Anzaldúas, Tamps.	26°08'	98°20'	32
36	Reynosa Km. 22, Carr. 40, Tamps.	26°00'	98°30'	-
37	El Retamal, Tamps.	26°02'	98°02'	25

ESTACIONES CONTROLADAS POR LA SECCION ESTADOUNIDENSE DE LA CILA MEX/EUA

38	Rancho la Chuparrosa, Coah.	29°30'	101°15'	351
39	Tláloc (P. Amistad), Coah.	29°26'	101°07'	381

	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>SAN GABRIEL, DGO.</b>													
PROM	159.6	1.9	1.2	.9	.8	1.2	3.8	21.5	39.3	64.8	18.9	3.3	2.1
MIN	23.2	.1	.4	.4	0.0	.2	.2	.5	1.1	.3	.2	.3	0.0
CINF	58.1	1.2	.7	.5	.4	.5	.7	4.2	7.3	18.2	3.7	1.5	1.4
MED	115.6	1.7	1.0	.9	.7	.7	2.3	11.1	20.6	30.7	8.5	2.5	1.8
MAX	603.0	4.5	3.0	2.2	3.0	5.6	18.7	133.2	263.1	392.5	159.9	10.0	5.4
CSUP	217.8	2.6	1.6	1.0	1.0	1.4	5.1	33.4	48.2	83.9	16.9	4.6	2.9
DES	132.1	1.1	.6	.4	.6	1.1	4.3	25.2	48.6	81.1	30.2	2.3	1.3
ASI	1.5	.8	1.0	1.2	1.7	2.0	1.6	2.3	2.6	2.3	3.2	1.0	.9
<b>BOQUILLA, CHIH.</b>													
PROM	1190.7	40.6	28.3	26.2	21.7	20.4	37.7	163.9	324.9	365.3	115.5	19.2	26.8
MIN	137.4	7.1	4.5	5.3	2.1	1.2	6.5	20.5	21.1	9.7	5.4	4.1	.5
CINF	682.3	14.0	13.9	16.2	14.8	14.3	17.7	62.4	139.6	113.5	27.4	9.4	10.0
MED	1055.6	18.5	20.3	20.0	20.1	18.4	25.3	107.9	266.7	265.0	54.9	12.6	14.1
MAX	3405.0	455.2	134.5	211.8	96.8	53.9	391.4	844.9	1303.0	1539.0	1004.0	160.4	198.7
CSUP	1404.6	25.3	30.1	24.7	25.5	26.8	39.1	188.0	457.9	558.2	110.2	17.9	23.9
DES	692.7	84.8	24.9	29.5	13.8	9.9	53.6	166.9	259.0	333.0	180.2	23.8	36.6
ASI	1.1	4.4	2.4	4.9	3.1	.8	5.5	2.2	1.7	1.4	3.2	4.4	3.0
<b>FRANCISCO I. MADERO, CHIH.</b>													
PROM	383.8	6.5	5.6	5.6	7.1	6.0	18.2	62.0	106.6	123.6	30.1	6.5	5.9
MIN	83.5	1.8	2.5	1.7	.4	1.2	.9	2.1	9.2	6.9	3.2	1.3	1.7
CINF	206.7	4.7	4.0	3.7	3.1	3.0	4.6	23.1	41.0	34.0	7.8	3.8	4.4
MED	332.9	5.8	5.0	4.9	5.6	4.5	9.2	48.6	76.2	55.9	12.4	5.2	5.6
MAX	1043.9	15.2	15.2	12.3	20.3	18.3	192.4	324.6	352.7	591.5	245.4	17.3	12.3
CSUP	471.8	7.0	6.1	6.2	9.9	7.4	14.2	65.8	151.8	124.1	24.5	7.8	6.8
DES	229.4	2.7	2.4	2.8	5.0	4.2	34.7	64.0	84.3	142.0	45.8	4.0	2.6
ASI	1.1	1.2	1.8	.9	.9	1.3	4.0	2.4	.9	1.8	3.3	1.1	.7

PROM = PROMEDIO  
 MIN = MINIMO  
 CINF = CUARTIL INFERIOR  
 MED = MEDIANA  
 MAX = MAXIMO  
 CSUP = CUARTIL SUPERIOR  
 DES = DESVIACION ESTANDAR  
 ASI = COEFICIENTE DE ASIMETRIA

TABLA 2.9

## ESTADÍSTICAS DE ESCURRILIENTOS EN EL RÍO BRAVO

	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>LUIS L. LEON, CHIH.</b>													
PROM	797.9	38.4	39.6	38.8	31.2	36.4	45.4	68.9	100.8	196.7	113.2	48.3	40.2
MIN	158.4	13.4	13.5	8.8	4.2	5.7	4.5	8.8	13.2	13.9	12.6	12.4	13.7
CINF	498.8	29.8	24.4	24.3	20.9	25.3	29.5	40.1	50.2	54.6	42.4	38.6	33.5
MED	684.5	37.0	38.1	36.8	30.0	36.3	46.2	62.3	68.2	84.3	68.9	45.8	40.6
MAX	2100.5	79.1	104.1	118.8	73.0	86.9	129.9	211.8	369.3	1169.5	880.0	88.7	77.8
CSUP	883.4	43.4	44.9	45.6	35.6	42.1	56.4	82.6	110.4	161.3	93.1	54.2	44.8
DES	451.8	14.4	18.9	19.8	16.4	17.1	24.0	40.9	82.2	267.8	156.8	17.3	13.4
ASI	1.4	.8	1.2	1.4	.5	.5	.9	1.4	1.7	2.4	3.5	.3	.3
<b>AMISTAD, COAH.</b>													
PROM	2436.5	130.5	117.6	134.3	144.9	201.3	212.9	204.0	231.2	431.9	330.3	162.3	135.4
MIN	1059.1	81.6	78.8	80.5	57.5	74.8	66.9	35.8	75.9	58.9	77.9	79.0	72.1
CINF	1851.2	105.8	92.6	100.6	90.5	127.1	148.6	121.0	146.4	170.2	172.7	114.2	11.9
MED	2450.0	123.8	109.4	120.6	122.5	180.7	195.2	181.0	211.6	310.8	230.0	141.0	130.4
MAX	5341.8	288.5	212.3	375.5	400.6	1001.0	516.4	850.0	568.9	2579.7	1834.4	560.6	262.3
CSUP	2863.4	136.4	128.0	138.2	176.2	198.8	237.5	261.5	320.5	524.9	355.3	154.3	153.3
DES	852.4	39.8	32.9	59.0	77.2	155.2	107.6	140.1	106.6	466.7	326.7	91.4	38.5
ASI	1.4	2.0	1.3	2.3	1.4	1.2	2.9	.8	3.2	3.2	2.8	1.1	
<b>VENUSTIANO CARRANZA, COAH.</b>													
PROM	471.3	18.7	15.9	14.0	16.5	30.6	46.6	47.4	41.1	90.6	82.3	42.1	25.5
MIN	35.0	0.0	.3	.3	.5	1.1	.6	.2	.2	.0.	.2	.2	.1
CINF	145.0	2.3	3.3	2.6	4.3	9.0	7.5	4.9	5.7	13.4	8.3	1.7	1.2
MED	309.0	7.8	7.5	9.7	9.4	18.5	14.9	17.2	16.0	36.6	39.5	12.3	8.7
MAX	2523.9	137.9	102.5	68.7	260.8	337.3	437.3	923.3	250.0	844.9	807.9	324.7	236.7
CSUP	608.8	17.2	16.8	15.6	18.7	31.3	42.6	40.4	42.2	93.6	91.5	43.9	20.8
DES	502.0	28.5	22.1	15.9	34.0	47.2	73.6	123.2	59.2	155.1	137.8	70.5	44.3
ASI	2.4	2.4	2.2	1.9	6.4	4.9	3.1	6.2	2.1	3.4	3.5	2.5	2.9

TABLA 2.10

**ESTADISTICAS DE ESCURRIMIENTOS EN EL RIO BRAVO**

	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>FALCON, TAMPS.</b>													
PROM	3267.7	156.6	164.8	161.9	192.6	371.8	318.5	304.7	279.1	527.7	428.0	201.7	160.2
MIN	1021.1	62.5	50.6	38.2	43.8	47.2	.4	24.9	45.6	61.5	35.0	47.9	52.9
CINF	2033.0	107.8	100.4	99.9	107.3	185.8	133.3	109.7	118.5	215.3	214.6	97.3	98.9
MED	3204.4	134.6	157.3	143.1	159.8	290.6	230.6	199.0	191.5	337.8	287.3	151.0	132.6
MAX	8274.1	349.1	558.8	531.7	686.7	1672.0	950.7	1303.0	1262.2	1937.0	3103.5	1091.8	545.5
CSUP	3865.3	198.4	203.8	195.3	205.8	460.5	441.9	379.0	340.5	578.8	431.4	194.7	173.3
DES	1538.7	75.0	93.1	97.6	141.7	307.9	238.1	293.9	236.5	484.8	532.8	195.1	102.6
ASI	1.4	.8	2.0	1.7	1.7	2.3	1.0	1.7	2.3	1.6	3.8	3.0	1.9
<b>LA BOCA, N.L.</b>													
PROM	71.0	3.0	2.5	2.2	1.9	2.8	6.4	6.0	6.4	15.8	14.2	5.8	4.0
MIN	20.0	1.2	.9	.6	.5	.5	.5	.1	.7	1.2	.5	.2	.6
CINF	38.2	1.9	1.7	1.6	1.4	1.4	1.2	1.6	1.9	3.9	4.6	2.7	2.0
MED	59.2	2.5	2.3	2.2	1.7	2.1	2.8	2.8	3.5	9.2	9.4	4.0	3.4
MAX	243.1	7.6	6.5	5.2	6.6	13.9	61.4	32.8	46.5	93.0	109.5	24.8	14.0
CSUP	81.7	3.8	3.2	2.5	2.3	3.4	4.9	5.2	5.3	17.0	14.2	6.9	4.8
DES	51.2	1.4	1.1	1.0	1.1	2.4	11.3	7.5	9.8	19.4	19.7	5.4	3.0
ASI	1.9	1.1	1.4	1.1	2.6	2.9	3.7	2.0	3.0	2.6	3.6	1.9	1.7
<b>MARTE R. GOMEZ, TAMPS.</b>													
PROM	1103.7	29.4	23.2	19.2	37.0	78.6	124.6	78.0	133.7	299.1	186.0	57.5	37.3
MIN	129.2	2.4	3.5	.9	1.6	4.3	3.9	2.9	0.0	4.7	3.3	1.9	.6
CINF	612.8	10.6	8.5	7.4	10.3	30.6	25.6	10.6	18.7	70.2	57.7	16.4	10.5
MED	916.2	19.0	15.2	17.3	20.1	54.9	63.4	36.0	42.8	227.0	106.8	32.6	24.3
MAX	4575.6	115.3	114.5	69.8	357.4	327.8	802.1	590.7	1213.0	2375.4	1210.1	276.1	167.2
CSUP	1361.6	45.2	33.7	26.7	41.9	121.4	139.4	91.9	94.5	339.4	239.4	74.9	47.8
DES	805.5	27.8	22.1	14.8	53.3	67.5	172.5	107.4	258.4	393.4	223.7	64.1	38.5
ASI	2.2	1.4	1.9	1.1	3.9	1.5	2.4	2.5	2.9	3.3	2.6	1.9	1.6

**RIO ALAMO, CD. MIER, TAMPS.**

**ESCURRIMIENTOS (Mm3.)**

	<b>ANUAL</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>PROM</b>	139	3	5	3	5	11	13	10	11	46	23	6	4
<b>MIN</b>	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>C. INF</b>	49	0	0	0	0	2	2	0	2	7	2	0	0
<b>MED</b>	94	1	1	1	1	6	7	2	4	13	6	1	1
<b>C. SUP</b>	140	3	4	4	6	13	15	7	15	57	20	4	5
<b>MAX</b>	747	14	66	11	45	43	59	77	82	536	239	31	20
<b>DES</b>	151	4	12	3	9	13	17	18	17	98	47	9	6

50

**TABLA 2.12**

**ESCURRIMIENTOS "VIRGENES" (Mm3.)**

	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>PRESA LUIS L. LEON, CHIH.</b>													
PROM	572	27	24	16	6	9	24	41	124	180	110	45	38
MIN	129	0	1	0	0	0	0	0	0	9	21	28	17
CINF	298	19	14	8	0	0	4	10	26	34	35	35	31
MED	406	28	19	13	0	3	22	26	36	65	53	41	37
CSUP	604	35	29	21	8	14	29	57	114	185	105	50	40
MAX	1955	65	84	44	35	75	113	203	343	1068	857	85	68
DES	433	17	17	11	11	16	25	43	232	248	164	14	11

**PRESA AMISTAD, COAH. (ESCURRIMIENTOS VIRGENES; MEXICANOS)**

PROM	362.4	17.4	16.3	17.4	21.6	40.4	32.4	28.5	25.1	75.95	44.1	22.3	19.6	51
MIN	125.1	0	0	0	6.8	6.7	11.1	0	0	0	0	0	0	0
CINF	246.3	14.6	13.6	13.8	13.6	18.8	16.6	16.1	15.9	20.7	22.0	15.0	15.5	
MED	314.7	17.2	16.1	16.0	19.2	27.2	51.2	22.6	21.4	28.2	33.1	19.4	18.3	
CSUP	375.6	19.8	19.3	21.8	27.3	33.6	33.0	33.7	32.9	50.5	51.2	24.8	21.4	
MAX	1072.8	47.6	31.2	35.2	60.2	314.9	81.8	131.8	91.2	803.3	160.4	78.2	52.0	
DES	196.8	8.8	5.9	6.7	11.9	58.2	20.0	23.1	18.3	154.9	36.3	14.6	8.4	
ASI	.7	.1	.1	.6	.6	.7	- 2.8	.7	.6	.9	.9	.5	.4	

**PRESA FALCON, TAMPS (ESCURRIMIENTOS VIRGENES; MEXICANOS)**

PROM	1025.4	45.0	36.5	23.6	69.1	123.4	105.0	96.2	73.2	176.5	159.6	73.7	44.1
MIN	174.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CINF	438.4	13.1	10.4	4.0	16.0	22.4	0	0	0.8	43.2	43.1	15.2	6.4
MED	789.6	30.4	23.2	16.0	27.2	44.8	52.0	4.8	20.8	107.2	78.4	30.4	22.4
CSUP	1210.4	56.0	41.6	33.6	62.4	165.6	160.0	60.8	80.0	160.0	152.0	64.0	44.0
MAX	4486.4	140.8	148.0	85.6	400.0	772.8	616.0	446.4	517.6	1371.2	1304.0	596.0	272.8
DES	1011.2	46.4	39.2	27.2	92.0	166.4	148.8	228.0	128.0	288.0	272.0	121.6	66.4
ASI	2.37	.7	1.1	.9	2.3	2.5	2.1	3.1	2.3	3.3	3.4	3.2	2.3

**SITIOS CORRESPONDIENTES A LA ZONIFICACION  
DE AGUAS SUBTERRANEAS (Región Bravo)**

**LOCALIZACION**

**ZONA**

1a	S E de Múzquiz, Coah. (Profundidad de 300 a 900 m). Delicias, Chih. (parte)	Reynosa-Río Bravo, Tamps. "Zona -- Norte". Río Bravo-Dieciocho de -- Marzo-Matamoros, Tamps. (4)
1b	Ciudad, Juárez, Chih. Jiménez Camargo, Chih. (a excepción de algunas áreas cercanas). Villa Ahumada, Chih. Delicias, Chih. (parte)	Montemorelos-Terán, N.L.
1c	(sitios de las sierras a identificar) Sierra Minas Viejas, N.L. Sierra La Silla, N.L.	Sierra Madre Occidente, Coah. N.L.
2a	Juárez, Chih. (4) Casas Grandes, Chih.	
2b	Aldama, Chih. Delicias, Chih. (parte) Cuauhtémoc, Chih. (norte) Peño, Chih.	Nadadores-Escobedo, Coah. (4) Monclova, Coah. (Oeste) Saltillo-Ramos Arizpe, Coah. Monterrey-Villa Aldama-Sabinas Hidalgo-Cerralvo-Ramones-Allende, N.L.
3a	Janos-Ascensión, Chih. (parte)	
3b	Piedras Negras, Coah. Sacramento, Coah. (Norte de Monclova) Nueva Rosita, Sabinas-Palau-Hermanas Progreso-Zacatoza-Guerrero, Coah.	Noroeste Sierra Minas Viejas, N.L. y Baján, Coah. (Sur de Monclova) - Este del Estado de Nuevo León (4), General Treviño, Los Aldama, Mel-- chor Ocampo, Doctor Coss, Los He-- rrera, General Bravo y China.
3c	Samalayuca, Chih.	Cuatro Ciénegas, Coah. (4)
5	Villa Acuña, Coah.	
(4)	Sitios con problemas de calidad del agua	

## DISPONIBILIDAD DE AGUA SUBTERRANEA

V a l l e	Millones de m <sup>2</sup> /año			(*) Millones de m <sup>2</sup> /año		
	Subregión	Extracción Total	Extracción Permanente	Subregión	Extracción Total	Extracción Permanente
Acuña (Sistema), Coah.	4					
Acuíferos en rellenos			40	1	144	167
Acuíferos en calizas		400-500 <sup>1</sup>	400-500	2	495	465-500
Aldama, Chih.	3	54	65 <sup>2</sup>	3	549	315
Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamps.	5	40	35	4	400-500	440-540
Benaventura, Chih.	2	32	25-60	5	40	35
Casas Grandes, Chih.	2	110	100	6		
Cuahtémoc, Chih.	2	100	180	7	74-80 <sup>8</sup>	390
Delicias, Chih.	3	125	250	8	290	475
Gómez Farías, Chih.	2			9	27	30-50
Janos, Chih.	2	73	40	4		
Jiménez Camargo, Chih.	3	370		5		
J. Juárez Valle, Chih.	1	144	167	6		
Nuevo León (Porción Edo. R. VI)	7 y 8					
Acuíferos de Aluvión		184	220			
Acuíferos en Calizas		260	(645)			
Saltillo-Ramos Arizpe, Coah.	9	27	30-50 <sup>7</sup>			
Villa Ahumada, Chih.	Suma:	2099-2199	2317-2471 <sup>9</sup>			
				Suma:	2099-2199	2317-2472 <sup>9</sup>

(\*) Suma que corresponde únicamente a los sitios con evaluación.

1 Descargas de manantiales que se aprovechan actualmente

2 Incluye la estimación de ampliación de captación.

3 Unos 50 millones de m<sup>2</sup>/año se estimaron de evapotranspiración en las lagunas.

4 Sin estudio detallado.

5 Sin cuantificación.

6 Se efectuó una estimación indirecta aproximada de 60 millones de m<sup>2</sup>/año del acuífero inferior.

7 Una interpretación de la referencia citada.

8 Valles intermontanos.

9 Cifra no comprobable con la extracción total por excluir a Jiménez-Camargo aún no cuantificada.

## VOLUMEN DISPONIBLE DEL ALMACENAMIENTO

V a l l e	Subregión	Km <sup>2</sup>	Esesor saturado m.	Esesor saturado mill. m <sup>3</sup>	Coefficiente de almacenamiento o rendimiento específico	Volumen disponible del almacenamiento
Acuña (Sistema), Coah.	4					
Aldama, Chih.	3	1 190	45	53 550	0.06 <sup>1</sup>	3 200
Bajo Río Bajo y Bajo Río San Juan, Tamps.	5	500			0.07 <sup>2</sup>	
Buenaventura, Chih.	2	200			0.05 <sup>3</sup>	
Casas Grandes, Chih.	2	400	50	20 000	0.12 <sup>2</sup>	2 400
Cuahtémoc, Chih.	2	1 670	40	66 800	0.07 <sup>2</sup>	4 700
Delicias, Chih.	3	930	60	55 800	0.1 <sup>2</sup>	5 600
Gómez Farías, Chih.	2	600	35	21 000	0.07 <sup>2</sup>	1 500
Guadalupe, Chih.	2	800	45	36 000	(0.17)	2 500
Huiménez-Camargo, Chih.	3	1 070	40	42 400	0.08 <sup>2</sup>	3 400
Huizotlán, Chih.	1					
Nuevo León (Porción Edo. R. VI)	7 t 8					(1 050) <sup>5</sup>
Acuíferos en aluvión						
Acuíferos de calizas						
Saltillo-Ramos Arizpe, Coah.	9	300			0.03	
Villa Ahumada, Chih.	2	480	55	26 400	0.07	1 800

- 1 Esesor saturado reducido del acuífero en rellenos.
- 2 Coeficiente de almacenamiento =  $f x S_y$ , f factor de corrección,  $S_y=0.15$ .
- 3 Tomado de estudio detallado.
- 4 Hasta una profundidad de nivel dinámico igual a 100 m.
- 5 Volumen correspondiente a 1 m. de abatimiento del nivel estático.
- 6 Suma que corresponde únicamente a los sitios con evaluación.

Subregión	Millones de m <sup>6</sup>	
	Volumen Almacenado	Volumen Disponible
1		
2	12900	
3	12200	
4		
5		
6		
7		300 <sup>5</sup>
8		750 <sup>5</sup>
9		
	12100	1050 <sup>5</sup>

TABLA 3.2

**VALLES CON SINTOMAS DE SOBREEXPLOTACION DEL AGUA  
SUBTERRANEA, ACUIFEROS EN RELLENOS. (Región VI)**

Valle	Extracción (millones m <sup>3</sup> /año <sup>2</sup> ) Total	Permanente	Profundidad Nivel Estático	Abatimiento medio anual	Referencias
Jiménez Camargo	370	2/	5-80	0.63 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> 1.73 <sup>4</sup> / <sub>5</sub>	8.6
Villa Ahumada	180	120		0.6	8.2
Aldama	54	65	5-45	0.5 - 1 <sup>5</sup>	8.5
Janos	73	40	10-30	1	8.7
Casas Grandes	111 <sup>6</sup> / <sub>7</sub>	100	10-20	2	8.7
Ciudad Juárez	45 <sup>7</sup> / <sub>8</sub>			1.5 - 2	8.12

1 Uso predominantemente agrícola

2 Desconocida

3 Río Florido

4 Col. Búfalo

5 Datos de 20 años.

6 Se supone mala distribución del bombeo

7 Pozos para abastecer la Ciudad en 1973. Bombeo intenso en El Paso, aquí no se incluye el Valle, por lo que se considera efecto limitado a la Ciudad.

TABLA 3.3

## PRESA MARTE R. GOMEZ, TAMPS.

(DERRAMES Mm3.)

	ANUAL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROM	351.6	7.7	4.8	1.8	1.1	4.6	14.2	26.2	33.1	113.9	103.8	27.3	13.5
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C. INF.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
MED	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
C. SUP.	540.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.2	86.5	22.9	6.1
MAX	3273.2	88.3	62.2	30.7	39.6	138.5	338.6	328.0	547.0	2239.0	988.1	252.5	151.0
DES	653.0	20.5	14.2	6.2	6.1	21.8	57.6	72.0	100.3	358.5	223.3	54.3	32.7

TABLA 3.4

**CUENCA RIO BRAVO, BALANCE PARA EL: "AÑO NORMAL"**

	OFERTA (Mm3)	DEMANDA* (Mm3)	DIFERENCIA (Mm3)	DIFERENCIA ACU MULADA (Mm3)
<b>SISTEMA CONCHOS</b>				
San Gabriel, Dgo.	115.6	85.0	30.6	30.6
Boquilla, Chih.	1055.6	1233.0	177.4	30.6
Francisco I. Madero, Chih.	332.9	228.0	104.9	135.5
Luis L. León (C.P.), Chih.	406.2	220.0	186.2	321.7
<b>SISTEMA BRAVO</b>				
Amistad, Coah.	+ 314.7	1104.3	60.0	
Falcón (C.P.), Tam.	+ 789.6	1300.0	1360.0	-255.7
				321.7
<b>SISTEMA SALADO</b>				
Venustiano Carranza, Coah.	309.0	231.0	78.0	399.7
<b>TOTAL</b>	<b>3323.6</b>	<b>3357.0</b>	<b>399.7</b>	
<b>SISTEMA SAN JUAN</b>				
La Boca, N.L.	59.2	42.0	17.2	
Marte R. Gómez, Tam.	916.2	441.0	475.2	
- Aportación Mexicana al Bravo	399.7	Mm3		
- Volumen correspondiente a Estados Unidos (1/3):	133.2			
- Volumen del tratado: 431.7 Mm3				
- Diferencia: - 298.5 Mm3				

+ Volúmenes de México.

\* Promedio de los últimos 5 años (demandas programadas).

C.P.- Cuenca Propia

**CUENCA DEL RIO BRAVO, BALANCE PARA EL: "AÑO CARACTERISTICO"**

	OFERTA (Mm3)	PROB.	DEMANDA* (Mm3)	DIFERENCIA (Mm3)	DIFERENCIA ACUMU LADA (Mm3)
<b>SISTEMA CONCHOS</b>					
San Gabriel, Dgo.	188.1	33%	85.0	103.1	103.1
Boquilla, Chih.	1233.0	33%	1233.0	0.0	103.1
Francisco I. Madero, Chih.	621.4	33%	228.0	393.4	496.5
Luis L. León (C.P.), Chih.	847.7	33%	220.0	627.7	1124.2
<b>SISTEMA BRAVO</b>					
Amistad, Cchh.	+ 354.2	33%	60.0	34.0	1158.2
Falcón, Tam.	+ 1039.8	33%	1300.0		
			1394.0		
			1360.0		
<b>SISTEMA SALADC</b>					
Venustiano Carranza, Coah.	367.9	33%	231.0	136.9	1295.1
<b>TOTAL</b>	<b>4652.1</b>		<b>3357.0</b>	<b>1295.1</b>	
<b>SISTEMA SAN JUAN</b>					
La Boca, N.L.	74.0	33%	42.0	32.0	
Marte R. Gómez, Tam.	1289.8	33%	441.0	848.8	

- Aportación Mexicana al Bravo: 1295.1 Mm3
- Volumen correspondiente a Estados Unidos (1/3): 431.7 Mm3
- Volumen del Tratado: 431.7 Mm3
- Diferencia 0.0 Mm3.

+ Volúmenes de México.

\* Promedio de los últimos 5 años (demandas programadas)

## SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO

## RANGO DE EXTRACCIONES HISTORICAS

<b>PRESA</b>	<b>EXTRACCION MINIMA (Mm3.)</b>	<b>EXTRACCION MAXIMA (Mm3.)</b>
San Gabriel, Dgo.	39	120
Boquilla, Chih.	360	1378
Fco. I. Madero, Chih.	53	387
Luis L. León, Chih.	155	1048
Amistad, Coah.	525	4370
Venustiano Carranza, Coah.	9	399
Falcón, Tamps.	1410	2930
La Boca, N.L.	12	176
Marte R. Gómez, Tamps.	144	709

## RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

ALTERNATIVAS	C O N C H O S					TOTAL1	V.CARRANZA	VOL. USA	B A J O		B R A V O		APROV. TOTAL	BERRAME AL MAR	EVAPOR. TOTAL
	S.GABRIEL	BOQUILLA	MADERO	L.LEON	PEGUIS				MONTERREY	B.SN.JUAN	B.BRAVO	TOTAL 2			
VAR. 9. SIUSA. NOBB	120	1021	305	200	(139)	1646	248	432	186	758	1436	2300	4706	1308	519
VAR. 9. NOUSA. NOBB	120	1021	305	200	-	1646	248	339	186	743	1483	2412	4645	1362	533
VAR. 9. NOUSA. SIOB	120	1021	305	200	-	1646	248	339	186	724	1510	2420	4653	1362	526
VAR. 9. SIUSA. SIOB	120	1021	305	200	(139)	1646	248	432	186	716	1504	2406	4732	1305	506
VAR. 12. SIUSA. NOBB (BCP)	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	588	940	1135	2663	4990	1107	619
VAR. 12. NOUSA. NOBB "					-										
VAR. 12. NOUSA. SIOB "					-										
VAR. 12. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	586	827	1288	2701	5028	1107	600
VAR. 11. SIUSA. NOBB (CP)	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	186	778	1339	2303	4630	1277	613
VAR. 11. NOUSA. NOBB "					-										
VAR. 11. NOUSA. SIOB "					-										
VAR. 11. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	186	718	1428	2332	4659	1277	595
VAR. 11. SIUSA. NOBB (BP)	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	588	891	1140	2619	4946	1185	561
VAR. 11. NOUSA. NOBB "					-										
VAR. 11. NOUSA. SIOB "					-										
VAR. 11. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	586	842	1248	2676	5003	1169	539
VAR. 11. SIUSA. NOBB (BC)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	589	951	1165	2705	5030	1107	593
VAR. 11. NOUSA. NOBB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	592	951	1228	2771	5004	1141	002
VAR. 11. NOUSA. SIOB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	590	918	1269	2777	5010	1151	590
VAR. 11. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	588	855	1276	2719	5044	1113	579
VAR. 10. SIUSA. NOBB (P)	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	186	762	1336	2284	4611	1343	553
VAR. 10. NOUSA. NOBB "	120	1021	305		-										
VAR. 10. NOUSA. SIOB "					-										
VAR. 10. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(120)	1646	248	433	186	737	1368	2291	4618	1337	547
VAR. 10. SIUSA. NOBB (B)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	433	589	891	1170	2650	5987	1213	538
VAR. 10. NOUSA. NOBB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	590	892	1229	2711	4944	1235	541
VAR. 10. NOUSA. SIOB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	589	838	1327	2754	4887	1232	519
VAR. 10. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	587	848	1259	2694	5019	1189	510
VAR. 10. SIUSA. NOBB (C)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	186	792	1349	2327	4652	1293	525
VAR. 10. NOUSA. NOBB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	186	783	1387	2356	4589	1344	600
VAR. 10. NOUSA. SIOB "	120	1021	305	200	-	1646	248	339	186	724	1576	2486	4719	1287	567
VAR. 10. SIUSA. SIOB "	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	186	733	1364	2283	4608	1284	570

TABLA 5.4

## RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES (CONTINUA)

ALTERNATIVAS	S.GABRIEL	C O M C H O S					TOTAL 1	V.CARRANZA	VOL. USA	B A J O			TOTAL 2	APROV. TOTAL	DERRAME AL MAR	EVAPOR. TOTAL
		BOQUILLA	MADERO	L.LEON	PEGUIS					MONTERREY	D.SN.JUAN	D.BRAVO				
VAR. 10. SUSA. SIDB (B)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	481	823	1319	2623	4948	1217	513	
VAR. 10. SUSA. SIDB (B)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	386	813	1348	2547	4872	1245	518	
VAR. 10. SUSA. SIDB (B)	120	1021	305	200	(138)	1646	248	431	286	786	1453	2525	4850	1247	510	
VAR. 10. NUSA. NOOB (B)	120	1021	305	200	-	1646	248	339	483	868	1287	2638	4871	1263	543	
VAR. 10. NUSA. NOOB (B)	120	1021	305	200	-	1646	248	339	384	843	1340	2567	4800	1294	541	
VAR. 10. NUSA. NOOB (B)	120	1021	305	200	-	1646	248	339	286	813	1390	2489	4722	1328	541	
CTE. 9. SUSA. NOOB	104	905	266	200	(110)	1475	181	431	186	703	1278	2167	4254	1435	692	
CTE. 9. NUSA. NOOB	104	905	266	200	-	1475	181	358	186	704	1337	2227	4241	1450	694	
CTE. 9. NUSA. SIDB	104	905	266	200	-	1475	181	358	186	654	1368	2208	4222	1471	696	

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO**  
**DEMANDAS DE RIEGO PRIORITARIAS**

P R E S A	ALMAC. INIC. (Mm3.)	DEMANDAS (Mm3.)		APORTACIONES (Mm3.)		DERRAME PAGO USA (Mm3.)	DEFICIENCIA (%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	110		104		38	4.8	
Boquilla, Chih.	2479	950		905		49	4.8	
Francisco I. Madero, Chih.	323	280		266		79	5.0	
Luis L. León, Chih.	343	200		200		867	0.0	
Amistad, Coah.	911	750		717		119	5.0	
Venustiano Carranza, Coah.	585	190		181		109	4.6	
Falcón, Tamps.	719	1400		1337		466	5.0	
La Boca, N.L.	34	60		60		9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	740		703		344	5.0	
SUMAS		3930		3756		976	4.4	

Volumen destinado al pago =  $976 / 3 = 325$  Mm3. (sin seguir ninguna regla)

Tabla 5.5

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO**

**PAGO PRIORITARIO**

P R E S A	ALMAC. INIC. (Mm3.)	DEMANDAS (Mm3.)		APORTACIONES (Mm3.)		DERRAME PAGO USA (Mm3.)	DEFICIENCIA (%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	110		104		38	4.8	
Boquilla, Chih.	2479	950		905		49	4.8	
Francisco I. Madero, Chih.	323	280		266		79	5.0	
Luis L. León, Chih.	343	200	110	200	110	757	0.0	0.0
Amistad, Coah.	911	690		660		111	5.0	
Venustiano Carranza, Coah.	585	190		181		109	4.6	
Falcón, Tamps.	719	1350		1280		456	5.0	
La Boca, N.L.	34	60		60		9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	40		703		344	5.0	
SUMAS		3880		3699		866	4.7	

Volumen destinado al pago =  $866 / 3 = 289$  Mm3.

Aportaciones Máximas presa Luis L. León: 110 Mm3.

Volumen total máximo a Estados Unidos 432 Mm3.

$432 - 289 - 110 = 31$  Mm3. que se cubren con los retornos de los Distritos de Riego de Luis L. León y V. Carranza.

Tabla 5.6

ALTERNATIVAS: DEMANDA VARIABLE; SISTEMAS DE 11 PRESAS: PAGO A LOS E.U.; NO SE ENVIAN VOLUMENES EXTRARODINARIOS AL BAJO BRAVO.

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO  
OPERACION "OPTIMA"**

P R E S A	ALMAC.INIC. (Mm3)	DEMANDAS (Mm3)		APORTACIONES (Mm3)		DERRAME (Mm3)	DEFICIENCIA(%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	126		120		26	4.5	
Boquilla, Chih.	2480	1066		1021		0	4.2	
Francisco I. Madero, Chih.	323	320		305		49	4.5	
Luis L. León, Chih.	343	200		200	138 (5)	683	0.0	
Amistad, Coah.	911	794 (3)		768		4	3.2	
Venustiano Carranza, Coah.	585	261		248		84	4.8	
Falcón, Tamps.	719	300	1225	270	1164	311	1.2	5.0
La Boca, N.L.	34	186		60	126 (1)	9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	994		72		258	4.3	
Cuchillo, N.L.	600	994 (2)		879		425	0.0	
Las Blancas, Tamps.	310	410		403		9	1.6	
<b>S U M A S :</b>		<b>3863</b>	<b>+ 1225</b>	<b>3578</b>	<b>+ 1290</b>	<b>1107 (4)</b>	<b>4.3</b>	

- (1) Desde la Presa "Cerro Prieto"
- (2) La presa envía primero al San Juan y la Marte R. Gómez complementa el faltante
- (3) Se le extrae para generación subordinado a complementar el riego de Falcón.
- (4) Es la suma de derrames de Falcón, Marte R. Gómez y Alamos, más el 25% de los volúmenes servidos de Falcón y San Juan, volumen que va al mar
- (5) Volumen que se requiere para cumplir en el tratado y el 100% para los E.U.
- (6) En promedio las presas inician con un 79% de llenado.

ALTERNATIVA: DEMANDA VARIABLE; SISTEMA DE 12 PRESAS; PAGO A LOS E.U.; NO SE ENVIAN VOLUMENES EXTRAORDINARIOS AL BAJO BRAVO.

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO  
OPERACION "OPTIMA"**

P R E S A	ALMAC.INIC. (Mm3)	DEMANDAS (Mm3)		APORTACIONES (Mm3)		DERRAME (Mm3)	DEFICIENCIA (%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	126		120		26	4.5	
San Gabriel, Dgo.	2480	1066		1021		0	4.2	
Francisco I. Madero, Chih.	323	320		305		49	4.5	
Luis L. León, Chih.	343	200		200		820	0.0	
Amistad, Coah.	911	778		746		4	4.2	
Venustiano Carranza, Coah.	585	261		248		84	4.8	
Falcón, Tamps.	719	300	1187	269	1134	314	1.5	4.5
La Boca, N.L.	34	186		60	126	9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	985		80		265	4.6	
Pegüis, Chih.	75	120		120 (5)		743	0.0	
Cuchillo, N.L.	600	985		860		442	0.0	
Las Blancas, Tamps.	310	410		403		9	1.6	
<b>S U M A S :</b>		<b>3974</b>	<b>+ 1187</b>	<b>3685</b>	<b>+ 1260</b>	<b>1107</b>	<b>4.2</b>	

(5) Volumen que se requiere para cumplir con el tratado y es el 100% para los E.U.

Nota.- Mismas observaciones de la tabla 25.

TABLA 5.8

ALTERNATIVA: DEMANDA VARIABLE; SISTEMA DE 10 PRESAS; PAGO A LOS E.U.; SE ENVIAN VOLUMENES EXTRAORDINARIOS AL BAJO -- BRAVO.

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO  
OPERACION "OPTIMA"**

P R E S A	ALMAC.INIC. (Mm3)	DEMANDAS (Mm3)		APORTACIONES (Mm3)		DERRAME (Mm3)	DEFICIENCIA (%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	126		120		26	4.5	
Boquilla, Chih.	2480	1066		1021		0	4.2	
Francisco I. Madero, Chih.	323	320		305		49	4.5	
Luis L. León, Chih.	343	200		200	138 (5)	683	0.0	
Amistad, Coah.	911	778		746		4	4.2	8
Venustiano Carranza, Coah.	585	261		248		84	4.8	
Falcón, Tamps.	719	300	1327	268	1198	305	2.1	5.0
La Boca, N.L.	34	186		60	126	9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	891		848	61 (7)	348	4.8	
Las Blancas, Tamps.	310	410		403		9	1.6	
<b>S U M A S :</b>		<b>3760</b>	<b>+ 1327</b>	<b>3473</b>	<b>+ 1523</b>		<b>4.2</b>	

(7) Volumen que se envía al Bajo bravo para complementar demandas de Falcón.

Nota.- Mismas observaciones de la tabla 25.

TABLA 5.9

ALTERNATIVA: DEMANDA VARIABLE; SISTEMA DE 9 PRESAS; PAGO A LOS E.U.; SE ENVIAN VOLUMENES EXTRAORDINARIOS AL BAJO BRAVO

**SIMULACION HIDROLOGICA DEL RIO BRAVO  
OPERACION "OPTIMA"**

P R E S A	ALMAC.INIC. (Mm3)	DEMANDAS (Mm3)		APORTACIONES (Mm3)		DERRAME (Mm3)	DEFICIENCIA (%)	
		1	2	1	2		1	2
San Gabriel, Dgo.	237	126		120		26	4.5	
Boquilla, Chih.	2480	1064		1021		0	4.1	
Francisco I. Madero, Chih.	323	320		305		49	4.5	
Luis L. León, Chih.	343	200	138	200	138	682	0.0	0.0
Amistad, Coah.	911	778		746		4	4.2	
Venustiano Carranza, Coh.	585	261		248		84	4.8	
Falcón, Tamps.	719	1568		1453		311	4.1	67
La Boca, N.L.	34	186		60	126	9	0.0	
Marte R. Gómez, Tamps.	907	753		716		300	4.9	
<b>SUMAS :</b>		<b>4478</b>	<b>+ 138</b>	<b>4123</b>	<b>+ 264</b>		<b>4.9</b>	

Nota.- Mismas observaciones de la tabla 25.

TABLA 5.10

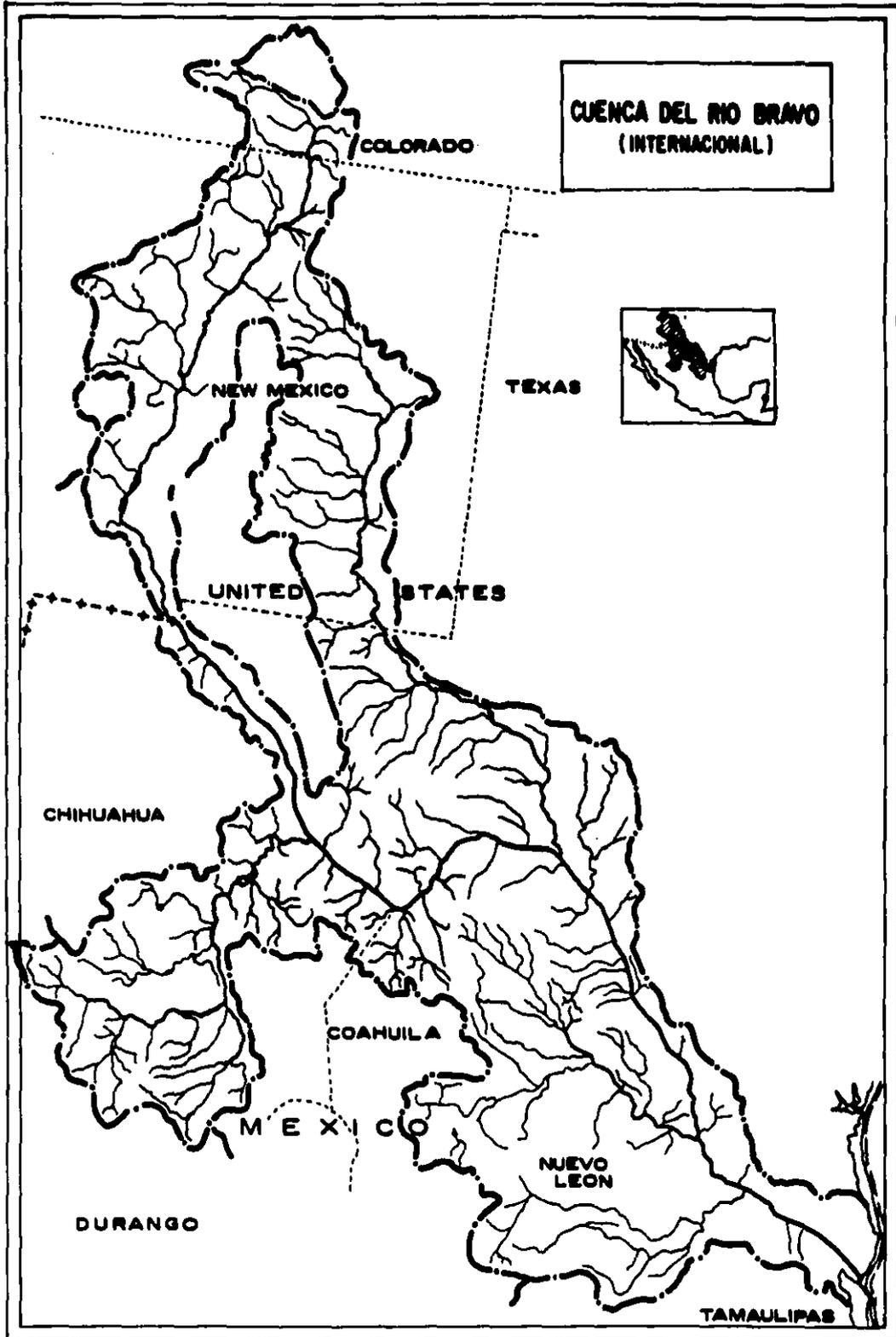
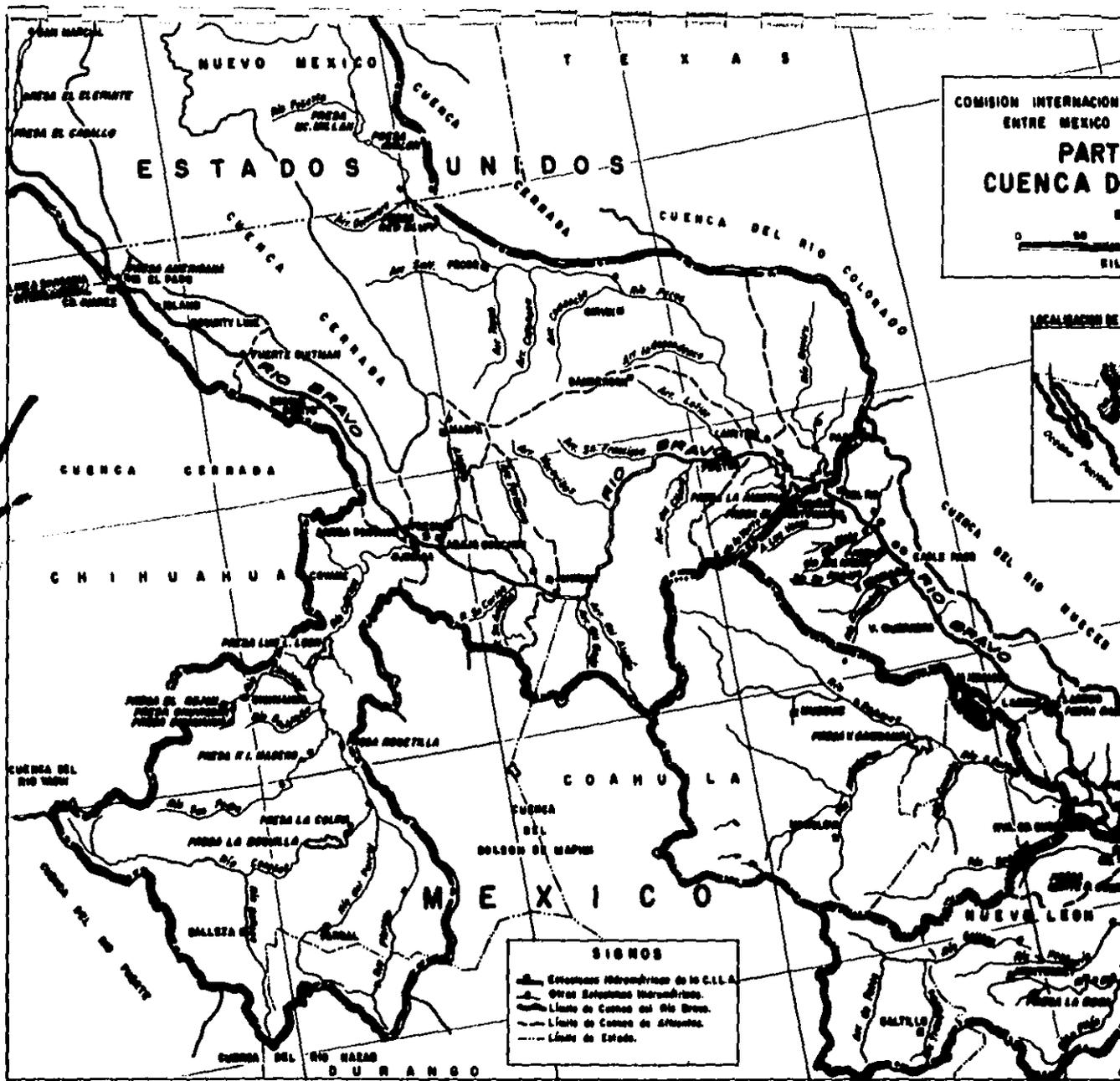


FIGURA 1.1



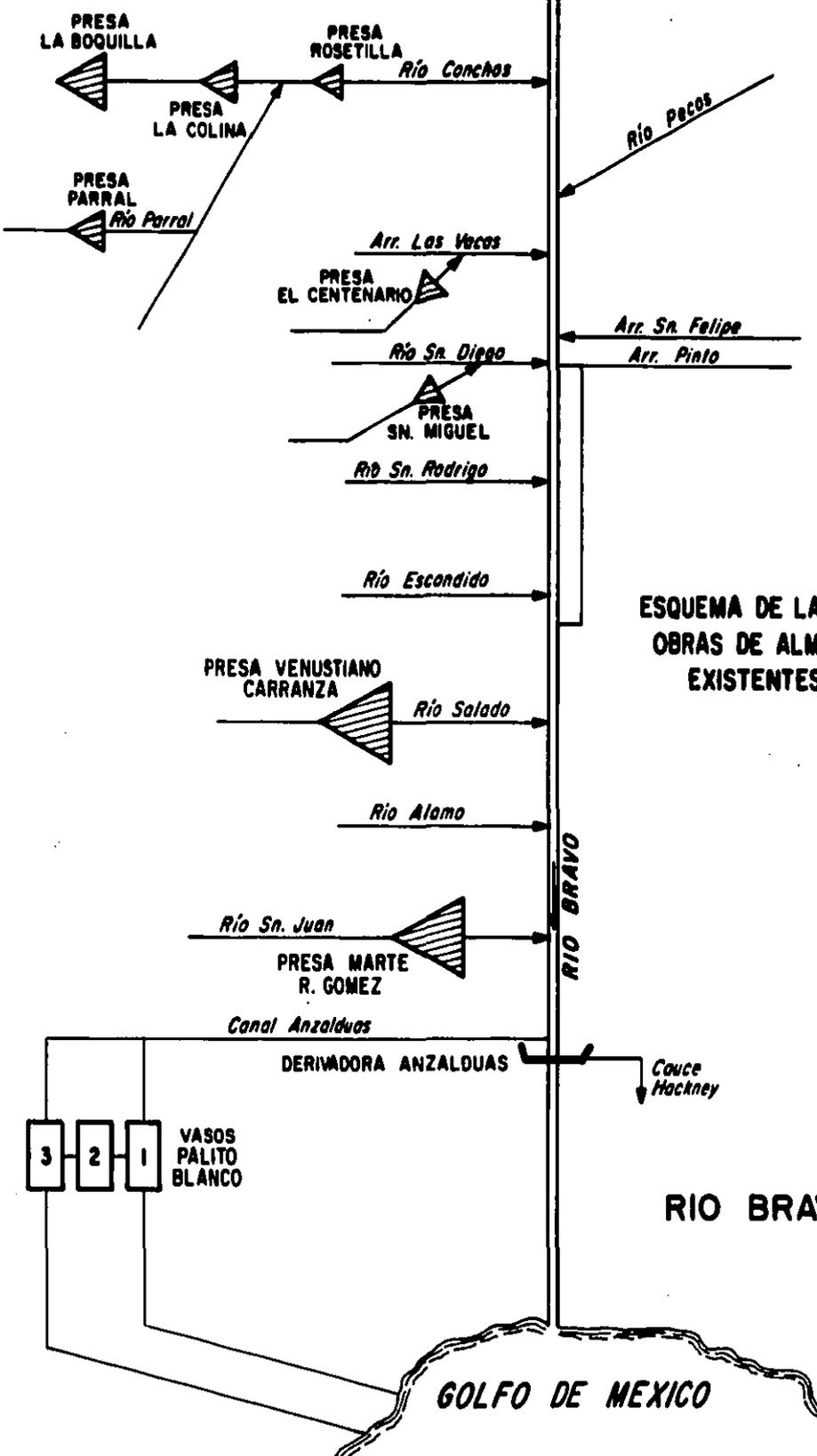
COMISION INTERNACIONAL  
ENTRE MEXICO  
PART  
CUENCA D

0 50  
KIL



**SIGNOS**

- Estaciones Internacionales de la C.I.L.A.
- Otras Estaciones Internacionales.
- Límite de Cuenca del Rio Bravo.
- Límite de Cuenca de Afluente.
- Límite de Estado.

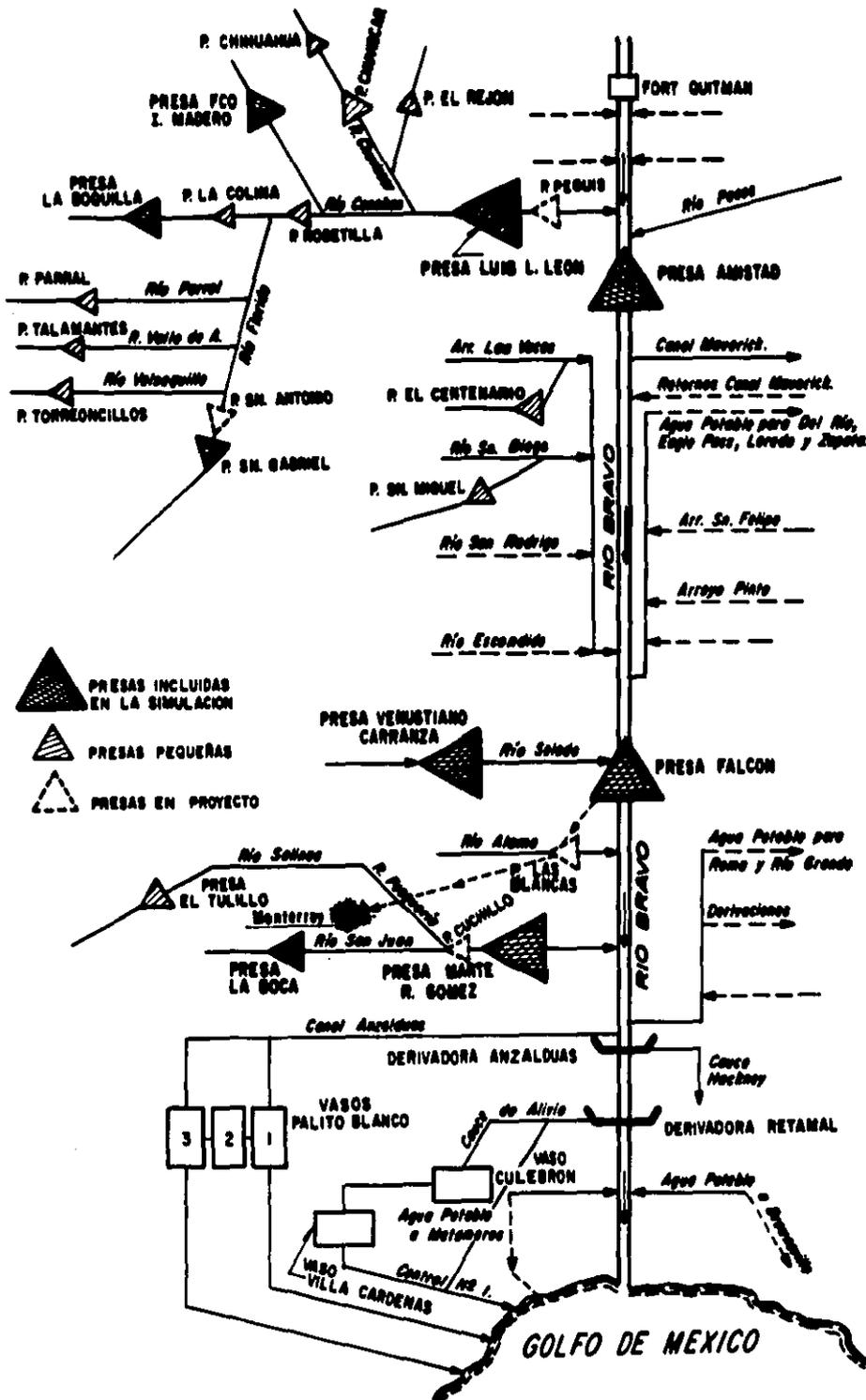


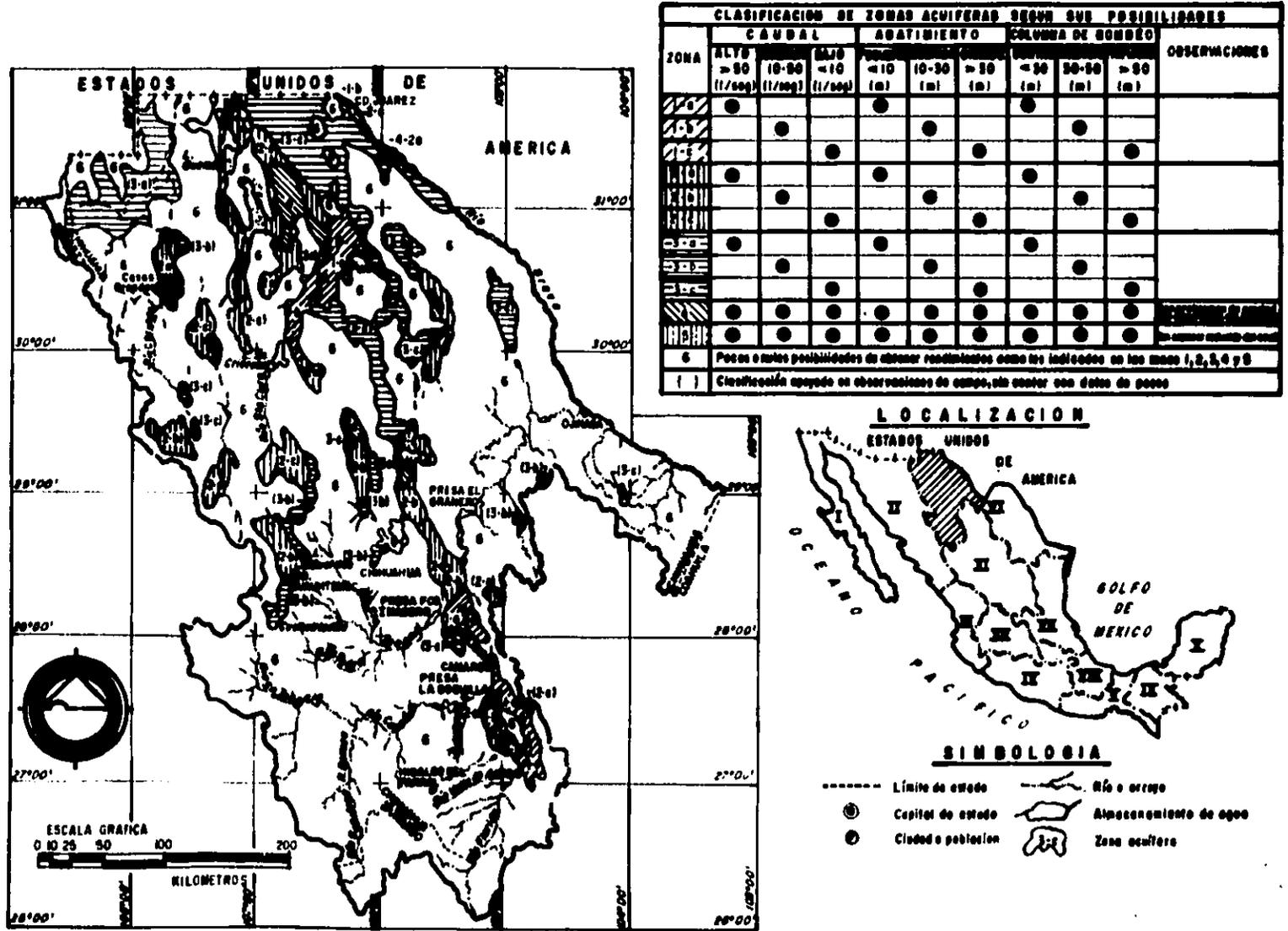
ESQUEMA DE LAS PRINCIPALES OBRAS DE ALMACENAMIENTO EXISTENTES EN 1944.

FIGURA 2.2

RIO BRAVO (1944).

CROQUIS DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL (1988).





**CLASIFICACION DE ZONAS ACUIFERAS SEGUN SUS POSIBILIDADES**

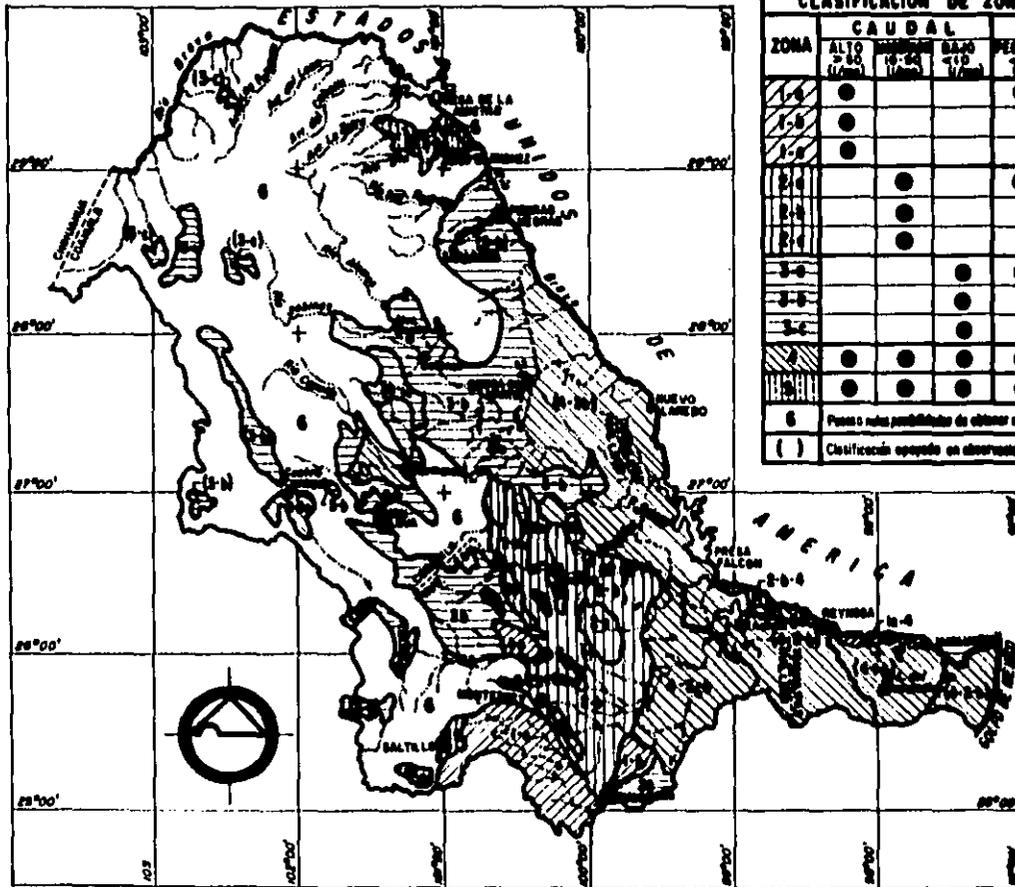
ZONA	CAUDAL			ABATIMIENTO			COLUMNA DE BOMBEO			OBSERVACIONES
	> 80 (l/seg)	10-80 (l/seg)	< 10 (l/seg)	< 10 (m)	10-30 (m)	> 30 (m)	< 30 (m)	30-50 (m)	> 50 (m)	
[Hatched pattern]	●			●			●			
[Diagonal lines /]		●			●			●		
[Diagonal lines \]			●			●			●	
[Vertical lines]	●			●			●			
[Horizontal lines]			●		●			●		
[Dotted pattern]	●			●			●			
[Cross-hatch pattern]	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
[Stippled pattern]	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

6 Posen en las posibilidades de obtener rendimientos como los indicados en las clases 1, 2, 3, 4 y 5  
 1 | Clasificación apoyada en observaciones de campo, sin contar con datos de pozo



**Zonificación de Aguas Subterráneas, Región VI, Parte Chihuahua.**

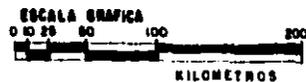
**FIGURA 2.4**



CLASIFICACION DE ZONAS ACUIFERAS SEGUN SUS POSIBILIDADES										
ZONA	CAUDAL			ABATIMIENTO			COLUMNA DE BOMBO			OBSERVACIONES
	ALTO 1000 (l/m <sup>2</sup> )	MEDIO 500 (l/m <sup>2</sup> )	BAJO 100 (l/m <sup>2</sup> )	PEQUEÑO 10 (l/m <sup>2</sup> )	MEDIANO 20 (l/m <sup>2</sup> )	GRANDE 50 (l/m <sup>2</sup> )	GRANDE 100 (l/m <sup>2</sup> )	GRANDE 200 (l/m <sup>2</sup> )	GRANDE 500 (l/m <sup>2</sup> )	
1-A	●			●				●		
1-B	●				●				●	
1-C	●					●				●
2-A		●		●				●		
2-B		●			●				●	
2-C		●				●				●
3-A			●	●				●		
3-B			●		●				●	
3-C			●			●				●
4	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
5	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
6	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

6 Poso o riego por infiltración de obtener resultados como los obtenidos en las zonas 1, 2, 3, 4 y 5.

( ) Clasificación especial en observaciones de campo en sector con datos de pozos.



### SIMBOLOGIA

- Límite de estado
- Capital de estado
- Población o ciudad
- ~ Río o arroyo
- ~ Almacenamiento de agua
- 1-B Zona acuífera

FIGURA 2.5

Zonificación de Aguas Subterráneas, Región VI, Parte Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

# PRESA LAZARO CARDENAS, DGO.

## RELACION ALMACENAMIENTO - EXTRACCIONES HISTORICAS (1946 - 1985)

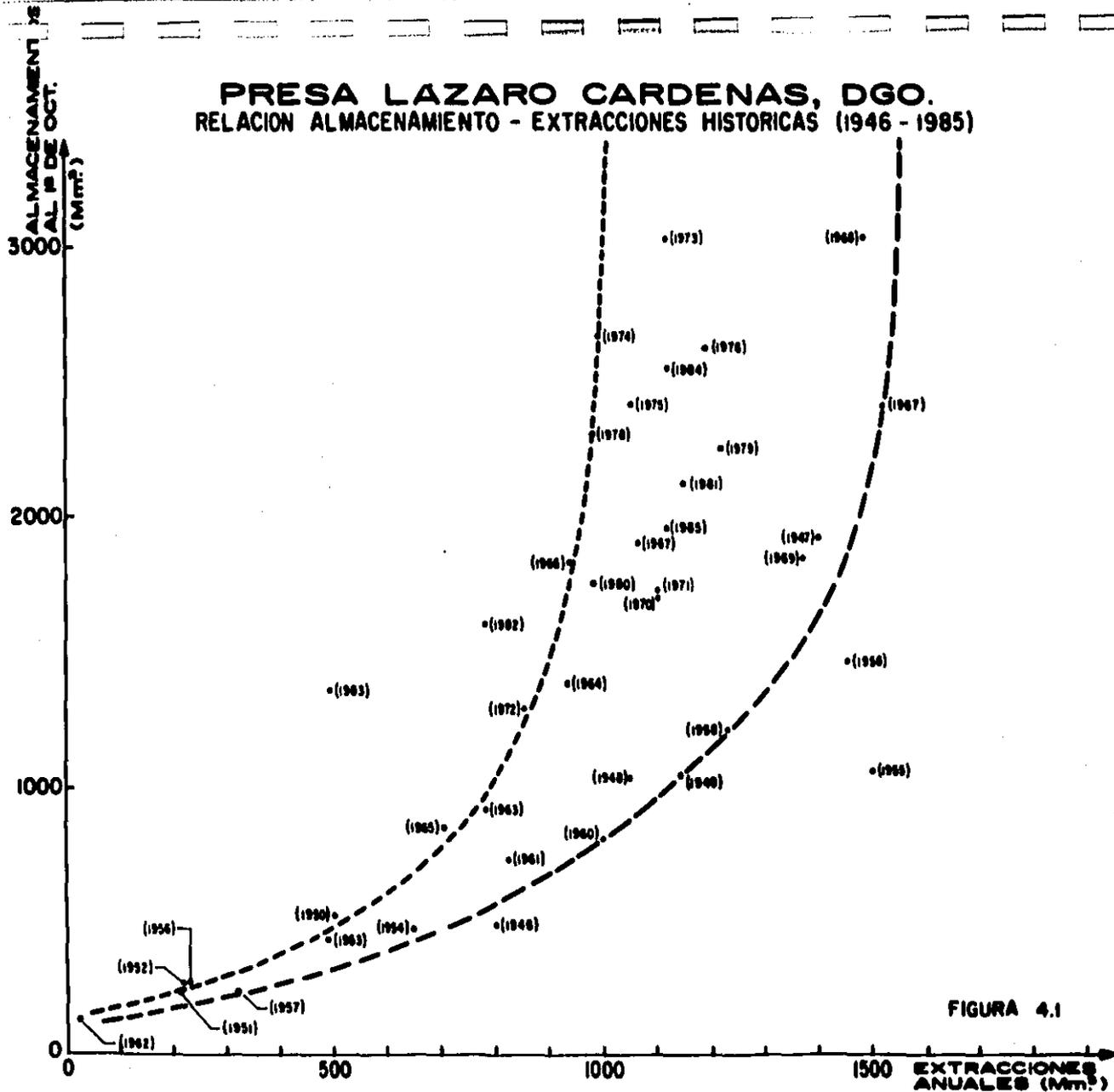


FIGURA 4.1

## DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA "OPTIMA".

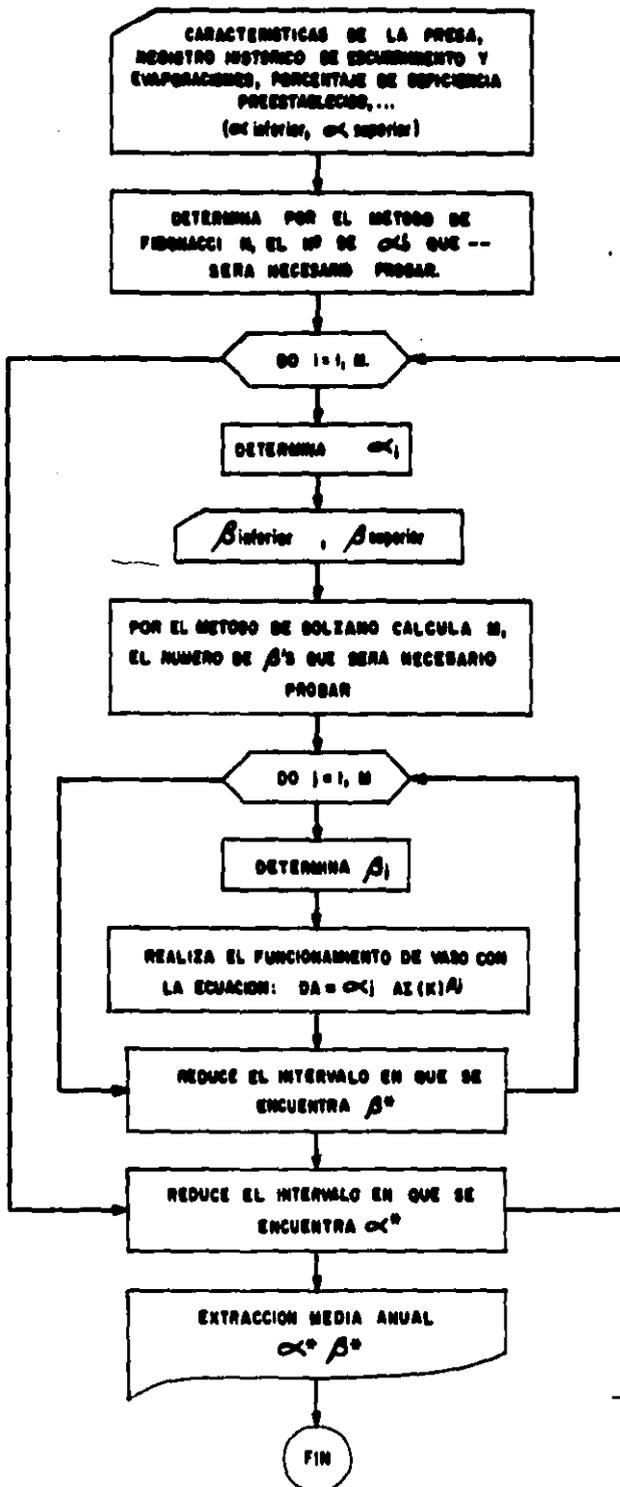
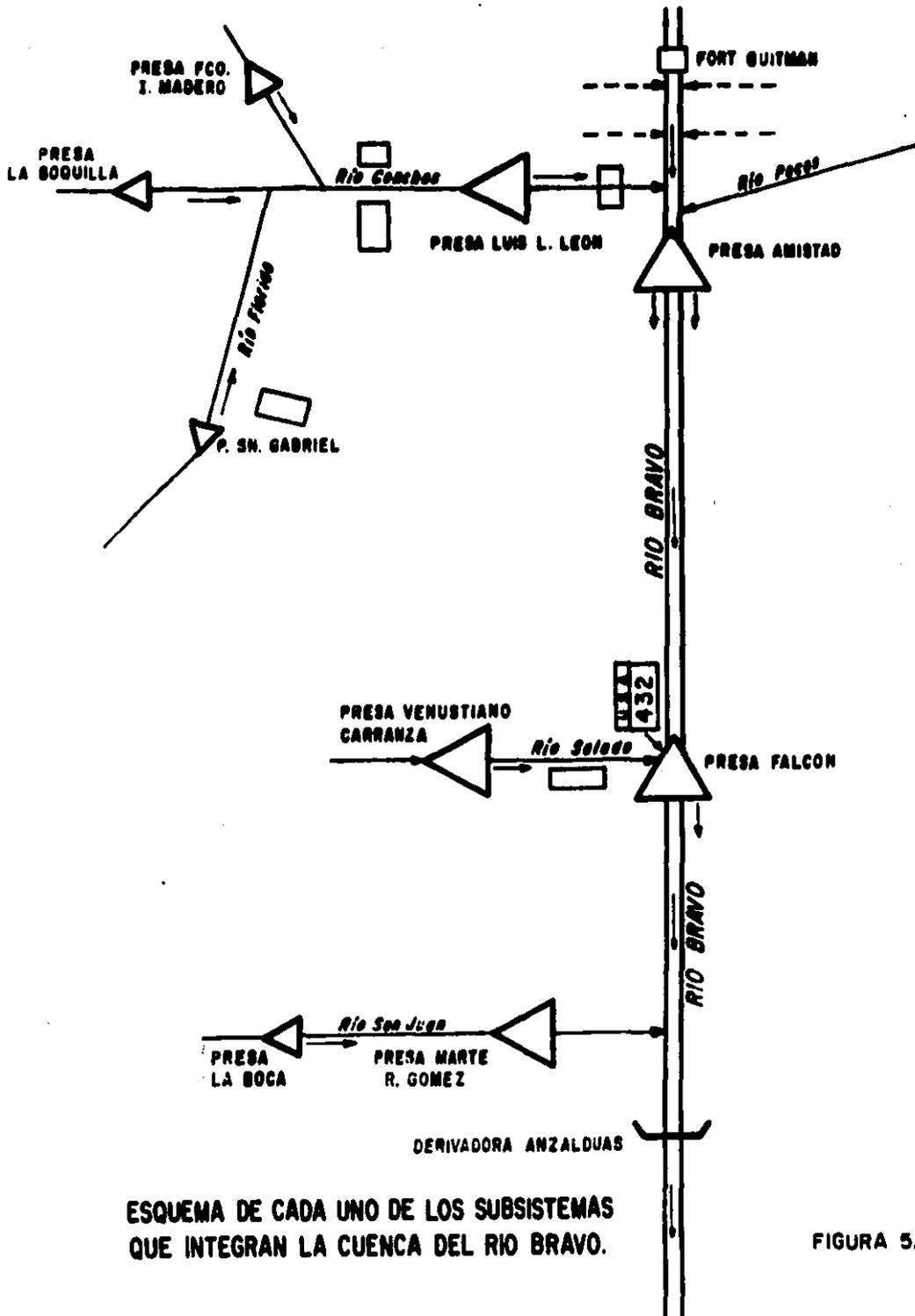


FIGURA 4.2





ESQUEMA DE CADA UNO DE LOS SUBSISTEMAS QUE INTEGRAN LA CUENCA DEL RIO BRAVO.

FIGURA 5.1

# PRESA SAN GABRIEL, DGO.

Relación Almacenamiento Inicial - Extracción Media Anual.

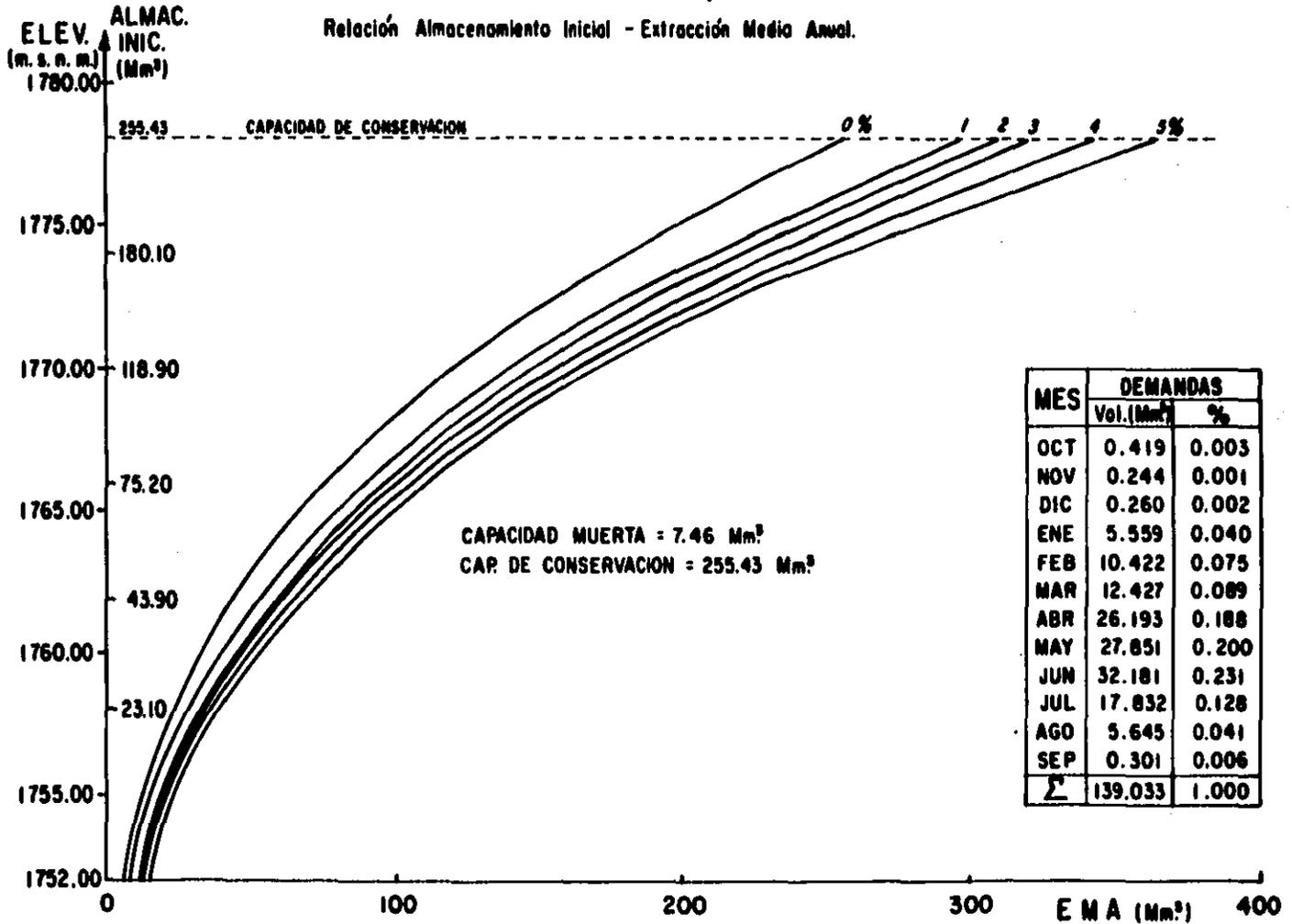


FIGURA 5.2

# PRESA LA BOQUILLA, CHIH.

# SPH.

Relación Almacenamiento Inicial - Extracción media anual.

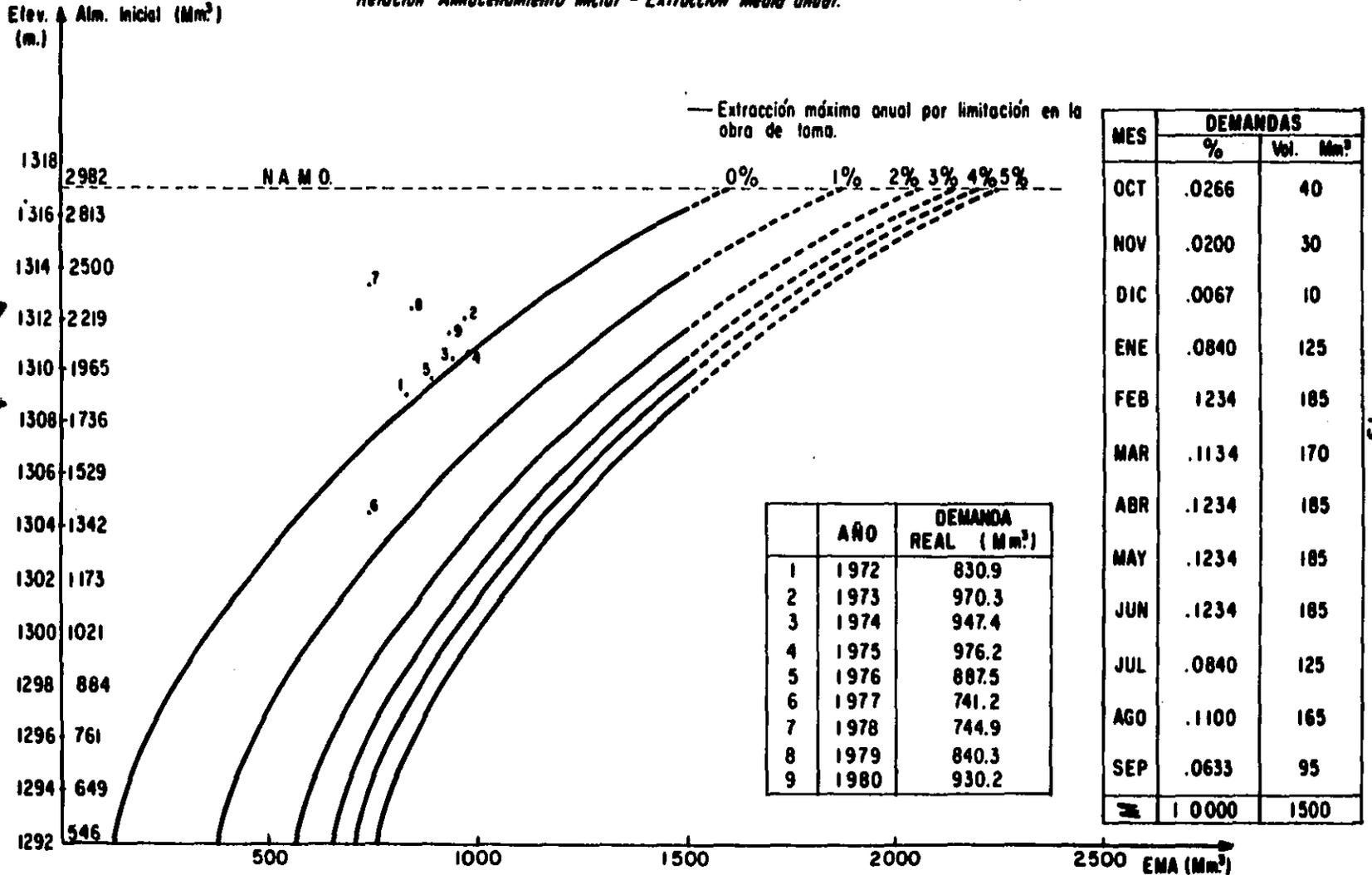
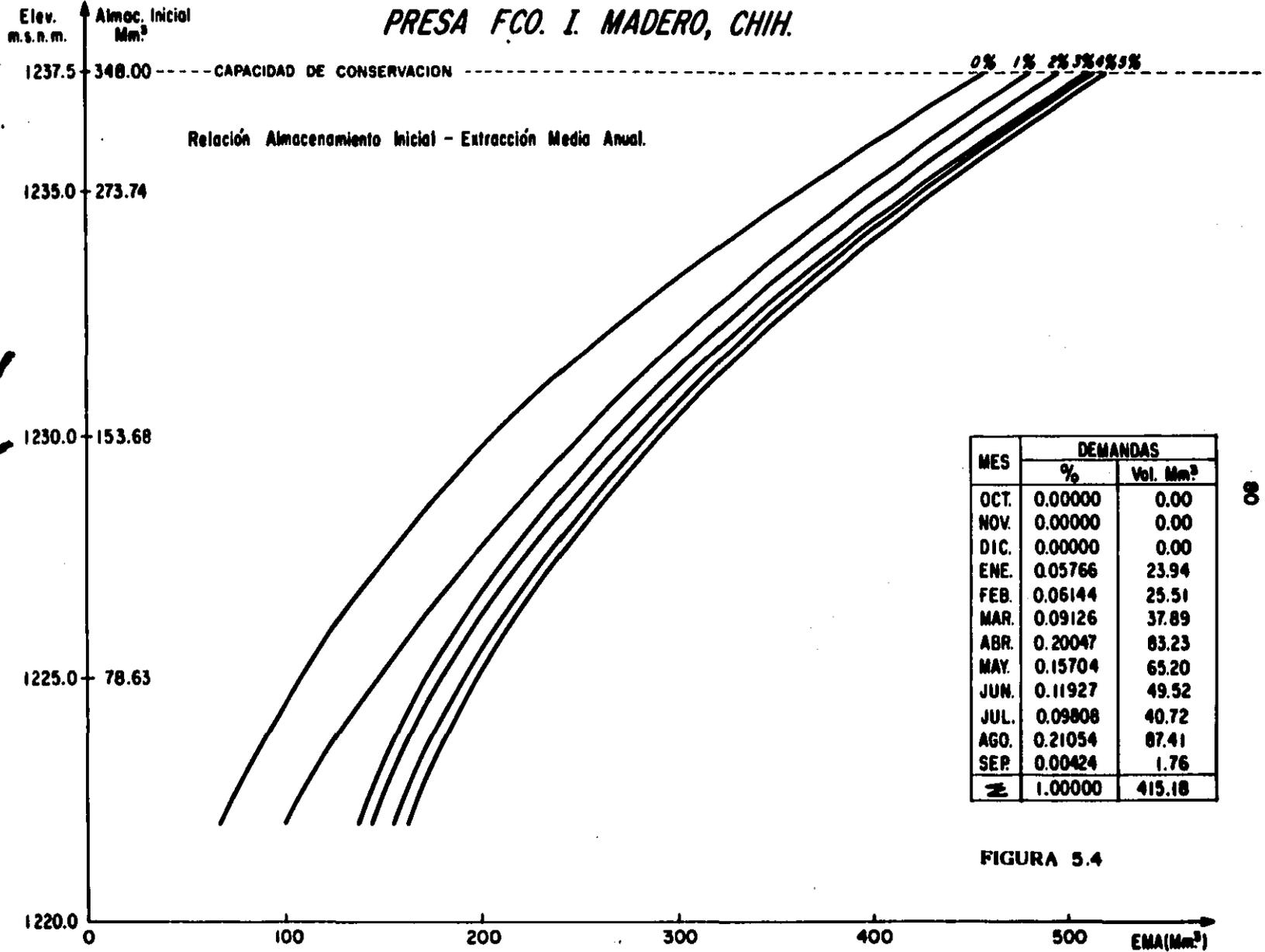


FIGURA 5.3

# PRESA FCO. I. MADERO, CHIH.



MES	DEMANDAS	
	%	Vol. Mm <sup>3</sup>
OCT.	0.00000	0.00
NOV.	0.00000	0.00
DIC.	0.00000	0.00
ENE.	0.05766	23.94
FEB.	0.06144	25.51
MAR.	0.09126	37.89
ABR.	0.20047	83.23
MAY.	0.15704	65.20
JUN.	0.11927	49.52
JUL.	0.09808	40.72
AGO.	0.21054	87.41
SEP.	0.00424	1.76
$\Sigma$	1.00000	415.18

FIGURA 5.4

# PRESA LUIS L. LEON, CHIH.

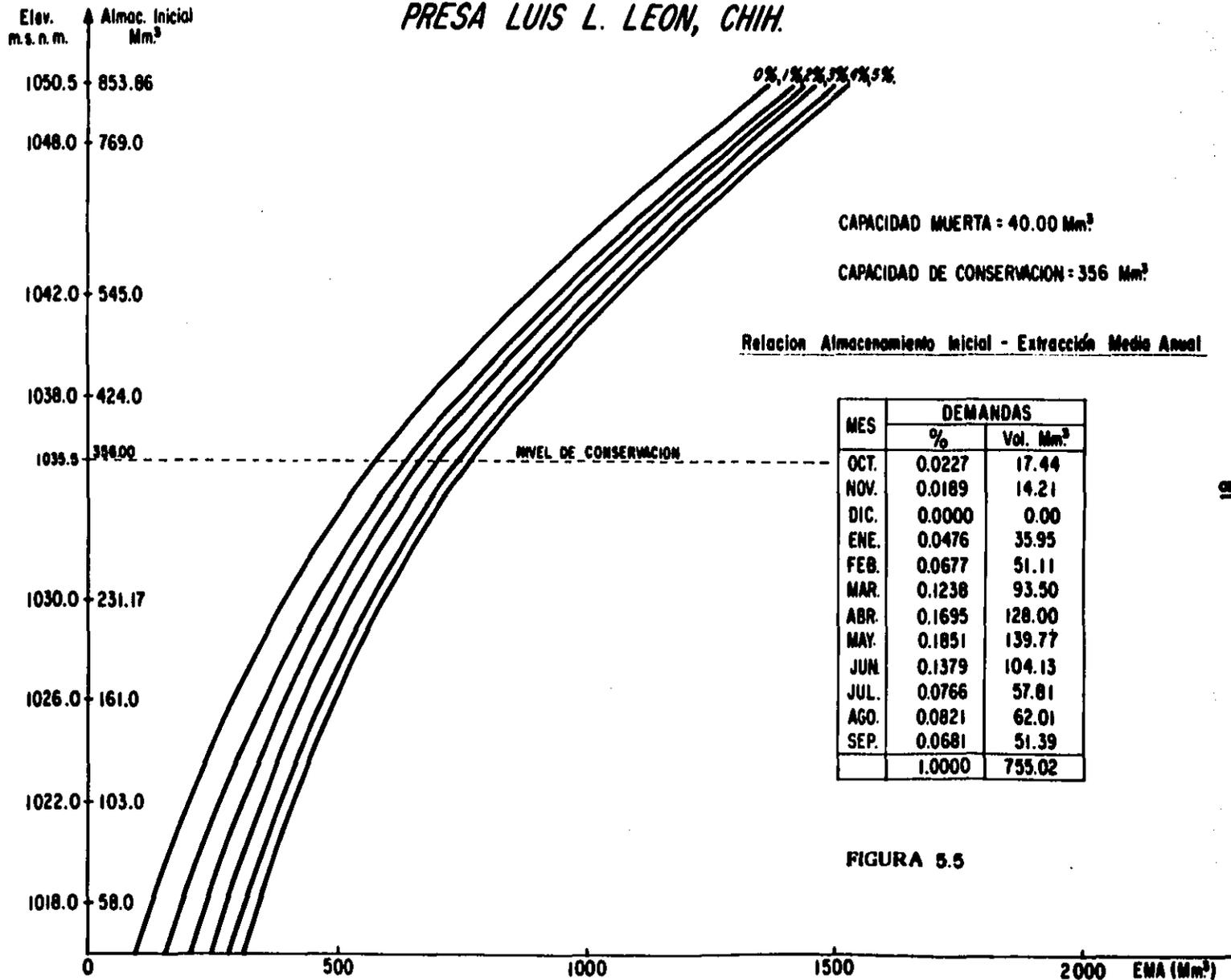
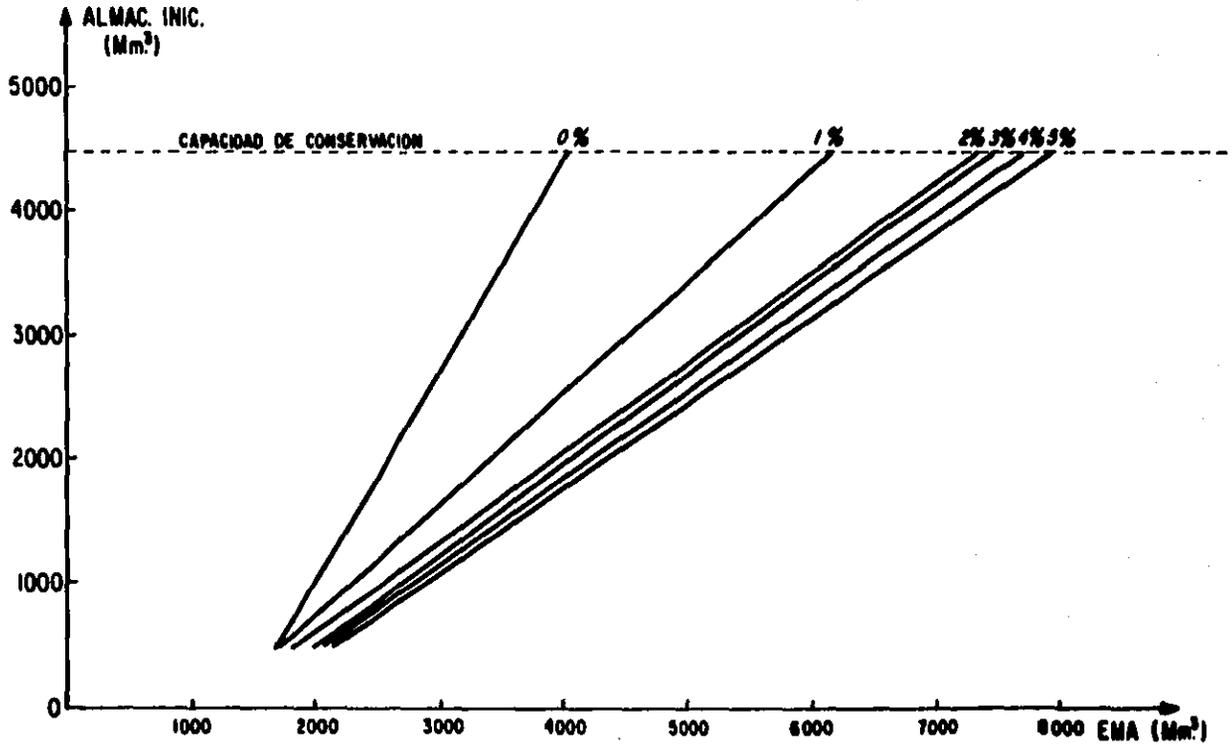


FIGURA 5.5

# PRESA LA AMISTAD, COAH.

Relación Almacenamiento Inicial - Extracción Media Anual.



CAPACIDAD MUERTA = 11.8 Mm<sup>3</sup>

CAP. DE CONSERVACION = 4 474 Mm<sup>3</sup>

FIGURA 56

**PRESA LA AMISTAD, COAH.**  
**RELACION ALMACENAMIENTO AL 1º DE OCTUBRE - EXTRACCION ANUAL.**

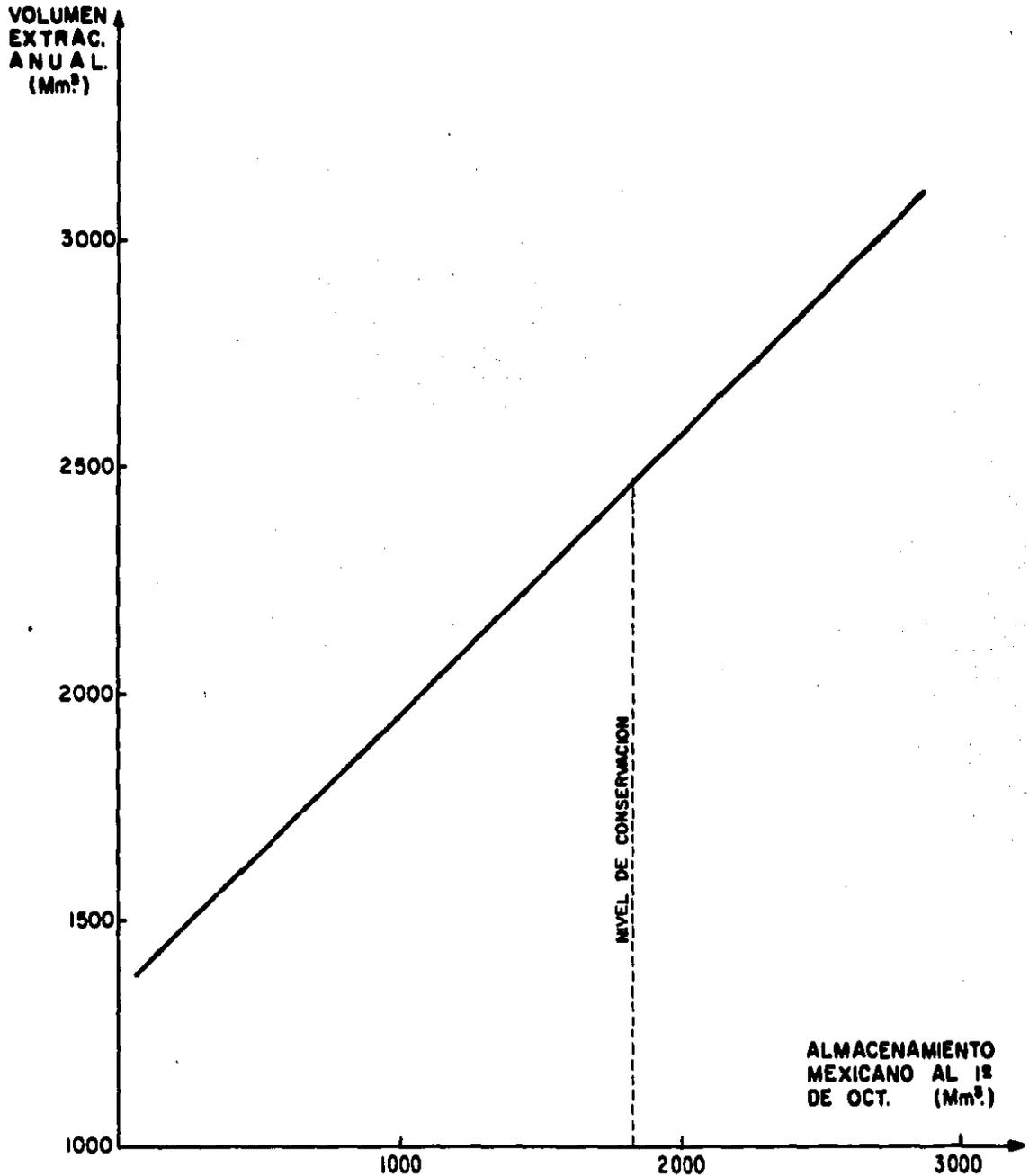


FIGURA 5.7

# PRESA VENUSTIANO CARRANZA, COAH.

Relación Almacenamiento Inicial - Extracción Media Anual.

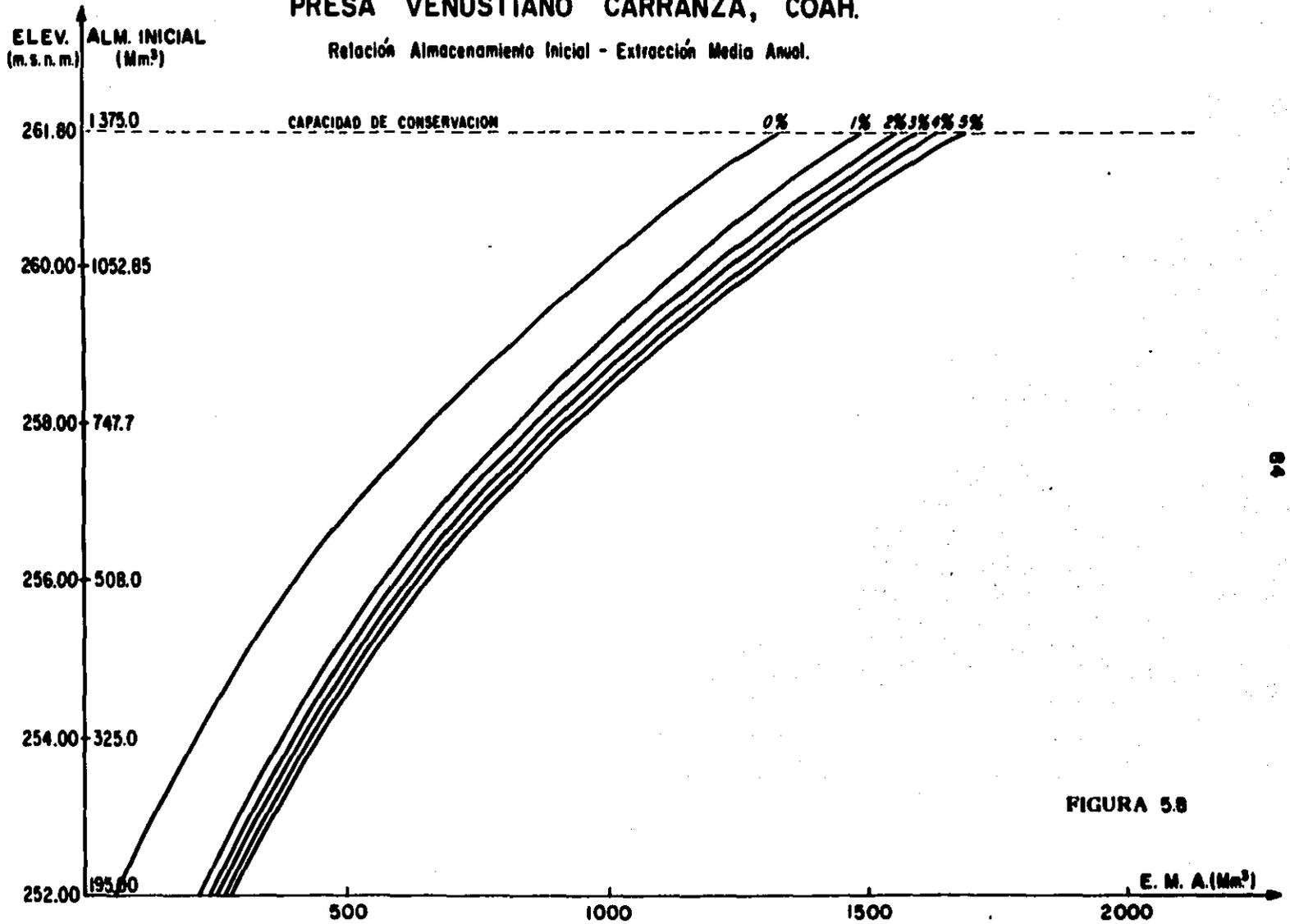
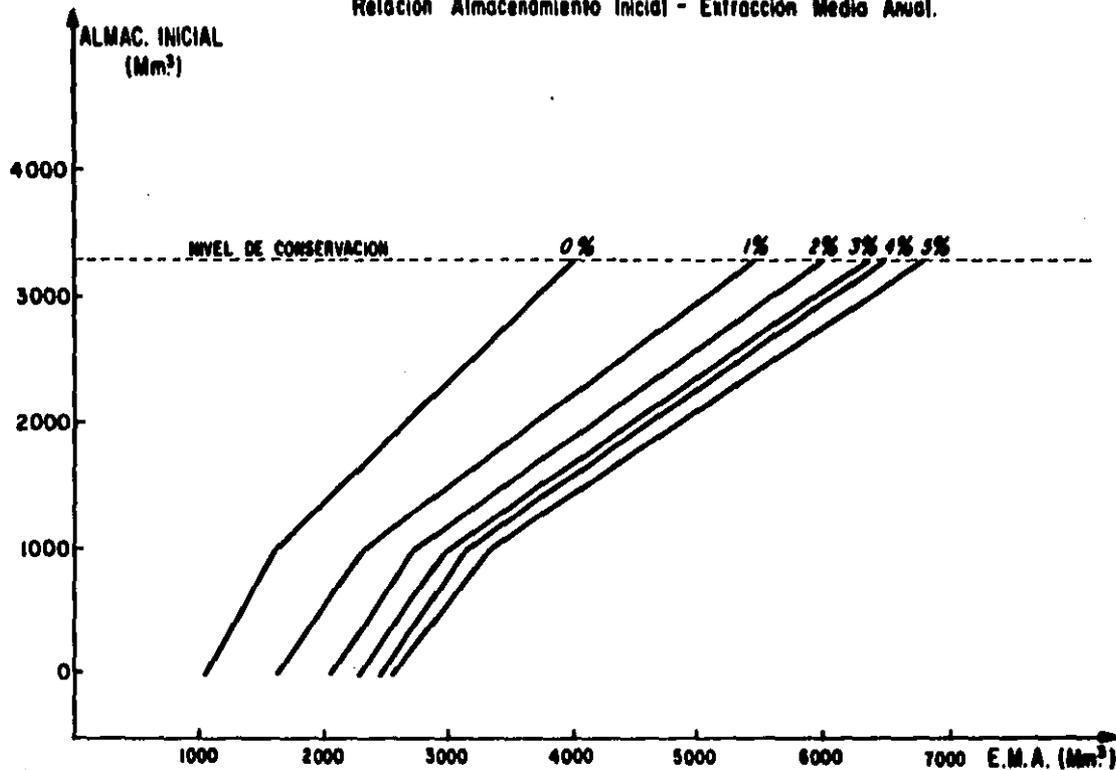


FIGURA 5.8

# PRESA FALCON, TAMPS.

Relación Almacenamiento Inicial - Extracción Media Anual.



ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

FIGURA 5.9

## PRESA "FALCON," TAMPS.

RELACION ALMACENAMIENTO AL 12 DE OCTUBRE - EXTRACCION ANUAL.

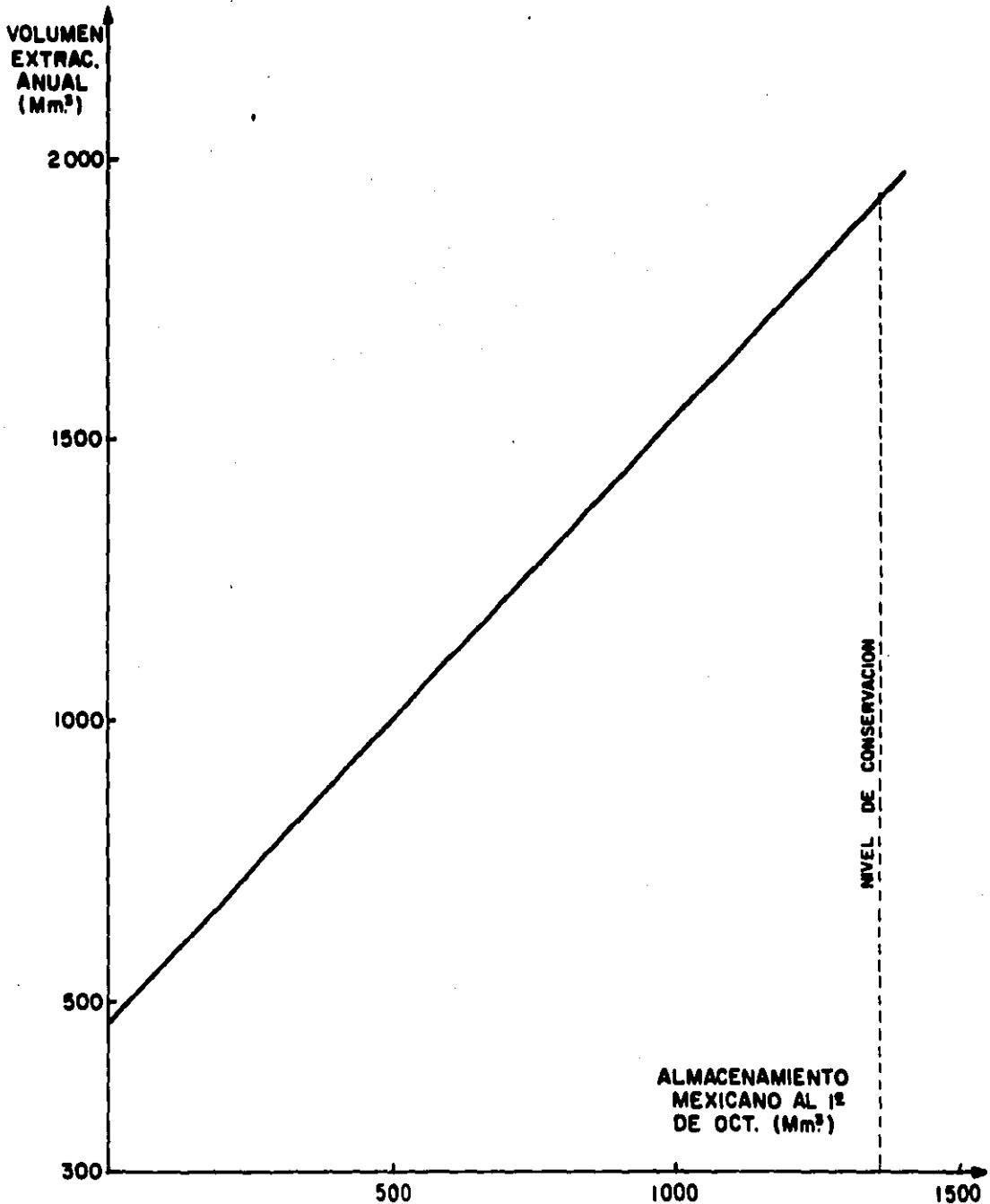
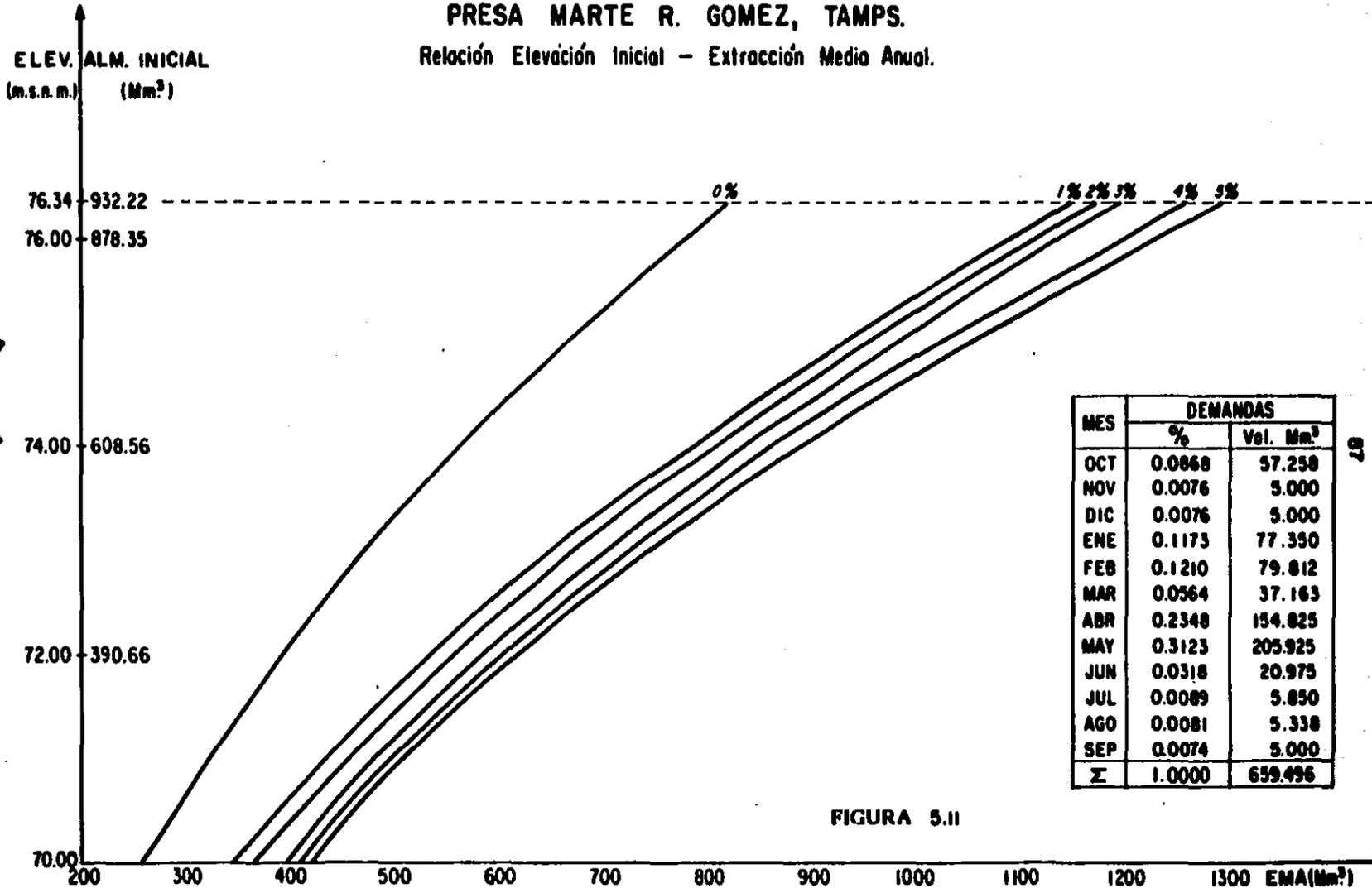


FIGURA 5.10

# PRESA MARTE R. GOMEZ, TAMPS.

Relación Elevación Inicial - Extracción Medio Anual.



MES	DEMANDAS	
	%	Vol. Mm³
OCT	0.0868	57.258
NOV	0.0076	5.000
DIC	0.0076	5.000
ENE	0.1173	77.350
FEB	0.1210	79.812
MAR	0.0564	37.163
ABR	0.2348	154.825
MAY	0.3123	205.925
JUN	0.0318	20.975
JUL	0.0089	5.850
AGO	0.0081	5.338
SEP	0.0074	5.000
<b>Σ</b>	<b>1.0000</b>	<b>659.496</b>

FIGURA 5.11

## APENDICE A

El programa principal lee las variables de entrada, transforma las unidades de los datos, imprime los datos de entrada, controla la ejecución e imprime resultados.

La subrutina FIBONI, calcula el mínimo número de evaluaciones que deben hacerse de una función unimodal (en este caso  $EMA = ( )$ ), para reducir el intervalo de en que se encuentra el máximo de la función, a un valor determinado y fija la posición de las primeras dos evaluaciones (es decir, determina  $x_1$  y  $x_2$ ).

FIBON 2 es una subrutina que reduce, con base en evaluaciones anteriores, el intervalo ( inferior, superior) en que se encuentra el máximo de la función.

En la subrutina FUVASO se efectúa el funcionamiento de vaso, se calculan extracciones, deficiencias, evaporaciones y derrames.

La subrutina INTERPL realiza interpolaciones y extrapolaciones lineales, necesarias para el funcionamiento de vaso.

AJMOPO y AJMOPP1 son subrutinas que transforma registros con enero como mes inicial, a registros con mes inicial cualquiera.

La subrutina ORDENA, ordena de mayor a menor un arreglo cualquiera. Se usa para facilitar la interpretación de resultados.

En la subrutina DEMACTE se calculan las deficiencias que se tendrían con ciertas demandas si se tuvieran en el sitio de la presa derivadora.

## A P E N D I C E B

En la Rutina "REPART" se integran las entradas y salidas y se expresa la política de distribución del agua del sistema, según la descripción de las variables siguientes:

K.- Nº del vaso.

DATO (1,K).- Entrada total al vaso K.

QENT (K,I,J).- Esgurrimiento en el sitio del vaso K; para el año I y el mes J.

QD (1).- Demanda mensual total de la prioritaria 1.

QD (2).- Demanda mensual total de la prioritaria 2.

DATO (2,K).- Demanda mensual para el centro de demanda 1, del vaso K.

DATO (3,K).- Demanda mensual para el centro de demanda 2, del vaso K.

DATO (8,K).- Derrame del vaso K.

DATO (4,K).- Salida real de la prioritaria 1.

DATO (11,K).- Salida real de la prioritaria 2.

APOUS.- Aportación a los EUA (de 1 a 3).

DATO (5,K).- Salida real de la demanda secundaria 1.

DATO (6,K).- Salida real de la demanda secundaria 2.

ALM (1,K).- Almacenamiento inicial del vaso K, en el mes J.

CAMPUE (K).- Capacidad muerta del vaso K.

APOR.- Aportación desde la presa "La Boca" para las demandas de la ciudad de Monterrey.



