

01177  
1  
zej

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD  
DE AUTOPURIFICACION DEL AGUA EN  
EL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA

WALDO PERCI VARGAS BALLESTER

TESIS

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  
(AMBIENTAL)

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F. A 6 DE AGOSTO DE 1987

TESIS CON  
FALLA EN EL ORGANISMO



## **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 está 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.

## RÉSUMEN

\*\*\*\*\*

El río Bravo, a partir de Ciudad Juárez y hasta su desembocadura en el Golfo de México, constituye un límite natural entre México y los Estados Unidos de América. Esta región fronteriza es de singular importancia en las relaciones de ambos países.

El presente estudio sobre la capacidad de autopurificación del agua en el río Bravo, es de carácter preliminar y se aboca íntegramente a la región correspondiente a la cuenca media. De esta, son descritos sus aspectos más importantes. Sustentándose en la información que fue posible recopilar, se realiza la configuración del sistema de calidad hídrica, que representa a la cuenca media. Posteriormente, es seleccionado un modelo de calidad del agua en ríos y se desarrolla un programa computacional denominado RIBUD I; con el, se simula el proceso de autopurificación orgánica del río Bravo. Como resultado, fueron identificados varios tramos que denotan cierto grado de deterioro en sus características cualitativas, debido a los diversos usos de las aguas.

CONTENIDO  
\*\*\*\*\*

	Pag.
Indice de laminas y tablas	1
1. INTRODUCCION	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivos y limitaciones	3
2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO	5
2.1 Ubicacion y superficie	5
2.2 Division politica y poblacion	7
2.3 Principales vias de comunicacion	9
2.4 Geografia fisica	12
2.5 Hidrografia de la cuenca	16
2.6 Estaciones hidrometricas, climatologicas y de monitoreo ubicadas en la cuenca	20
2.7 Usos del agua	27
2.8 Presas internacionales: La Amistad y Falcón	30
3. ANALISIS DE LA INFORMACION RECOPIADA	37
3.1 Demografia de las poblaciones ribereñas	37
3.2 Hidrometria en la cuenca media del rio Bravo	39
3.3 Calidad del agua en las corrientes	40
3.4 Aspectos del saneamiento básico en las poblaciones ribereñas	41
3.5 Principales fuentes contaminantes en la cuenca media del rio Bravo	43

4.	CONFIGURACION DEL SISTEMA "CALIDAD DEL AGUA, RIO BRAVO - CUENCA MEDIA"	45
4.1	Componentes del sistema	45
4.2	Planteamiento esquemático del sistema	49
4.3	Seccionamiento del río	51
5.	MODELO DE SIMULACION DEL PROCESO DE AUTOPURI- FICACION DEL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA	56
5.1	Generalidades	58
5.2	Selección del modelo de simulación	64
5.3	Transformación de los contaminantes orgánicos	66
5.4	Ecuaciones básicas generales	69
5.5	Constantes de reacción que intervienen en el modelo	74
5.6	Aspectos complementarios al modelo	78
5.7	Calibración y validación de un modelo	82
6.	SIMULACION DE LA CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO Y DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO	85
6.1	Información inicial requerida por el programa computacional RIBOD I	85
6.2	Resultados obtenidos con la simulación	86
7.	COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
7.1	Comentarios generales	96
7.2	Conclusiones	97
7.3	Recomendaciones	99

8.	RECONOCIMIENTOS	103
9.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA	105
10.	ANEXOS	110
a.	Tablas y gráficas	111
b.	Diagrama de flujo del programa RIBOD I	136
c.	Formas para la introducción de datos al programa de computación RIBOD 1	145
d.	Tabla 7.1	148

## LAMINAS

		Página
2.1	Cuenca del río bravo	6
2.2	Municipios y condados en las riberas del río Bravo	8
2.3	Vías de comunicación por carretera	11
2.4	Perfil longitudinal del río Bravo - cuenca media	15
2.5	Ubicación de las estaciones: Hidrométricas y climatológicas.	25
2.6	Vistas de la presa La Amistad	33
2.7	Vistas de la presa Falcón	36
3.1	Escurremientos medidos en la represa hidrométrica La Amistad	116
3.2	Escurremientos medidos en la represa hidrométrica Del Río - Ciudad Acuña	118
3.3	Escurremientos medidos en la estación Jiménez	120
3.4	Escurremientos medidos en la estación Piedras Negras - Eagle Pass	122
3.5	Escurremientos medidos en la estación Vado San Antonio (cerca del Indio-Texas, V. Guerrero-Coahuila)	124
3.6	Escurremientos medidos en la estación Villa Hidalgo	126
3.7	Escurremientos medidos en la estación Nuevo Laredo	128
4.1	Principales componentes del sistema "Calidad del agua, río Bravo-cuenca media"	46
4.2	Croquis del seccionamiento del río Bravo-cuenca media	53
4.3	Área drenada en la cuenca media del río Bravo	54
4.4	Variación del escurrimiento medio a lo largo del tramo en la cuenca media	55

	Página
4.5 Variación de la temperatura media del agua a lo largo del tramo en la cuenca media	56
4.6 Variación de la profundidad media a lo largo del tramo en la cuenca media	57
6.1 Variación del nivel de G.D. (corrida I)	91
6.2.a Variación del nivel de G.D. (II)	92
6.2.b Variación de la D.B.O. (II)	93
6.3.a Variación del nivel de G.D. (III)	94
6.3.b Variación de la D.B.O. (III)	95

\*\*\*\*\* C \*\*\*\*\*



## TABLAS

	Página
2.1 Áreas de aporte en la cuenca media del río Bravo	19
2.2 Estaciones hidrométricas en la cuenca media	22
2.3 Estaciones climatológicas en la cuenca media	23
2.4 Volumen de extracciones para usos municipales y generación de energía eléctrica	111
2.5 Gastos extraídos para usos municipales y generación de energía eléctrica	112
2.6 Hidrometría de las aguas en el canal Maverick	113
2.7 Volúmenes de las descargas municipales al río Bravo en su cuenca media	114
2.8 Gastos de las descargas municipales al río Bravo en su cuenca media	114
3.1 Población en las principales ciudades ribereñas de la cuenca media del río Bravo	38
3.2 Características del saneamiento básico de las principales poblaciones ribereñas de la cuenca media del río Bravo	42
<b>3.3 - 3.9 INFORMACION HIDROMÉTRICA REGISTRADA EN:</b>	
3.3 Represa hidrométrica La Amistad	115
3.4 Represa hidrométrica Del Río-Ciudad Acuña	117
3.5 Estación hidrométrica Jiménez	119
3.6 Estación hidrométrica Piedras Negras-E. Pass	121
3.7 Estación hidrométrica Vado San Antonio	123
3.8 Estación hidrométrica Villa Hidalgo	125
3.9 Estación hidrométrica Nuevo Laredo	127

	Página
6.1 Resumen de la hidrometria en la cuenca media del rio Bravo	129
6.2 Gastos y profundidades,medios, en el rio Bravo-cuenca media	132
6.3 Temperatura media del agua, en el rio Bravo cuenca media	133
6.4 Concentración media del oxigeno disuelto en el rio Bravo-cuenca media	134
6.5 Demanda bioquímica de oxigeno en el rio Bravo cuenca media	135
6.6 Forma para la introducción de información al programa de computación RIBOD I. Datos del rio, afluentes, descargas o extracciones	145
6.7 Forma para la introducción de información al programa de computación RIBOD I. Datos de los tramos definidos en el seccionamiento	146
7.1 Parámetros de calidad del agua considerados más importantes para un programa de monitoreo.	148

\*\*\*\*\* O \*\*\*\*\*

## 1. INTRODUCCION

En este capitulo se presentan de forma sucinta aspectos generales del rio Bravo, con énfasis en su cuenca media y orientados a la descripción del presente estudio; también son señalados: objetivos, limitaciones existentes y el rol de actividades más importantes para su realización.

### 1.1 GENERALIDADES

El rio Bravo tiene su origen en las montañas Rocallosas en el suroeste del estado de Colorado, Estados Unidos de América y toca territorio mexicano en Ciudad Juárez, Chih. A partir de este punto y hasta su desembocadura en el Golfo de México se constituye en el límite internacional entre los dos países.

A lo largo del trayecto del rio Bravo en la franja fronteriza entre los Estados Unidos y México se han realizado numerosas obras de control de avenidas y de aprovechamiento para usos múltiples, que a su vez han traído como consecuencia una disminución en los escurrimientos del rio, así como el deterioro de la calidad de sus aguas.

En los aprovechamientos agrícolas, el uso de fertilizantes y pesticidas ha ocasionado que una gran cantidad de residuos sean transportados por drenes y afluentes al rio Bravo. Esta situación se ha visto agravada por las descargas de aguas residuales de las poblaciones ribereñas asentadas en ambos paí-

ses que utilizan al río como cuerpo receptor natural, además de que llegan a abastecerse de él, para consumo doméstico e industrial.

Los distritos de riego también son afectados por las concentraciones de sales existentes en las aguas que utilizan.

Dada la gran importancia geográfica del río Bravo y en virtud al Tratado Internacional de 1944 suscrito entre México y los Estados Unidos, con referencia a los volúmenes de utilización de las aguas; se requiere conocer su comportamiento como cuerpo natural de agua, sujeto a distintos usos y estimar su capacidad de asimilación de aguas residuales. Esto conlleva, considerar acciones tendientes a preservar el nivel de calidad adecuado al desarrollo de la zona ribereña en ambos países.

Realizar un estudio de esta índole, es sumamente complejo, dada la diversidad de aspectos por considerar: desde el referido al punto de vista de saneamiento del sistema hídrico, que es el que interesa, hasta el de su carácter multidisciplinario.

El presente trabajo, está dedicado al estudio de la capacidad de autodepuración del río Bravo, en el tramo comprendido entre las presas La Amistad y Falcón, fundamentalmente, porque en él existen diversidad de usos relativos a una corriente natural de agua y que se prestan plenamente para el desarrollo de una metodología de trabajo propia, pero basada en estudios anteriormente realizados por connotados investigadores.

## 1.2 OBJETIVOS Y LIMITACIONES

El objetivo primordial del presente trabajo es el estudio de la capacidad de autodepuración del río Bravo en su cuenca media. Es completado a su vez, con el cumplimiento de los objetivos específicos siguientes:

- a) Presentar la metodología del estudio, desarrollada con la ejecución de actividades definidas y coordinadas.
- b) Estudiar la autopurificación del río Bravo en su cuenca media, apoyándose en las técnicas del Enfoque de Sistemas para obtener la configuración de su sistema de calidad.
- c) Seleccionar y adecuar el tipo de modelo de calidad del agua más acorde al tramo en estudio.
- d) Desarrollar un programa de computación en lenguaje BASIC, para el modelo matemático adoptado.
- e) Simular el proceso de autopurificación del río Bravo en su cuenca media.

Para el logro de los objetivos mencionados es importante realizar actividades tales como:

- a) Recopilación de información concerniente a: demografía, saneamiento básico y usos del agua en las poblaciones ribereñas de la cuenca media, hidrometría, climatología, calidad del agua, modelos aplicados en ríos, etc.
- b) Análisis y procesamiento de la información recopilada.

Este trabajo esta limitado al uso de la información que fué posible obtener y que corresponde a:

- a) Hidrometria de la cuenca media. Periodo 1970-1980
- b) Calidad del agua en las corrientes de la cuenca media. Periodo 1976-1980
- c) Demografia de las poblaciones ribereñas.
- d) Cartografia de la cuenca media.
- e) Caracteristicas físicas del río bravo.

## 2. ASPECTOS IMPORTANTES DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

En este capítulo se describen los aspectos más relevantes de la cuenca media del río Bravo, tales como su ubicación geográfica, dimensiones, división política, principales vías de comunicación, geografía física e hidrografía; también, a las estaciones hidrométricas, climatológicas y de monitoreo. Así mismo, se presentan los principales usos del agua en la cuenca media del río Bravo.

### 2.1 UBICACION Y DIMENSIONES

La región hidrológica correspondiente a la cuenca media del río Bravo, está comprendida entre los paralelos Norte 26° y Norte 30° y los meridianos W.G. 99° 33' y W.G. 102° 30'. En territorio estadounidense, comprende la zona suroeste del estado de Texas y en el de México la zona noroeste del estado de Coahuila, el extremo norte del estado de Nuevo León y una pequeña parte del extremo noroeste del estado de Tamaulipas. La superficie de esta cuenca es de 93,592 Km<sup>2</sup>, de los cuales 13,144 Km<sup>2</sup> corresponden al estado de Texas (E.U.A.), 63,388 Km<sup>2</sup> a Coahuila (Méx.), 13,772 Km<sup>2</sup> a Nuevo León (Méx.) y 3,288 Km<sup>2</sup> a Tamaulipas (Méx.). La longitud del río en este tramo es aproximadamente de 481 Km. (26)

La localización de la cuenca media dentro la región que abarca toda la cuenca del río Bravo, se presenta en la lámina 2.1

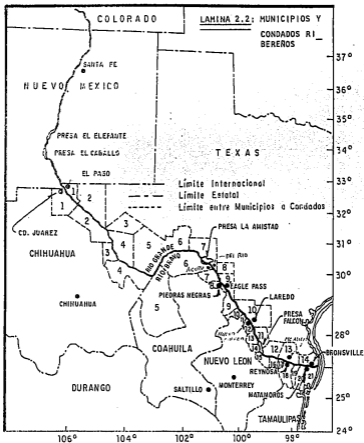




## 2.2 DIVISION POLITICA Y POBLACION

La region comprende parte del estado de Texas (E.U.A.) con sus condados de Valverde, Kinney, Maverick, Dimmit y Webb, y tres estados de Mexico, Coahuila, Nuevo Leon y Tamaulipas, que abarcan los municipios de Villa Acuña, Sacramento, Piedras Negras, Karagoza, Melchor Muzquiz, Nueva Rosita, Sabinas, Norelos, Allende, Villa Union, Guerrero, Villa Juarez, Progreso, Escobedo, Abasolo, San Buenaventura, Villa Frontera, Monclova, Castanos(70%), Cuatro Ciénegas(60%), Hidalgo, Candela en el estado de Coahuila, Colombia, Anahuac, Lampazos de Naranjo, Vallecito(80%), Paras(40%), Sabinas Hidalgo(60%), Villa Aldama, Bustamante y Mina(50%) en el estado de Nuevo Leon y Nuevo Laredo y Ciudad Guerrero en el estado de Tamaulipas. Las poblaciones ribereñas del lado mexicano son: Ciudad Acuña, Jimenez, V. Guerrero, Piedras Negras, El Nogal, Villa Hidalgo y Nuevo Laredo; y las del lado norteamericano: Del Rio, Guisado, Eagle Pass, Laredo, San Ignacio, Nueva Zapata. (26)

La ubicacion de los municipios y condados ribereños al rio Bravo, se presentan en la lamina 2.2.



LAHINA 2.2: MUNICIPIOS Y CONADOS RIBEREROS

MUNICIPIOS RIBEREROS DE MEXICO

CONDADOS RIBEREROS DE E.U.A.

CHIHUAHUA	COAHUILA	NUEVO LEON	TAMAULIPAS	TEXAS
1. Juarez	5. Ocampo	11. Anahuac	12. Nuevo Laredo	18. Rio Bravo
2. P. S. Guerrero	6. Acuña	13. Eserrero	13. Eserrero	19. Valle Hermoso
3. Guadalupe	7. Jimenez	14. Biler	20. Matamoros	
4. Ojinaga	8. P. Negras	15. Miguel Alemán		
	9. Guerrero	16. Camargo		
	10. Hidalgo	17. Blas Ardaiz		
				6. Terrell
				7. Valverde
				8. Kinney
				9. Maverick
				10. Webb
				11. Zapata
				12. Starr
				13. Hidalgo
				14. Cameron
				15. Broussard

## 2.3 PRINCIPALES VIAS DE COMUNICACION

A continuación, se describen de forma general las principales vias de comunicación existentes en la región de la cuenca media del río Bravo.

### 2.3.1 CARRETERAS

En México, la región es atravesada por dos importantes ejes carreteros del país: por la parte central y en dirección norte sur cruza la carretera federal No 57, México-Piedras Negras y por el extremo este y también en dirección Norte Sur cruza la carretera federal No 85 México-Laredo. En la dirección noroeste-sureste y atravesando toda la región, se localiza la carretera estatal Coahuila 73, que parte de Boquillas del Carmen en la frontera con los Estados Unidos de América y concluye en el entronque con la carretera federal México 85, a 72 Km al sur de Nuevo Laredo. En el extremo suroeste de la región se tiene la carretera estatal Coahuila 30, que une a Monclova con San Pedro de las Colonias, en donde entronca con la carretera federal No 40, Matamoros - Mazatlán.

Con esta red de carreteras quedan comunicados los centros de población, agrícolas, mineros, industriales, y comerciales más importantes en la región, con los centros vecinos más importantes, tales como Torreón, Saltillo, Monterrey, Reynosa y Matamoros.

En los Estados Unidos de América, dentro del estado de Texas cuentan con la carretera federal No 90 que une a San Antonio con la presa La Amistad, pasando por Del Rio; la carretera federal No 35 que une San Antonio con Laredo; las carreteras estatales No 83 que vincula a Laredo con Eagle Pass, No 277 que une Del Rio con Eagle Pass y bordea al río Bravo. (26)

Una visión más precisa acerca de la red de carreteras que vincula esta región, es obtenida observando la lámina 2.3.

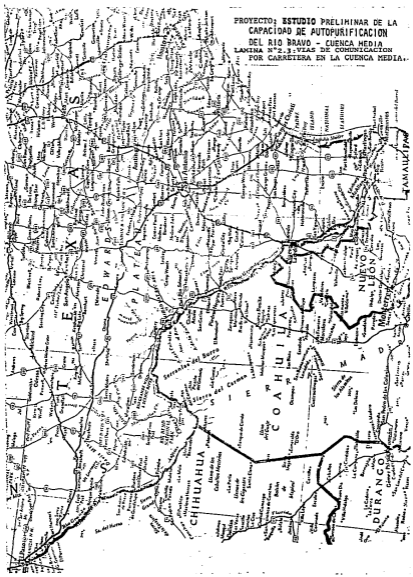
### 2.3.2 FERROCARRILES

En lo concerniente a ferrocarriles, la región es atravesada por dos ejes; el ferrocarril México - Piedras Negras y el ferrocarril México - Nuevo Laredo. Ambas líneas tienen conexión con Monterrey, sitio en el cual entroncan las líneas procedentes de Matamoras, Tampico, San Luis Potosí y Torreón quedando así la región comunicada con el resto del país mexicano.

### 2.3.3 SERVICIOS AEREOS

Cuentan con servicio aéreo comercial las poblaciones de Nuevo Laredo, Laredo, Piedras Negras, Eagle Pass y Monclova.

PROYECTO: ESTUDIO PRELIMINAR DE LA  
 CAPACIDAD DE AUTOPURIFICACION  
 DEL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA  
 LAMINA N° 2.3: VIAS DE COMUNICACION  
 POR CARRETERA EN LA CUENCA MEDIA.



## 2.4 GEOGRAFIA FISICA.

Aspectos importantes Para este estudio, tales como climatología con información general sobre temperatura, humedad, nubosidad, lluvia, clasificación del clima, así como la variación de la altitud sobre el nivel del mar en el tramo definido por la presas La Amistad y Falcón, son descritos a continuación:

### 2.4.1 CLIMATOLOGIA

La región se ubica al norte del trópico de Cáncer, correspondiendo íntegramente a la zona templada.

- a) Temperatura.- La temperatura media anual está comprendida entre los 20 °C y 25 °C. La variación de la temperatura media mensual durante el año es del orden de los 15 °C. La temperatura máxima promedio es del orden de los 45 °C y la mínima varía entre -5 °C en la zona cercana al Golfo de México y 10 °C en la región montañosa. (26)
- b) Humedad.- La humedad relativa anual, expresada en porcentaje oscila entre el 50% al 60% en el estado de Coahuila, hasta el 70% en el estado de Tamaulipas. (26)
- c) Nubosidad.- El número promedio de días nublados en la región varía entre 60 y 90 en el estado de Coahuila y en el sureste de la región estudiada (Nuevo León y Tamaulipas). (26)

d) Lluvia.- La lluvia media anual varia en la región entre 200 mm y 600 mm. La lluvia media de 200 mm corresponde a la zona norte de esta cuenca media. El valor medio de la lluvia anual corresponde a la zona definida por las poblaciones de Piedras Negras y Nuevo Laredo. El mayor valor de la precipitación media anual corresponde a una pequeña zona situada en la Sierra del Burro en la cuenca alta del río Salado afluente del Bravo y fue de 569 mm en el periodo de 1960 a 1969.

De los datos anteriores puede concluirse que el régimen de lluvias en la región es irregular, con una tendencia a presentarse en el verano como lluvias aisladas intensas, con la excepción de la zona montañosa en donde las lluvias son más frecuentes. (26)

e) Clasificación del clima.- El clima queda clasificado según el sistema "W. Köppen" como un tipo de transición del tropical al clima de estepa con lluvias escasas, que llegan sobretodo en verano. No hay lluvias propiamente dichas, excepto en las montañas donde el clima puede clasificarse como templado moderado lluvioso, con invierno seco y lluvias intensas en verano. Según el sistema de "C. W. Thornthwaite" el clima puede clasificarse como seco con invierno y primavera secos, semicálidos con invierno benigno; variando en la zona montañosa donde el clima es semiseco, con invierno y primavera secos, templado con invierno benigno. (26)

#### 2.4.2 PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA

En la lamina 2.4 se presenta el perfil longitudinal del rio Bravo. Inicia en el punto correspondiente a la cortina de la presa La Amistad y concluye en la cortina de la presa Falcón. Abarca una distancia de 481 Km y un descenso de altitud desde 274 m. hasta aproximadamente 90 m sobre el nivel del mar. Esto implica una variación gradual de la pendiente de 0.53, 0.61, 0.49, 0.53, 0.50, 0.37, 0.61 milésimas según los tramos principales en que se subdivide al rio en la cuenca media y en donde se ubican las estaciones hidrométricas instaladas sobre el rio Bravo. (26)

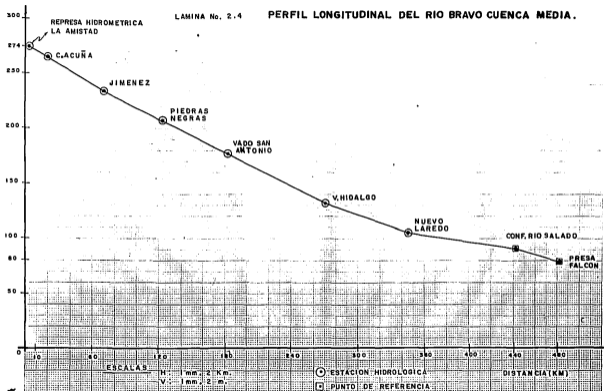


ELEVACION  
mts. SNM

PROYECTO: ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACION DEL RIO BRAVO.

LAMINA No. 2.4

PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO BRAVO CUENCA MEDIA.



## 2.5 HIDROGRAFIA DE LA CUENCA MEDIA

El régimen del río Bravo, en el tramo comprendido dentro de la región, puede considerarse que está totalmente controlado debido a la existencia de los dos grandes embalses situados en sendos extremos del tramo.

El carácter internacional del río Bravo, implica el uso repartido de sus aguas por parte de México y los Estados Unidos mediante el cumplimiento del Tratado Internacional de 1944 suscrito entre ambos países. Por ello, es que se trata de utilizar racionalmente el agua en ambas riberas, para fines diversos como se verá más adelante.

Cabe destacar que el régimen de escurrimiento en esta cuenca media, se modificó trascendentalmente luego de la puesta en operación de la presa La Amistad.

### 2.5.1 RELACION DE AFLUENTES AL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA

En su cuenca media, el río Bravo recibe afluentes de importancia como el Salado, San Diego, San Rodrigo y Escondido procedentes de territorio mexicano y pequeños arroyos de parte de los Estados Unidos.

En esta región, la superficie de aporte es considerablemente mayor en territorio mexicano que la de los Estados Unidos.

La ubicación de los principales afluentes al río Bravo en su cuenca media se presenta en la lámina 4.1.

En cada tramo la descripción es como sigue:

- a) Río Bravo entre la Presa de La Amistad y la estación hidrométrica Del Río - Ciudad Acuña, Coah.

En este tramo, por la ribera norte confluyen el arroyo Milla Ocho, Manantial Mc Kee y el arroyo Ciánegas; en tanto que por la ribera sur lo hacen los manantiales Carmina, Lourdes, Hilda, M-15, M-5, los arroyos Jaboncillos y del Buey, los manantiales Ernestina y Maris y por último el arroyo de la Treintiuna.

- b) Río Bravo entre las estaciones hidrométricas Ciudad Acuña - Del Río y Jiménez.

En la ribera norte son tributarios, los arroyos San Felipe y Pinto. Existe una extracción muy importante mediante el llamado canal Maverick. Por la ribera sur confluyen el arroyo Las Vacas y el río San Diego.

- c) Río Bravo entre las estaciones hidrométricas Jiménez y Piedras Negras.

Por la ribera norte confluyen al Bravo los retornos de la planta hidroeléctrica y del distrito de riego agrícola que pertenecen al condado de Maverick; en tanto que por la ribera sur es afluente el río San Rodrigo.

d) Río Bravo entre las estaciones hidrométricas Piedras Negras y Vado San Antonio, frente a V. Guerrero, Coah.

El río Bravo en su ribera norte recibe los aportes correspondientes a los retornos de riego agrícola II de Maverick y por la sur la confluencia del río Escondido.

e) Río Bravo entre las estaciones hidrométricas Vado San Antonio y Villa Hidalgo, Coah.

En este tramo, el río Bravo recibe por ambas riberas un aporte muy pequeño, proveniente de corrientes casi intermitentes, tales como de los arroyos Castaño, Del Amole y Agua Verde.

f) Río Bravo entre las estaciones hidrométricas Villa Hidalgo y Nuevo Laredo, Tamps.

Este tramo apenas tiene algunos arroyos intermitentes procedentes de ambas márgenes.

g) Río Bravo entre la estación hidrométrica Nuevo Laredo y la presa Falcón.

En la margen norte del Bravo tan sólo existen algunos arroyos intermitentes, en tanto que en la sur está el afluente más importante de la cuenca media, el río Salado.

Las áreas de aporte a la cuenca media del Bravo en ambos países, se presentan en la tabla 2.1 y gráficamente en la lámina 4.3.

TABLA 2.1 AREAS DE APORTE EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO  
EN Km2

Descripción de áreas en el tramo entre presas La Amistad y Falcón	México	E.U.A.	Subtotal
1. Presa La Amistad y estación hidrométrica La Amistad	10.36	12.95	23.31
2. Estación hidrométrica La Amistad a estación Del Rio	259.00	165.40	414.40
3. Arroyo Las Vacas (total)	906.50	0.00	906.50
4. Arroyo San Felipe (total)	0.00	119.14	119.14
5. Arroyo Pinto (total)	0.00	644.91	644.91
6. Rio San Diego (total)	2224.81	0.00	2224.81
7. Rio Bravo entre Del Rio y Jimenez	284.90	1732.71	2017.61
8. Rio San Rodrigo (total)	2716.91	0.00	2716.91
9. Rio Bravo entre Jimenez e Hid. Maverick	295.26	743.33	1038.59
10. Rio Bravo entre hidroeléctrica Maverick y Piedras Negras	82.88	631.96	714.84
11. Rio Escondido (total)	3809.89	0.00	3809.89
12. Rio Bravo entre Piedras Negras y Vado San Antonio	533.54	613.83	1147.37
13. Rio Bravo entre San Antonio y Villa Hidalgo	4358.97	1629.11	5988.08
14. Rio Bravo entre Villa Hidalgo y Nuevo Laredo	1121.47	1572.13	2693.60
15. Rio Salado (total)	60406.57	0.00	60406.57
16. Rio Bravo entre Nuevo Laredo y la presa Falcon	3436.93	5288.78	8725.71
Total			80447.99 13144.25 93592.24

Fuente: Boletines hidrométricos de CILA (7)

## 2.6 ESTACIONES HIDROMETRICAS, CLIMATOLOGICAS Y DE MONITOREO UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

Por tratarse de un río de carácter internacional y en virtud a la vigencia del Tratado Internacional de 1944 para el uso repartido de las aguas que escurren por esta cuenca, el manejo de la información hidrológica y de calidad de algunos parámetros está a cargo de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), que es un organismo binacional que empezó a operar en el año de 1931, unificando la información obtenida por los Servicios Hidrométricos de ambos países. A partir de esa fecha la información es obtenida por las Secciones Mexicana y Norteamericana en acción coordinada. Cabe destacar que existen otros organismos federales, estatales y privados de ambos países que apoyan las actividades de CILA; por parte de México: la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), y los Gobiernos de los Municipios; por parte de E.U.A.: el Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura, Oficinas de Aprovechamiento de Tierras y Estudios Geológicos del Departamento del Interior, Servicio Meteorológico del Departamento de Comercio, los Departamentos de Agua de las poblaciones ribereñas y el Distrito de Conservación Del Mar.

#### 2.6.1 ESTACIONES HIDROMETRICAS EN LA CUENCA MEDIA DEL BRAVO

Las estaciones hidrométricas de esta cuenca, están ubicadas en los principales afluentes, extracciones y descargas al curso del río Bravo. Existen algunas otras, situadas en el mismo río Bravo y que en adelante se denominarán como "puntos de control".

Un detalle del equipamiento de las estaciones hidrométricas se presenta en la tabla 2.2 y de su ubicación en la lámina 2.6, según información obtenida de los boletines hidrológicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y CILA.

#### 2.6.2 ESTACIONES CLIMATOLOGICAS EN LA CUENCA MEDIA DEL BRAVO

Existen varias estaciones climatológicas ubicadas en esta cuenca, que pertenecen a la SARH, CILA y algunas privadas.

Su ubicación y características se detallan en la lámina 2.6 y en la tabla 2.3 respectivamente, obtenidas según información publicada en los Boletines Hidrológicos de la SARH (26) y en los de CILA. (7)

Tabla 2.2 : Estaciones hidrométricas del sistema Río Bravo - Cuenca Media

Estación	Cuenta con registros de:			
	Aforo	Escala	Linnigrafo	Sedimentos
Manantial Carmina	si	si	no	no
Manantial Lourdes	si	si	no	no
Manantial Hilda	si	si	no	no
Rep.Hidrom.La Amistad	si	si	si	si
Manantial M-15	si	si	no	no
Manantial M-5	si	si	no	no
Arroyo Jaboncillos	si	si	no	no
Arroyo Del Buey	si	si	no	no
Manantial Ernestina	si	si	no	no
Manantial Maris	si	si	no	no
Arroyo Milla Ocho	si	si	no	no
Manantial Mc Kee	si	si	si	no
Arroyo de la Treintuna	si	si	no	no
Arroyo Ciénegas	si	si	si	no
Del Río-C. Acuña	si	si	si	no
Arroyo de Las Vacas	si	si	si	no
Arroyo San Felipe	si	si	si	no
Canal Deriv. Maverick	si	si	si	no
Arroyo Pinto	si	si	si	no
Río San Diego	si	si	si	no
Jiménez	si	si	si	no
Río San Rodrigo	si	si	si	no
Retornos de la Planta Hidroeléc. Maverick	si	no	no	no
Retornos de riego agrícola Maverick I	si	si	si	no
Piedras Negras	si	si	si	no
Río Escondido	si	si	si	no
Retornos de riego agrícola Maverick II	si	si	si	no
Vado San Antonio	si	si	si	no
Villa Hidalgo	si	si	si	no
Nuevo Laredo	si	si	si	si
Río Salado	si	si	si	no

Fuente: Boletines hidrométricos de la SARH y CILA. (26) (7)



Tabla 2.3 : Estaciones climatológicas de referencia  
 cuenca media del Rio Bravo (México). (26) (7)

Estacion	Subcuenca	Cuenta con informacion de:		
		LLuvia	Temperatura	Evaporación
Anahuac, N.L.	R. Salado	si	no	no
Aniego 166, Ta.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Bustamante, N.L.	R. Salado	si	no	no
Candela, Coah.	R. Salado	si	no	no
C. Acuña, Coah.	Amis. -E.Pass	si	si	si
Colombia, N.L.	E.Pass-Lar.	si	no	no
El Remolino, Co.	R. San Rodr.	si	si	no
El Treinta	R. Salado	si	no	no
E. Zapata, Coah.	E.Pass-Lar.	si	no	no
Garza Ayala N.L.	R. Salado	si	no	no
Gurrero Coah.	E.Pass-Lar.	si	no	no
Jimenez Coah.	Amis. -E.Pass	si	si	si
P. Amistad, Coah.	Presas-E.Pass	si	si	si (V,H)
La Bandera, Tam.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Salinillas, N.L.	R. Salado	si	no	no
Lampazos, N.L.	R. Salado	si	no	no
Las Tortillas	R. Salado	si	no	no
Muzquiz, Coah.	R. Salado	si	no	no
N.Guerrero, Tam.	Lar. -P.Falc.	si	si	si (H)
N.Laredo, Tam.	P.Falc. -Lar.	si	si	si
N.Lar. Km26, Tam.	Lar. -P.Falc.	si	si	no
N.Lar. Sur, Tam.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Palestina, Coah.	R. San Diego	si	no	no
P. Negras, Coah.	Amis. -E.Pass	si	si	no
P. Cabeceras, Co.	Amis. -E.Pass	si	no	no
P.V. Carranza, Co.	R. Salado	si	no	no
P. Centenario, Co.	A. Las Vacas	si	no	no
P. San Miguel, Co.	R. San Diego	si	no	no
Progreso, Coah.	R. Salado	si	no	no
Ra. Bonanza, Tam.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Ra. Las Espuelas	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Ra. Vidrios, Tam.	E.Pass-Lar.	si	no	no
Ra. San Diego, Co.	E.Pass-Lar.	si	no	no
Ra. San Rafael	R. Salado	si	no	no
Rep. La Amistad	Amis. -E.Pass	si	no	no
R. Salado Ca. 85	R. Salado	si	no	no
R. Salado Riber.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Sabinas, Coah.	R. Salado	si	no	no
Sabinas Hdgo.	R. Salado	si	si	no
San Carlos, Co.	R. San Diego	si	no	no
San Ignacio, Ta.	Lar. -P.Falc.	si	no	no
Vallecillo, N.L.	R. Salado	si	no	no
V. Hidalgo, Coah.	E.Pass-Lar.	si	si	si

(V): Datos de la velocidad del viento.

(H): Datos de la humedad relativa (%).

Tabla 2.3 (cont.) : Estaciones climatológicas de referencia  
cuencas media del río Bravo (E.U.A.).

Estación	Subcuenca	Cuenta con información :		
		LLuvia	Temperatura	Evaporación
A. Tigre Chiquí.	Lar.-P.Falc.	si	no	no
Cañón Diablo	E.Pass-Lar.	si	no	no
Rancho Chittin	Amis.-E.Pass	si	no	no
Coal Mine	Amis.-E.Pass	si	no	no
Rancho Cooper	Amis.-E.Pass	si	no	no
Ran. Corralitos	Lar.-P.Falc.	si	no	no
Arroyo Cuervo	E.Pass-Lar.	si	no	no
Eagle Pass	E.Pass-Lar.	si	si	si (V,H)
El Indio	E.Pass-Lar.	si	no	no
Arroyo Olmo	Amis.-E.Pass	si	no	no
Presa Falcon	Lar.-P.Falc.	si	si	si (V,H)
Rancho Farias	E.Pass-Lar.	si	no	no
Fuente McIntosh	E.Pass-Lar.	si	no	no
Ra. Guillis He.	Amis.-E.Pass	si	no	no
Rancho Huisache	Lar.-P.Falc.	si	no	no
Rancho Indio	E.Pass-Lar.	si	no	no
Granja Keisling	E.Pass-Lar.	si	no	no
P. Trat. Laredo	E.Pass-Lar.	si	no	no
Arr. Las Noras	Amis.-E.Pass	si	no	no
Vertedor Lat. 2	Amis.-E.Pass	si	no	no
Deriv. Lat. 12	Amis.-E.Pass	si	no	no
Vert. Lateral 15	Amis.-E.Pass	si	no	no
C. Jr. Lewis St.	Amis.-E.Pass	si	no	no
Ca. Der. Maverick	Amis.-E.Pass	si	no	no
Hidro. Maverick	Amis.-E.Pass	si	no	no
Normandy	Amis.-E.Pass	si	no	no
Arroyo Pinto	Amis.-E.Pass	si	no	no
Manant. Rosita	E.Pass-Lar.	si	no	no
Arroyo Rosita	E.Pass-Lar.	si	no	no
Granja Arboles	E.Pass-Lar.	si	no	no
Gran. Van Daise	E.Pass-Lar.	si	no	no
Ran. Wardlew S.	Arr. Pinto	si	no	no
Granja Werich	E.Pass-Lar.	si	no	no
Rancho Wipff	Amis.-E.Pass	si	no	no
Pia. Trat. Zapata	Lar.-P.Falc.	si	no	no

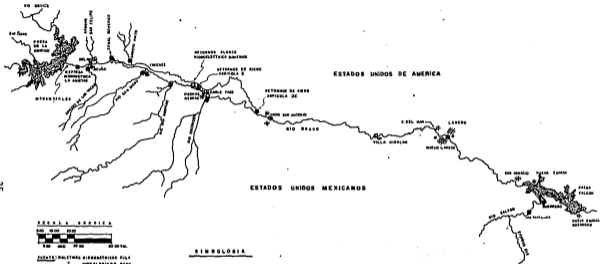
(V): Datos de la velocidad del viento.

(H): Datos de la humedad relativa (%).

Fuente: Boletines Hidrométricos de la SARH y CILA (26) (7)

PROYECTO: ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACION DEL RIO BRAVO-CUENCA MEDIA  
 TRAMO DE PRESA LA AMISTAD A PRESA FALCÓN.

LAMINA N.º 2.5 ESTACIONES HIDROMETRICAS, CLIMATOLOGICAS Y MONITOREO.



U N A M  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
 MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL  
 PROYECTO DE: ING. WALDO F. VARGAS S.  
 GRADO DE: MARZO DE 1987.

### 2.6.3 ESTACIONES DE MONITOREO UBICADAS EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), a través de su Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, tiene entre una de sus actividades la difusión de la información registrada en la Red Nacional de Monitoreo (RNM) de ríos existente en México, con objeto de determinar la extensión, características y efectos de las corrientes, según los usos a que se destinan e implantar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales que se efectúan.

La Red Nacional de Monitoreo correspondiente a la cuenca media del río Bravo en México tiene instaladas 18 estaciones situadas en puntos de relevancia, tales como, los principales afluentes, poco antes de su confluencia con el río Bravo, así como también sobre el mismo cauce del Bravo, con intervalos más o menos regulares, como se indica en la lámina 2.5.

Los parámetros programados, son: gasto instantáneo, temperaturas ambiente y del agua, potencial hidrógeno, color aparente, turbiedad, grasas y aceites, sólidos (totales, suspendidos, sedimentables, totales y suspendidos), cloruros disueltos, sulfatos disueltos, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales y fecales, estreptococos fecales, fosfatos solubilizables, ortofosfatos, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, ni-

trógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, alcalinidad a la ferriñtalesina, alcalinidad total, dureza de Calcio y dureza total. Cabe destacar que no todos estos parámetros se evalúan con la misma periodicidad, porque varían según la estación de monitoreo y también por la programación del muestreo. Este hecho influyó notablemente, en la selección y uso del modelo de calidad. (26)

## 2.7 USOS DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL BRAVO

En la región de la cuenca media, en el tramo que une las presas internacionales La Amistad y Falcon, existen diversas clases de usos del agua que escurre por el río Bravo, destacándose entre ellos, por un lado, las extracciones para abastecimiento de agua destinada al consumo humano, riego agrícola, generación de energía hidroeléctrica y fines recreativos y por otro lado, como cuerpo receptor de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas.

En el presente estudio, se analizan sólo los usos de agua correspondientes al propio río Bravo y no el de sus afluentes, que son considerados como descargas al río Bravo, con características propias de escurrimiento y calidad, según se explica en capítulos siguientes.

### 2.7.1 ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Como única fuente o fuente complementaria, se abastecen directamente del río Bravo las siguientes ciudades: Acuña, Piedras Negras, Eagle Pass, Nuevo Laredo, Laredo, Colonia del Mar, San Ignacio y Zapata, además de algunos otros, tales como ranchos o poblados más pequeños. (7) (31)

En la Tabla 2.4 se presenta información correspondiente al volumen de agua extraída al río Bravo para abastecimiento de consumo humano; en tanto que en la Tabla 2.5 se registra la misma información pero transformada a gastos.

### 2.7.2 RIEGO AGRÍCOLA

En el lado mexicano, se encuentran los distritos de riego Palestina y Acuña - Falcon, donde el primero se abastece de un afluente del Bravo, el río San Diego y aporta con sus drenajes; mientras el segundo utiliza las aguas del Bravo y aporta también a él; ambos aportes son estacionales y no están cuantificados directamente por el sistema hidrométrico de CILA, aunque confluyen a algunos ríos y arroyos afluentes del río Bravo.

En el lado norteamericano el distrito de riego más importante es el Maverick, cuyos gastos de extracción y descargas cuantificados por el sistema hidrométrico de CILA (7), se presentan en la Tabla 2.6

### 2.7.3 APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

En esta región los aprovechamientos más importantes son las estaciones hidroeléctricas La Amistad, Maverick y Laredo, que utilizan las aguas del río Bravo y descargan también en él; todas pertenecientes a los Estados Unidos de América. México a la fecha, construye una estación similar a la de su vecino en la presa de La Amistad, que demandará extraer un gasto de 20 m<sup>3</sup>/s durante 12 horas al día.

Los gastos correspondientes a las extracciones en las plantas de Maverick y Nuevo Laredo, se presentan en las tablas 2.5 y 2.6 (del anexo) respectivamente.

### 2.7.4 DESCARGAS RESIDUALES MUNICIPALES E INDUSTRIALES

Descargan sus aguas residuales domésticas al Bravo: Ciudad Acuña, Piedras Negras, Eagle Pass, Nuevo Laredo y Laredo. En tanto que la principal industria que descarga al río Bravo mediante uno de sus pequeños afluentes conocido como Arroyo del Tornillo, es la de ALTUS HORNOS DE MEXICO S.A. (AHMSA) situada en la ciudad de Piedras Negras (México). En cuanto a la ribera norte (E.U.A.), no fue posible obtener información relacionada con el tratamiento de las aguas residuales.

En las tablas 2.7 y 2.8 se presentan respectivamente, los volúmenes y gastos correspondientes a las descargas de aguas residuales municipales, de las principales ciudades ribereñas.

En la tabla 3.2 se indican algunas características de sus sistemas de alcantarillado.

#### 2.7.6 FINES RECREATIVOS

Además de servir como importantes obras hidráulicas de regulación y embalse, las dos presas internacionales La Amistad y Falcón son utilizadas con fines recreativos, tales como navegación, pesca, esquí acuático y otros.

#### 2.8 PRESAS INTERNACIONALES LA AMISTAD Y FALCON

En este punto son descritas las características principales de ambos embalses.

##### 2.8.1 PRESA LA AMISTAD

La presa de La Amistad es una obra internacional de aprovechamiento hidráulico, realizada conjuntamente por los gobiernos de México y los Estados Unidos de América de acuerdo al Tratado de Aguas de 1944. Su construcción se realizó de 1964 a 1969 y en la actualidad es operada por CILA.

Sus objetivos principales son:

- a) Control de avenidas
- b) Regulación de los volúmenes almacenados y diversos usos benéficos del agua.

La presa está ubicada sobre el río Bravo a 1100 m aguas abajo



de la confluencia del Río Navilla y a unos 20 Km aguas arriba de Ciudad Acuña, Coah. y el Río, Texas.

La cortina de la presa es de enrocamiento con corazón impermeable, respaldo de material semipermeable ubicado aguas arriba como transición y en cada lado respaldos permeables de grava y arena; además, chapas de roca selecta con el objeto de brindar protección contra el oleaje y la erosión de los paramentos exteriores.

La altura total de la cortina es de 34.22 m, la altura referida al terreno es de 30 m, la corona tiene una longitud de 6,506.52 m y un ancho de 10 m. El ancho de la base es de 164 m, con un talud aguas arriba de 2.5 : 1 y aguas abajo de 2 : 1. (26)

La capacidad total del vaso hasta la elevación 349.03 m es de 7,050 millones de metros cúbicos, a la que le corresponde un área de embalse de 36,150 Ha.; hasta la elevación 347.59 m correspondiente al nivel máximo para el control de avenidas, se tiene un área de embalse de 34,050 Ha. y una capacidad de 6,569 millones de metros cúbicos, la elevación correspondiente al embalse máximo para aprovechamiento es de 340.46 m con una capacidad de 4,378 millones de metros cúbicos y un área de embalse de 26,800 Ha.; la elevación del desplante de la cimentación es de 317 m, la del terreno natural de 321 m y la del coronamiento de 354.22 m. (26)

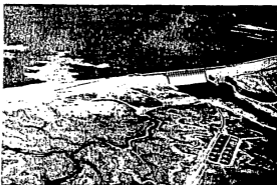
La capacidad reservada para azolves es de 678 millones de metros cúbicos, la muerta de 84, de aprovechamiento (riego e hidroeléctrica) de 3,700, de control de avenidas 2,190 y el superalmacenamiento de 482 millones de metros cúbicos. La avenida de diseño fue estimada en 54,000 m<sup>3</sup>/s y la capacidad máxima de descarga para 43,700 m<sup>3</sup>/s. (7) (26)

La presa de La Amistad inició su almacenamiento el 31 de Mayo de 1968.

En las láminas 2.7.a y 2.7.b se presentan algunas vistas y la grafica del funcionamiento de la presa respectivamente.

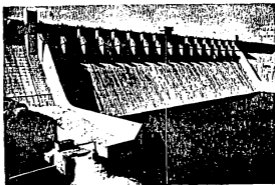


PRESA INTERNACIONAL LA AMISTAD, SOBRE EL RIO BRAVO  
VISTA DE LA CORTINA DE MAMPOSTERIA (SECCION VERTEEDORA)  
Y DE PARTE DE LAS SECCIONES DE TIERRA

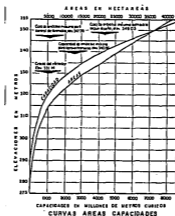


PRESA INTERNACIONAL LA AMISTAD SOBRE EL RIO BRAVO  
VISTA GENERAL

Fuente: Boletín Hidrométrico N°34 de la SARH (#27)



PRESA INTERNACIONAL LA AMISTAD SOBRE EL RIO BRAVO  
SECCIÓN VERTEDORA



GRÁFICA DEL FUNCIONAMIENTO  
DE LA PRESA INTERNACIONAL LA AMISTAD

Fuente: Boletín hidrométrico de la SARH (#27)

## 2.8.2. PRESA FALCÓN

Esta presa internacional, al igual que la anterior descrita fue construida por México y los Estados Unidos de América, de acuerdo al Tratado Internacional de 1944 suscrito por ambos países. Inició su operación en 1954 y actualmente continúa siendo operada por CILA.

Sus objetivos principales son similares a los mencionados para la presa La Amistad.

Esta presa está ubicada sobre el río Bravo en el sitio con latitud de  $26^{\circ} 33' 25''$  N y longitud  $99^{\circ} 10' 00''$  W a 482 Km río abajo de la presa La Amistad, a 137 Km aguas abajo de Nuevo Laredo, Tamps. y Laredo, Texas y a 184 Km aguas arriba de Reynosa, Tamps. e Hidalgo, Texas.

La elevación del lecho del río en la cortina está a 53.34 m, la de la salida más baja a 61.98 m, de la cresta del vertedor a 78.24 m con capacidad de 477 millones de metros cúbicos, la parte superior de las compuertas a 93.48 m con 3,918 millones de metros cúbicos. Se estiman 3,268 millones de metros cúbicos a una altura de 91.80 m para generación de energía eléctrica y riego agrícola, 1,122 millones de metros cúbicos para el control de avenidas ordinarias y 598 millones de metros cúbicos para las extraordinarias. (7) (26)

En la lámina 2.7 se presentan una vista de la presa y una tabla con información de los niveles y volúmenes almacenados.



PRESA FALCÓN SOBRE EL RIO BRAVO  
Parte de la cortina, el vertedor de excedencias  
y la obra de toma mexicana

**NOTAS**

- (1) El perfil del 26 de diciembre de 1952, después de la construcción de la presa, pero antes de la demolición de conductos vertidos de la Estación Hidroeléctrica, se proyectó en 1953 de acuerdo con el perfil de 1951. Se debe tener en cuenta el movimiento permanente del río, debido a causas naturales, para evitar el desmoronamiento de presas y obras de toma de agua necesarias a la explotación de las centrales hidroeléctricas.
- (2) La gestión de obras de mantenimiento está limitada con los datos suministrados al 30 de mayo de cada año.
- (3) Los vertidos de 1953 a 1956 corresponden a la zona de las celdas de almacenamiento en San Juan Parangaricutiro, San Juan y Nueva Laredo, San Juan.
- (4) Los vertidos de 1957 a 1958 corresponden a las celdas de almacenamiento en las estaciones "Cajapal", San Juan.
- (5) Datos de otros años de gestión fueron proporcionados por la Comisión Interamericana de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos, Estados Unidos.
- (6) No se dispone de los datos y perfiles de observación directos suministrados por la Comisión Interamericana de Límites y Aguas, pero se determinaron en presencia personal de representantes de México y Estados Unidos, Comisión de Límites y Aguas, en el informe N.º 41 (Luzón del año 1971) publicado por la Comisión Interamericana de Límites y Aguas entre México y los Estados Unidos.

CONCEPTO	ELEVACION	CAPACIDAD	ALMACENAMIENTO ÚTIL	TIPO DE ALMACENAMIENTO	ALMACENAMIENTO PROYECTADO	TIPO DE ALMACENAMIENTO
	m. s. n. m.	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>		10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	
Nivel del río en la cortina	33.24	0				
Nivel del agua almacenada en la celda de almacenamiento	61.58	25	15	Reservorio de almacenamiento		
Nivel del agua almacenada en la celda de almacenamiento	75.99	---			2 924	México, Estación USB
Nivel del río en la celda de almacenamiento	78.24	53.1	2 889	Reservorio de almacenamiento		
Nivel del agua almacenada en la celda de almacenamiento	90.24	2 994				
Nivel del río en la celda de almacenamiento	91.81	3 415	1 122	Reservorio de almacenamiento	2 110	Comité de Aguas
Nivel del agua almacenada en la celda de almacenamiento	93.48	4 046				
Nivel del agua almacenada en la celda de almacenamiento	95.77	5 034	5 000	Reservorio de almacenamiento		

- (7) El almacenamiento máximo autorizado de 43 22 millones de m<sup>3</sup> (1971) de la zona de almacenamiento de 1952 de acuerdo con el Boletín Hidrométrico N.º 41 de la C. I. A. 2.
- (8) A partir del 26 de diciembre de 1952, antes de la construcción de la presa, pero después de la construcción de la presa, se determinó el nivel del río en la celda de almacenamiento de 1952 de acuerdo con el perfil de 1951.

Fuente: Boletín Hidrométrico N.º 34 de la SARH (1971)

### 3. ANALISIS DE LA INFORMACION RECOPIADA

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de toda la información recopilada y que posteriormente servirán para la selección y alimentación del modelo de calidad que se ha utilizado en este estudio.

#### 3.1 DEMOGRAFIA DE LAS POBLACIONES RIBERENAS DE LA CUENCA MEDIA

En la última década, el crecimiento demográfico en las poblaciones ribereñas más importantes, ha sido muy notable, debido al intenso intercambio comercial entre ambos países. Este aspecto es resumido en la tabla 3.1.

Se estudia una región fronteriza, geográfica y económicamente muy importante para ambos países; que tiene un elevado número de población flotante, además de la procedente de nuevos asentamientos humanos, motivados por la presencia de industrias maquiladoras.

El crecimiento poblacional no sólo obedece una tendencia natural; también es afectado por diversos factores como los ya mencionados.

Para realizar una adecuada proyección futura del número de habitantes, se requiere de información más especializada. Esta situación escapa al objetivo del presente trabajo.

Tabla 3.1 : Población en las principales ciudades y poblados de las riberas del río Bravo en su cuenca media.

No.	Años	1950	1960	1970	1980
	Ciudad	Número de habitantes			
1	Ciudad Acuña (Mex.)	-	-	35,000	50,000
2	Jiménez (Mex.)	-	-	-	7,000 (**)
3	Piedras Negras (Mex.)	31,665	48,408	46,698	80,290
4	Villa Hidalgo (Mex.)	-	-	-	1,000
5	Nuevo Laredo (Mex.)	-	107,069	151,253	203,286
6	Del Rio (E.U.A.)	-	- (*)	21,000	33,000 (*)
7	Eagle Pass (E.U.A.)	-	- (*)	16,000	24,500 (*)
8	Colonia del Mar (E.U.A.)	-	- (*)	1,830	3,600 (*)
9	Laredo Texas (E.U.A.)	-	- (*)	66,000	87,000 (*)
10	San Ignacio (E.U.A.)	-	- (*)	1,000	1,100 (*)
11	Nueva Zapata (E.U.A.)	-	- (*)	2,200	3,800 (*)

Fuente: Censo Nacional de Población (Mex.)

(\*) Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA)

(\*\*) Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (Mex.)



### 3.2 HIDROMETRIA DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

La medición de los escurrimientos en el río Bravo y sus tributarios, se remonta al año de 1900, cuando se inició la operación de algunas estaciones hidrométricas en esta cuenca, administradas por el Servicio Hidrométrico Internacional. Posteriormente y hasta la fecha CILA, continúa operando las estaciones en el río Bravo, en las confluencias de sus tributarios, en las extracciones y descargas más importantes. (7)

En el presente estudio, se recopiló información correspondiente al periodo comprendido entre los años 1970 a 1980. Esto se debe a que la presa La Amistad, inició su operación en 1969 modificando el régimen del río y tan sólo se pudo obtener información hasta el año 1980.

El comportamiento de los gastos tiene variaciones estacionales y mensuales. Por ello, se optó recopilar las mediciones de gastos máximos, mínimos y medios correspondientes a cada mes de los años que abarca el periodo 1970-1980. Los gastos máximos, mínimos y medios de cada mes en este periodo, correspondientes a las estaciones sobre el río Bravo (puntos de control), se presentan en las tablas 3.3 a la 3.9, en tanto que sus gráficas en las láminas 3.1 a la 3.7, ordenadas secuencialmente. En estas últimas, se observa más claramente que el periodo correspondiente a la estación invernal, particularmente durante el mes de Enero, presenta condiciones de régi-

men estable y gasto mínimo. Por ello, el resto de la información hidrométrica y de calidad, analizadas, son para dicho mes.

Cabe destacar que una vez realizado el balance hidrométrico del río Bravo en su cuenca media, se obtuvieron valores de cierre del orden de  $\pm 2\%$ , eso indica la magnífica calidad de la información registrada en las estaciones analizadas.

### 3.3 CALIDAD DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO BRAVO

La información referida a la calidad del agua fue obtenida de la Red Nacional de Monitoreo, dependiente de la SARH (Mex.), que publicó un boletín único, con datos registrados en el período 1976 - 1980. (28)

De las 18 estaciones de monitoreo ubicadas en la cuenca media del Bravo, tan sólo diez tienen registros de la temperatura, concentración de oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (5 días), aunque con uno a dos resultados por mes en cada año; carecen de datos del gasto instantáneo en la hora y fecha del muestreo y tampoco abarcan los mismos puntos cubiertos por las estaciones hidrométricas. Estos aspectos inciden notablemente en la coherencia y complementación, que debe existir entre los datos requeridos por el modelo. Aunque, brindan orientación inicial, necesaria para alimentar al modelo y realizar su calibración. Sin embargo, en una etapa futura deberá ser calibrado y validado, apoyado en trabajos y

muestreos a efectuarse "in situ". Este aspecto escapa a los objetivos y alcances del presente trabajo.

Los datos de temperatura, O.D. y DBO 5 registrados por la RNM - SARH que corresponden al periodo 1976 - 1980, se presentan en las tablas 3.10 a la 3.12 ordenadas secuencialmente. (29)

#### 3.4 ASPECTOS DEL SANEAMIENTO BASICO EN LAS POBLACIONES RIBERENAS

En este punto, se presenta de forma sintética el panorama del saneamiento básico en las poblaciones ribereñas del río Bravo en su cuenca media, con el afán de mostrar su vinculación con la calidad de las aguas del río, según el uso que se efectúe. Ambos, son componentes del "Sistema Río Bravo-Cuenca Media", de allí su importancia por conocer su interacción en el sistema.

La situación del saneamiento básico de las poblaciones ribereñas, de acuerdo a la información obtenida sobre los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano e industrial, alcantarillado y residuos sólidos, se presenta en la tabla 3.2. (19)

Tabla 3.2 Características del saneamiento ambiental de las principales poblaciones ribereñas en la cuenca media del río Bravo.

Ciudad	Agua Potable		Alcantarillado		R.Sólidos	
	Fuente Abast.	Tratam. Potabi.	Tipo Sist.	Tratam. de A.R.	Cuerpo Recep.	Sistema Recolec.
C. Acuña Coah.-Mex.	R.Bravo Pozo, Gal.	Clorac. Clarif.	Sepa- rado	T. Imhoff L. Estab.	R.Bravo Suelo	si
Jiménez Coah.-Mex.	Pozos	Clora- ción	Care- ce	Carece	Suelo	no
P. Negras Coah.-Mex.	R.Bravo Pozo, Gal.	Conven- cional	Sepa- rado	Laguna Estab.	R.Bravo Suelo	si
N. Laredo Tams.-Mex.	R.Bravo	Aer. Cla. Fil. Clo.	Sepa- rado	T. Imhoff	R.Bravo Suelo	si
Del Río Texas-EUA	A. San Fe- lipe	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Eagle Pass Texas-EUA	R.Bravo	(*)	(*)	(*)	R.Bravo	(*)
C. del Mar Texas-EUA	R.Bravo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Laredo Texas-EUA	R.Bravo	(*)	(*)	(*)	R.Bravo	(*)
San Ignacio Texas-EUA	R.Bravo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Nva. Zapata Texas-EUA	R.Bravo	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(\*) No se consiguió información

Fuente: Uso y manejo del agua y aguas residuales en las principales cuencas hidrológicas del país. México 1982 Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Boletines de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA).

### 3.5 PRINCIPALES FUENTES CONTAMINANTES EN LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

Las principales fuentes contaminantes en la cuenca media del río Bravo, han sido identificadas y caracterizadas, según la información de calidad del agua registrada para algunos de los afluentes más importantes, descargas residuales y determinados puntos sobre el mismo río Bravo. Su localización se realizó con el apoyo de información cartográfica. Sin embargo, no fué posible definir la magnitud exacta de todas ellas, fundamentalmente debido a la carencia de información sistemáticamente obtenida y apta para su utilización en un modelo de calidad.

Las principales fuentes que han sido identificadas son:

- a) Las descargas de aguas residuales domésticas, provenientes de Ciudad Acuña, Piedras Negras, Eagle Pass, Nuevo Laredo y Laredo.
- b) Los retornos provenientes del distrito de riego Maverick en sus sectores I y II, aguas arriba y aguas abajo de Piedras Negras respectivamente; así como otros más pequeños como el de Palestina y Acuña-Falcon cuyas descargas llegan al río Bravo indirectamente.
- c) Las descargas de los residuos industriales de la compañía ALTOS HORNOS DE MEXICO S.A. (AHMSA) ubicada en Piedras

Negras, que desfogan al arroyo El Tornillo que es afluente del Bravo.

d) Afluentes receptores de algunas descargas provenientes de poblaciones o industrias asentadas en su cuenca. Los más importantes son los arroyos Las Vacas y San Felipe y los ríos San Diego, Escondido y Salado.

e) Los retornos de las centrales hidroeléctricas La Amistad, Maverick y Laredo.

Cabe destacar que la información de calidad, correspondiente a ciertos afluentes y descargas que no es registrada por la RNM - SARH, fué completada con valores reportados en la bibliografía, pero que representan situaciones similares a la del presente estudio. (19)

#### 4. CONFIGURACION DEL SISTEMA "CALIDAD DEL AGUA, RIO BRAVO - CUENCA MEDIA"

En este capitulo, se analiza la cuenca media del rio Bravo desde el punto de vista del Enfoque Sistemico, aplicado a la calidad del agua. Son considerados los elementos que participan en ella, ya sea de forma individual o combinada, a fin de realizar la configuración del sistema.

##### 4.1 COMPONENTES DEL SISTEMA

El rio Bravo es un sistema natural en el que interviene de manera directa el hombre, con los diversos usos que le da a sus aguas. Para estudiar la capacidad de autopurificación de un rio, es necesario plantear desde el punto de vista del Enfoque de Sistemas, el comportamiento de la calidad del agua en esta cuenca. En la aplicación de este método es importante definir la frontera, la estructura y las características distintivas físicas, biológicas y químicas. Todas estas son consideradas componentes del sistema.

En la lamina 4.1 se presentan los principales componentes del sistema, tales como presas, afluentes, centros urbanos y poblaciones menores, puntos de control y otros de interés. Cada centro urbano, implica componentes de extracción y descargas de aguas residuales.





#### 4.1.1 NUCLEO Y FRONTERAS DEL SISTEMA

Para efectos del presente estudio se considerará como núcleo del sistema, el tramo del río Bravo comprendido entre las presas internacionales La Amistad y Falcón; desde la salida de la primera en el propio cauce del río, hasta el punto de confluencia del río Salado, situado en el propio embalse Falcón.

La frontera que demarca este sistema, es la que corresponde al límite de las áreas ribereñas. Ambas áreas están definidas por una franja que abarca: los puntos de intersección correspondientes a los afluentes, descargas y extracciones en el río Bravo; también, las estaciones hidrométricas y de monitoreo, además de los centros urbanos ribereños vinculados al Bravo en lo concerniente al uso del agua.

#### 4.1.2 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

Una vez definidas las fronteras del sistema, puede configurarse su estructura, con base en las distintas partes involucradas en él.

El sistema estudiado tiene dos tipos principales de componentes, los naturales y los desarrollados por el hombre.

Los naturales son: escurrimiento de entrada al sistema, precipitaciones pluviales, evaporación, temperatura ambiente y del agua, configuración topográfica y geológica, radiación

solar, vientos, altitud sobre el nivel del mar y otros fenómenos físicos, químicos y biológicos que se realizan.

En cuanto a los desarrollados por el hombre, pueden citarse: construcción de obras de aprovechamiento y regulación, extracciones para diversos usos y descargas de aguas residuales.

Como una combinación de ambos, se sitúan los afluentes que confluyen al núcleo del sistema, aunque éstos en dado caso también pueden clasificarse dentro de los primeros o segundos según corresponda.

La estructura del sistema de calidad del río Bravo - cuenca media, está conformada de la siguiente manera.

- La corriente del río Bravo que es el núcleo del sistema.
- Los afluentes provenientes de los dos países.
- Las extracciones para usos diversos que hacen ambos países.
- Las descargas de aguas residuales municipales, riego agrícola y generación de energía eléctrica.

En el tramo de la cuenca media se han cuantificado los siguientes aportes y extracciones.

Quince afluentes mexicanos y cinco afluentes de los Estados Unidos, entre los más importantes.

Tres extracciones para generación de energía eléctrica, una para riego agrícola y ocho para abastecimiento de agua para el consumo humano.

Doce descargas directas de aguas residuales municipales.

#### 4.1.3 CARACTERISTICAS DISTINTIVAS DEL SISTEMA

Son todas aquellas que describen a los componentes estructurales del sistema. Siendo para el presente estudio:

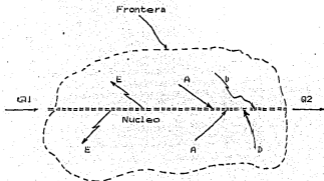
- Gasto de escurrimiento, geometría y comportamiento hidráulico del río Bravo.
- Gastos de aporte o extracción, valores de los parámetros de calidad, ubicación geográfica, tipo de unión con el núcleo del sistema (afluente, descarga o extracción); según la interrelación de un componente con el sistema.
- Constantes de reacción y otros parámetros complementarios que intervienen en el sistema.

La selección de cuales son las características distintivas del sistema, tomadas en cuenta en el estudio, fue hecha según los resultados del análisis de la información recopilada.

#### 4.2 PLANTEAMIENTO ESQUEMATICO DEL SISTEMA

En la figura 4.1 se presenta el esquema tipo del sistema de calidad río Bravo - cuenca media, con los diversos componentes del mismo, así como también sus características distintivas. Cabe destacar que en el planteamiento del sistema no se consideran características distintivas tales como, precipitación pluvial y evaporación, debido a que se utilizaron los datos de escurrimientos netos medidos en: el río Bravo, sus afluentes, las extracciones y algunas descargas. Tampoco se

tomaron en cuenta otras como las relacionadas con microorganismos, fotosíntesis y otros contaminantes; fundamentalmente por la carencia de información adecuada.



**Características distintivas**

- Q : Caudal
- u : Velocidad
- T : Temperatura
- O.D. : Oxígeno Disuelto
- DBO : Demanda Bioquímica de Oxígeno
- x : Cadenamiento progresivo
- E : Altitud sobre el nivel del mar
- K : Constantes de reacción

**Componentes**

- A : Afluente
- D : Descarga Residual
- E : Extracción

Figura 4.1 Planteamiento esquemático del sistema de calidad río Bravo - Cuenca media

#### 4.3 SECCIONAMIENTO DEL RIO

Una vez definidas, la estructura, núcleo, frontera y características distintivas del sistema, para completar su configuración y estar en condiciones de seleccionar el modelo de autodepuración más apropiado para su estudio, es preciso realizar el seccionamiento del río. Con la información analizada y el sistema configurado, dicha selección es más apropiada.

El seccionamiento de un río, para un estudio de calidad, se lleva a cabo analizando la variación del: escurrimiento medio, área drenada, pendiente media, sección transversal y profundidad media a lo largo del tramo estudiado. Consiste en dividir el río en secciones, que tengan más o menos características hidráulicas, biológicas y fisicoquímicas uniformes.

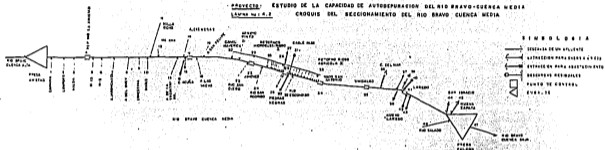
Es importante tomar en cuenta a los puntos de intersección, que son definidos por la confluencia de afluentes, descargas o extracciones, como los que originan los tramos comprendidos entre los segmentos.

En este estudio, se ha dividido al tramo comprendido entre las presas La Amistad y Falcón en ocho segmentos; definidos por los denominados "puntos de control". A su vez, cada uno de los segmentos se subdividió en tramos, definidos por los puntos de intersección. Posteriormente, cada uno de estos tramos se subdivide en elementos de igual longitud, donde existen condiciones de mezcla completa, con características

uniformes hidráulicas y de calidad del agua; esta última división es realizada automáticamente por el programa de computación. El número de elementos varía según la longitud del tramo.

El croquis del seccionamiento del río Bravo en su cuenca media, se presenta en la lámina 4.2. La variación del área drenada, escurrimiento, temperatura y profundidad media a lo largo de este tramo, son presentadas en las láminas 4.3, 4.4 y 4.5 respectivamente.

PROYECTO: ESTUDIO DE LA CAPACIDAD DE AUTODEPURACION DEL RIO BRAVO CUENCA MEDIA  
 CROQUIS DEL SECCIONAMIENTO DEL RIO BRAVO CUENCA MEDIA



**SIMBOLOGIA**

- ESTACION DE MUESTREO
- ESTACION PARA AGUJEREO
- ESTACION PARA AGUJEREO
- ESTACION DE MUESTREO
- PUNTO DE CONTROL
- ESTACION DE MUESTREO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47						
PROPIEDAD DEL RIO	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ESTACION ENTRE PUNTES (M)	0.7	0.7	0.7	1.30	0.5	0.6	0.30	0.1	0.7	0.3	2.4	1.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4		
DISTRIBUCION ALMORZADO	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	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	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	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
ALTIMETRO MEDIO DEL RIVEL DEL MAR (M)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

M. S. A. M.

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA EN HIDRAULICA

MINISTERIO DE INGENIERIA AMBIENTAL

PROFESOR DE LING. WALDO P. VARGAS S.

BOGOTA DE 1967.

# AREA DRENADA ACUMULADA

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

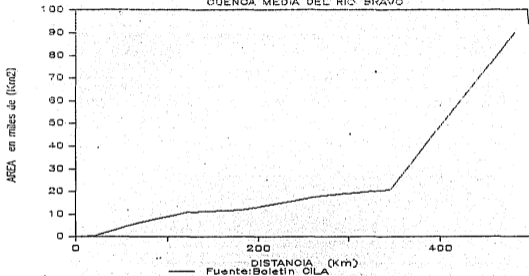


Lámina N° 4.3



# VARIACION DEL ESCURRIMIENTO MEDIO

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

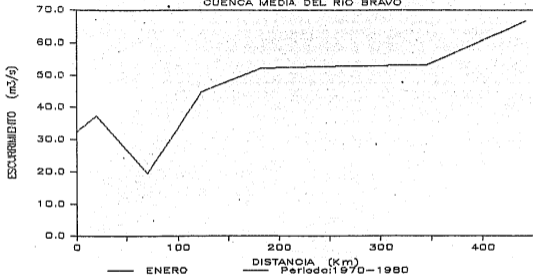


Lámina N°4.4

# VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL AGUA

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

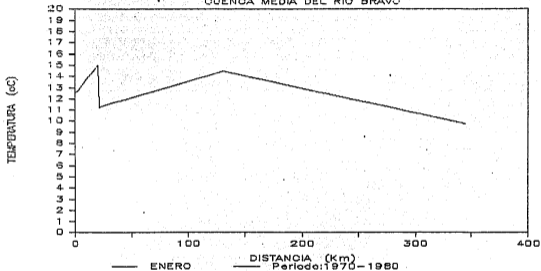


Lámina N° 4.5

# VARIACION DE LA PROFUNDIDAD

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

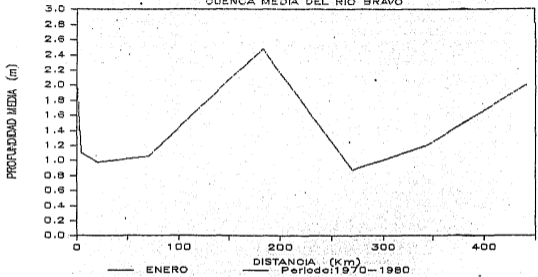


Lámina N° 4,6

## 5. MUDELO DE SIMULACION DEL PROCESO DE AUTOPURIFICACION EN UN RIO

En este capitulo, se presentan los conceptos básicos del proceso de autopurificación de un río, la clasificación y relación de modelos más difundidos. También son descritas las ecuaciones básicas generales, las constantes de reacción que intervienen y la zona de mezcla. Se destacan, la importancia del efecto de la temperatura en un modelo y los aspectos inherentes a su calibración y validación.

### 5.1 GENERALIDADES

Como escribiera con acierto el notable investigador Earl B. Phelps: "Un río es mucho más que una marca geográfica, una línea en un mapa, es algo viviente, que tiene energía de movimiento y de transformación".

El término "transformación", se relaciona con la capacidad de autodepuración de un río, que es la "habilidad" propia que tiene un río para asimilar los desechos que se vierten en él y restablecer su calidad.

#### 5.1.1 NATURALEZA DE LA AUTOPURIFICACION ORGANICA DE UN RIO

La autopurificación en un río se lleva a cabo de varias formas distintas, según el ingreso al cauce de un contaminante, ya sea de tipo orgánico, microbiano, inorgánico, radiactivo y

Para los desechos de materia orgánica inestable, provenientes de diversas fuentes, la autopurificación es un proceso bioquímico de degradación. El oxígeno disuelto en el agua, es utilizado en la estabilización de la materia orgánica, que es función del tiempo y la temperatura. El requerimiento de oxígeno disuelto es mayor, si aumenta la temperatura. Sin embargo, la naturaleza repone el oxígeno consumido mediante un complejo fenómeno de reaeración proveniente de la atmósfera y la fotosíntesis, aunque la capacidad de saturación de oxígeno del agua declina, conforme aumenta la temperatura.

El comportamiento de un río depende de varios factores relacionados con el cauce; si este tiene bastante pendiente y poca profundidad, el tiempo de recorrido es corto y facilita una buena aeración debido a la turbulencia; pero si el cauce es profundo, de baja pendiente y con muchos meandros el tiempo de recorrido es largo y la reaeración menor. Ese tiempo es inversamente proporcional a los gastos de escurrimiento que son bajos en época de estiaje. (22)

Por tanto, en el proceso de autopurificación orgánica de un río y para el balance de O.D., deben ser considerados: escurrimiento, temperatura del agua, tiempo de recorrido del agua, reaeración, fotosíntesis, DBO, demanda bental, sedimentación y respiración, entre los factores más importantes.

### 5.1.2 ASPECTOS GENERALES QUE SE CONSIDERAN EN UN MODELO DE SIMULACION DE LA AUTOPURIFICACION DE UN RIO

En terminos generales, un modelo de simulación, para estudiar la autopurificación de un río, debe poseer ciertas características y posibilidades de realizar acciones tales como:

- Simulación de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos asociados a los criterios de calidad del agua que se estudia. Siendo los más comunes: Oxígeno Disuelto (O.D.), Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.U.), Nitrogeno Amoniaco, de Nitritos y Nitratos ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ), Fosfatos (PO<sub>4</sub>), algas y otros.
- Simulación de los sedimentos como fuente o consumidor adicional de oxígeno.
- Aptitud para evaluar el efecto de las fuentes de contaminación, los niveles de tratamiento requeridos y la localización de las plantas de tratamiento.
- Posibilidad de evaluar el efecto resultante de modificar los gastos de escurrimiento y la calidad del agua, en distintos puntos.
- Simulación de los parámetros físicos de reaeración, tiempo de recorrido, velocidad y otros.
- Simular el transporte, sedimentación y resuspensión de material fino.

### 3.1.3 CLASIFICACION DE LOS MODELOS QUE SIMULAN LA AUTOPURIFICACION DE LOS RIOS

Los modelos de simulación de la autopurificación de los rios, se clasifican en:

#### a) Modelos estables y dinámicos.-

Son de flujo estable, los requeridos para evaluar las condiciones en las cuales las variables no cambian con el transcurso del tiempo.

Los de flujo dinámico son los que algunos de sus parámetros varían con el tiempo o son afectados por fenómenos transitorios tales como la escorrentía superficial y evaporación.

#### b) Modelos continuos y transitorios.-

Los continuos, simulan registros ininterrumpidos de condiciones observadas en un determinado periodo histórico y se utilizan para simular el comportamiento de un sistema durante cierto tiempo, cuya duración está definida por los cambios que se susciten.

Los transitorios son utilizados al simular un sistema para un tiempo definido, referido a un acontecimiento dado, por ejemplo un evento hidrológico o una descarga de contaminación específica con niveles correspondientes a condiciones especiales.

ambos simultaneamente, pueden estar comprendidos dentro la clasificación de los dinámicos.

Los tipos de modelos descritos, tienen características dimensionales, es decir contar con tres, dos o una sola dimensión. Varian según el tipo de problema que se desee estudiar y la información que se disponga; cabe destacar que se obtienen resultados suficientes y precisos, modelando un sistema en solo una o dos dimensiones.

Los modelos descritos pueden ser determinísticos, basados en leyes físicas tales como la de conservación de masa y fórmulas empíricas, o estocásticos (probabilísticos), que para tener validez en estudios de calidad de agua, requieran de los datos necesarios que permitan establecer los valores probabilísticos. Existen otros, cuya descripción escapa a los fines del presente estudio.

#### 5.1.4 RELACION DE MODELOS MAS DIFUNDIDOS PARA LA SIMULACION DE CALIDAD EN RIOS

A continuación, se presenta una relación de los modelos de simulación de calidad del agua en rios, más difundidos. (4,6,22)

- SIMOX I .- Desarrollado por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Simula los niveles de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno.



- SIMOX II X .- Versión modificada del SIMOX I ya que además simula la demanda nitrogenada, demanda bental de oxígeno, fotosíntesis y respiración de las algas, bacterias y sustancias conservativas.
- DOSAG I .- Desarrollado por la "Texas Water Development Board", es similar a la ecuación de Streeter & Phelps y es aplicable a sistemas en equilibrio continuo.
- DOSAG II. .- Versión modificada del DOSAG I, por sugerencias de la "Federal Water Pollution Control Administration".
- QUAL II. .- Modelo determinístico de flujo estable desarrollado por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), que simula: DQDQ carbonácea y nitrogenada, O.D., Nitrógeno, Fósforo, algas, bacterias y sustancias conservativas.
- QUAL 2E.- Versión modificada del QUAL II, desarrollada por "The National Council for Air and Stream Improvement", puede ser operado en régimen estable o como un modelo dinámico.
- RUNOFF/RECEIV .- También desarrollado por la EPA, simula la contaminación aportada por el escurrimiento superficial durante una lluvia (RUNOFF) y las cargas aportadas utiliza el RECEIV. . para la simulación de calidad en el río.
- NECKAR I. .- Desarrollado en la Universidad de Karlsruhe, República Federal Alemana, similar al SIMOX I.

- NECKAR II .- Modifica y complementa al anterior, optimizando los niveles de tratamiento a las descargas residuales.
- POTAME .- Desarrollado en Francia por la Agencia de la Cuenca del Sena - Normandía, requiere de gran cantidad de información ya que simula O.D., DBO, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>---</sup>, e hidrocarburos.
- WARRS.- Desarrollado por el "U.S. Army Corps of Engineers", y es de simulación continua, prácticamente es "ecológico" aunque numéricamente muy complejo por la gran cantidad de información que requiere.
- HSPF .- Es un modelo determinístico y simula una gran variedad de parámetros de la contaminación urbana, escurrimiento en zonas agrícolas, cantidad y calidad de aguas subterráneas y evapotranspiración.

## 5.2 SELECCION DEL MODELO DE SIMULACION DE AUTOPURIFICACION ORGANICA PARA LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

Un modelo de calidad de aguas que pueda ser aplicado confiablemente, para predecir las condiciones de los diversos parámetros en el futuro, debe reproducir aceptablemente las condiciones presentes en el río.

Considerando esta recomendación y las razones expuestas en los capítulos 3 y 4, en lo concerniente al tipo y calidad de información disponible, así como a los componentes del

sistema que se estudia, se eligió el modelo que reúne las siguientes características:

- Simula niveles de oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno carbonácea, a lo largo del tramo en estudio; para diversas condiciones de hidráulicas y de calidad del agua en las descargas, extracciones y afluentes.
- Capaz de evaluar el efecto de las fuentes de contaminación y recomendar la localización de plantas de tratamiento.
- Tiene la capacidad de evaluar, el efecto resultante de modificar gastos y parámetros de calidad, en los puntos de intersección.
- Simula los parámetros físicos de degradación y reaeración.

La simulación toma en cuenta, los efectos de la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar.

Para realizar el proceso de simulación con el modelo seleccionado que reúne estas características, es imprescindible el uso de una microcomputadora, por la diversidad y complejidad de los cálculos iterativos que realiza. Por ello fue necesario desarrollar un programa en lenguaje BASIC, que se denominó RIBOD I (Río Bravo Oxígeno Disuelto Primero). Sus características se describen en el diagrama de flujo, en los anexos.

### 5.3 TRANSFORMACION DE LOS CONTAMINANTES ORGANICOS

Un modelo que represente lo mas acertadamente posible el comportamiento de una corriente de agua, esta basado en expresiones matematicas, que cuantifican los diferentes fenomenos que se presentan en la transformacion de los contaminantes organicos: que son como sigue.

#### 5.3.1 FENOMENO DE ADVECCION

En el transporte de un contaminante por adveccion, su concentracion cambia cuando pasa de un elemento a otro localizado aguas abajo de forma y volumen diferente. En la figura 5.1 se intenta representar el concepto del transporte por adveccion. En un curso de agua, el segmento 1 con una determinada concentracion de contaminante pasa al segmento 2 en un intervalo de tiempo  $\Delta t$ . Por supuesto, al variar la forma y volumen del segmento varia la concentracion, como una consecuencia del transporte por adveccion, ocasionado por el gasto  $Q$  que fluye por el curso.



Fig. 5.1 Cambio en la concentración de un contaminante por advección

### 5.3.2 FENOMENO DE DIFUSION

Las leyes físicas que gobiernan el fenómeno de difusión son conocidas como "Leyes de Fick".

La primera establece que la porción de la masa transportada por difusión, que atraviesa un elemento de área, es proporcional al gradiente de concentración del contaminante.

$$N_x = - D_m (dc/dx) \quad (5.1)$$

donde:

$N_x$  = Masa transportada en la dirección x (FL<sup>-2</sup> T<sup>-1</sup>)

$dc/dx$  = Gradiente de concentración de la fase difusiva (FL<sup>-4</sup>)

$D_m$  = Coeficiente de difusión molecular (L<sup>2</sup> T<sup>-1</sup>)

La segunda ley de Fick surge de la ecuación 5.1 y el siguiente balance de masa:

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada de masa} - \text{Salida de masa}$$

y considerando los gradientes de concentración en los dos planos, se tiene:

$$dC/dt = D_m (d/dx(dC/dx)) = D_m (d^2 C/dx^2) \quad (5.2)$$

Para el caso de tres dimensiones:

$$dC/dt = D_m (d^2 C/dx^2 + d^2 C/dy^2 + d^2 C/dz^2) \quad (5.3)$$

Reafirmando lo dicho y de manera comparativa, se muestra la figura 5.2; en el compartimiento 1 se tiene agua a una temperatura de 25 °C y en el compartimiento 2 agua a una temperatura de 10 °C y la división entre ambos dispone de un orificio cerrado, considerando los niveles de agua a la misma altura, al abrir el orificio la temperatura se irá igualando en los dos compartimientos, precisamente en forma directamente proporcional al gradiente de temperatura.

Nivel		del agua	
1		2	
25°C		10°C	

Figura 5.2 Cambio de la concentración de un contaminante por difusión

Los efectos de la difusión en un río son muy pequeños cuando el contaminante ingresa al río en forma continua, o con un gasto y concentración muy inferiores a los del río.

### 5.3.3 REACCIONES

En la transformación de los contaminantes se presentan fenómenos físicos, químicos, biológicos o una combinación de ellos, que ocasionan un incremento o decremento de las concentraciones de dichos contaminantes.

Los tipos más importantes de fenómenos producidos en una corriente de agua en términos del balance de O<sub>2</sub>, D, son:

- Reaeración
- Desoxigenación
- Fotosíntesis
- Respiración
- Demanda Bental

Para el modelo de simulación de la autodepuración del río Bravo, se tomaron en cuenta los dos primeros. Es decir la única fuente de oxígeno será por reaeración y la remoción de la DBO será por desoxigenación. Decisión adoptada por la carencia de información estadística, relacionada con los fenómenos que han sido descartados.

#### 5.4 ECUACIONES BASICAS GENERALES

Previamente a describir las ecuaciones básicas generales que representan al modelo adoptado, se establece el marco de referencia de sus características, bajo las siguientes consideraciones.

##### 5.4.1 CONSIDERACIONES DE BASE PARA EL MODELO

La mayor parte de los modelos utilizados en diversas regiones del mundo, por efectos prácticos están basados en ciertas suposiciones. Para el presente estudio, dado el carácter práctico del problema, el modelo adoptado está basado, en ciertas

consideraciones hechas por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), para la ecuación de balance de masa de un río sujeto a descargas de diversa índole. (9)

A continuación se detallan dichas consideraciones de base.

- El sistema río está con régimen estable. No cambia con el tiempo, pero sí con la distancia. Por ej., en verano cuando el gasto es bajo, se da una situación de régimen uniforme y sin los efectos de las tormentas; la respuesta dinámica de un río se considera como un fenómeno variado.
- La difusión es muy pequeña con respecto a la advección. Por lo tanto la consideración de flujo pistón es razonable.
- El agua del río tiene mezclado completo, entonces el gradiente de concentración existe solamente en la dirección del flujo, porque la mezcla es homogénea.
- Una vez realizada la descarga, las tasas de reacción son de primer orden, tal es el caso de la DBO carbonácea.



#### 5.4.2 ECUACION DIFERENCIAL GENERAL UNIDIMENSIONAL DEL COMPORTAMIENTO DE UN RIO

La ecuación diferencial que se presenta, contiene los tres fenómenos: Difusión, advección y reacción.

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2 C}{dx^2} + \left( \frac{D}{A} \right) \frac{dA}{dx} - \left( \frac{Q}{A} \right) \frac{dC}{dx} + \left( \frac{-1}{A} \right) \frac{dQ}{dx} - KC + \Sigma S \quad (5.4)$$

donde:

C : Concentración del elemento o sustancia

D : Coeficiente de difusión longitudinal

L : Dimensión longitudinal

A : Área transversal del volumen de control

Q : Gasto que fluye en el volumen de control

K : Constante de reacción

ΣS: Sumatoria de fuentes y sumideros

Considerando que en un tramo el gasto y área transversal permanecen constantes y que no hay más aporte de cargas contaminantes, la ecuación 5.4 queda:

$$\frac{dC}{dt} = D \frac{d^2 C}{dx^2} - \left( \frac{Q}{A} \right) \frac{dC}{dx} - KC + \Sigma S \quad (5.5)$$

y de la ecuación de la continuidad:

$$Q = A u \quad (5.6)$$

Que es reemplazada en la ecuación 5.5; además, suprimiendo

terminos, conforme a lo indicado en el punto 5.4.1, la ecuación queda:

$$0 = -u \frac{dC}{dx} - K C + S \quad (5.7)$$

Esta ecuación diferencial es la que se aplica para simular la variación de los niveles de O.D. y DBO carbonacea en este estudio.

#### 5.4.3 ECUACIONES DE SIMULACIÓN DE LOS NIVELES DE OXIGENO DISUELTO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO CARBONACEA

Las variables que intervienen para la simulación de estos dos parámetros, a partir de la ecuación 5.7 son:

L = Demanda Bioquímica de Oxígeno última

O = Oxígeno Disuelto

O<sub>s</sub> = Concentración de saturación de oxígeno

D = Déficit de oxígeno disuelto

D<sub>0</sub> = Déficit inicial de oxígeno disuelto

A = Área de la sección transversal del río

x = Distancia aguas abajo del río o canal

t = tiempo

La fuente y consumo de oxígeno disuelto, están dadas por:

$$\text{Reaeración} = K_a (O_s - O) \quad (5.8)$$

$$\text{Desoxigenación} = -K_d L \quad (5.9)$$

donde: K<sub>a</sub> es la constante de reacción de la aeración

K<sub>d</sub> es la constante de reacción de la desoxigenación

Por tanto, aplicando la ecuación 5.7 para estudiar los niveles de O.D. y DBO carbonacea como un sistema acoplado, se obtienen las siguientes ecuaciones diferenciales:

$$\text{Para la DBO:} \quad u(dL/dx) + K_d L = 0 \quad (5.10)$$

$$\text{Para el O.D.:} \quad u(dO/dx) + K_d L - K_a(O_s - O) = 0 \quad (5.11)$$

donde L de la ecuación 5.11 es la obtenida de la solución de la ecuación 5.10, bajo condiciones de frontera iniciales:  $x = 0$  y  $L = L_0$ , siendo  $L_0$  la DBO última de la mezcla después de la descarga.

La solución de la ecuación diferencial 5.10 es:

$$L = L_0 \text{EXP}(-K_d/u)x \quad (5.12)$$

que es la ecuación de la DBO remanente a lo largo del recorrido de la corriente.

La solución de la ecuación diferencial 5.11 se presenta en términos de déficit de oxígeno que está dado por:

$$D = O_s - O \quad \text{y el déficit inicial:} \quad D_0 = O_s - O_0 \quad (5.13)$$

siendo la solución:

$$D = D_0 \text{EXP}(-K_a/u)x + K_d L_0 / (K_a - K_d) (\text{EXP}(-K_d/u)x - \text{EXP}(-K_a/u)x) \quad (5.14)$$

Esta es la ecuación en términos de O.D. y DBO como sistema acoplado y cuyas L y  $L_0$  corresponden a la DBO última.

b)  $K_d$ : debida al ejercicio de la DBO carbonácea en la corriente receptora.

c)  $K_r$ : debida al ejercicio de la DBO carbonácea en la corriente receptora. Incluye la desoxigenación, sedimentación y otras causas de remoción de la DBO.

El modelo incluye en su estructura a las dos primeras, por la carencia de información requerida por la tercera.

Para la determinación de  $K_1$ , existen varios métodos, destacándose entre ellos:

- De momentos
- Gráfico de Lee
- Exacto (Dr. Ubaldo Bonilla D.)
- Regresión lineal
- Mínimos cuadrados
- De Thomas

Para la determinación de  $K_d$ , los métodos más destacables son:

- Bosko
- Bansal
- Hydrosience

Aunque cada uno de estos es aplicable a corrientes o ríos con determinadas características.

Para el modelo del río Bravo se utilizó el de Bosko, dadas sus características, tipo de variables y las condiciones adaptables para él. (22)

El método de Bosko considera que:

$$K_d = k_1 + n(u/H) \quad (5.17)$$

siendo:

$n$  = Coeficiente de actividad del río, según la pendiente.

$u$  = Velocidad media del río en el tramo.

$H$  = Profundidad media en el tramo.

$J$  = Pendiente hidráulica (m/100m)

donde:  $n = 0.11141 + 0.50971 J \quad (5.18)$

#### 5.5.2 CONSTANTE DE REAERACION ( $K_a$ )

La determinación de esta constante es de gran importancia para un estudio como el presente. Usualmente es determinada "in situ" mediante la utilización de trazadores tales como el etileno y de tipo conservativo como la Rodamina-WT. Sin embargo, siempre ha sido preocupación de los investigadores establecer una relación generalizada, válida en función de los parámetros más significativos de una corriente, tales como velocidad, gasto, coeficiente de difusión y otros.

El coeficiente de reaeración varía de tramo en tramo, estacionalmente, y de día con noche. Por ej. en verano, las altas temperaturas facilitan la reaeración, pero los gastos de estiaje que son bajos, así como la escasa turbulencia nivelan esa diferencia.

Se destaca, el hecho de que la mayor parte de los trabajos de investigación realizados en diversos rios del orbe utilizan la siguiente relación :

$$k_a = A_1 u^{B_1} / H^{C_1} \quad (5.19)$$

y donde el coeficiente  $A_1$  y los exponentes  $B_1$ ,  $C_1$  dependen de las condiciones hidráulicas de la corriente. (1, 4, 6, 9)

El ambito aproximado de variación de cada uno de ellos, fue determinado utilizando los valores que reporta la bibliografía consultada. (34)

donde:

$$1.20 \leq A_1 \leq 5.50$$

$$0.50 \leq B_1 \leq 0.97$$

$$1.30 \leq C_1 \leq 1.90$$

Los valores del coeficiente y los exponentes utilizados por el modelo son:

$$A_1 = 1.20$$

$$B_1 = 0.50$$

$$C_1 = 1.33$$

Estos valores fueron adoptados después de varias corridas con el programa RIBUD I.

## 5.6 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS DEL MODELO

Existen algunos aspectos complementarios que intervienen en el modelo y cuya influencia se manifiesta durante la autopurificación del río.

Los más importantes se describen como sigue:

### 5.6.1 ZONAS DE MEZCLADO

Inmediatamente después de confluir un afluente o una descarga residual a una corriente de agua, se realiza un proceso de mezcla entre ambos riuos. Esta mezcla está en función de los gastos y otras características hidráulicas tales como la velocidad, pendiente, secciones transversales y profundidad en el punto de intersección; adicionalmente, la posición y forma de las descargas. También se destaca la importancia de la calidad fisicoquímica de las corrientes confluentes, principalmente si son de carácter intermitente y de volúmenes considerables comparados con la corriente receptora.

El fenómeno de difusión es considerado también como una propiedad de la zona de mezclado. Está definido en términos de los coeficientes de difusión turbulenta: horizontal, lateral y vertical.

Se reconoce que el proceso de mezclado es sumamente complejo y muy variable. Al plantear los modelos, es designada una zona de mezcla donde las características físicas y de calidad

del agua en la corriente receptora se modifican, interpretándose estos cambios, mediante simplificadas relaciones prácticas, que dentro de un margen razonable, son válidas.

Los parámetros que tienen modificaciones en esta zona, son:

$$\text{Gasto: } Q_m = Q_r + Q_d \quad (5.20)$$

$$\text{DBO: } L_m = (L_r Q_r + L_d Q_d) / Q_m \quad (5.21)$$

$$\text{O.D.: } C_m = (C_r Q_r + C_d Q_d) / Q_m \quad (5.22)$$

$$\text{Temperatura: } T_m = (T_r Q_r + T_d Q_d) / Q_m \quad (5.23)$$

donde:

$Q_m$ : Gasto después de la mezcla	$(L / T)$
$Q_r$ : Gasto del río	$(L / T)$
$Q_d$ : Gasto de la descarga	$(L / T)$
$L_m$ : DBO después de la mezcla	$(M / L)$
$L_r$ : DBO del río	$(M / L)$
$L_d$ : DBO de la descarga	$(M / L)$
$C_m$ : O.D. después de la mezcla	$(M / L)$
$C_r$ : O.D. del río	$(M / L)$
$C_d$ : O.D. de la descarga	$(M / L)$
$T_m$ : Temperatura después de la mezcla	$(^{\circ}C)$
$T_r$ : Temperatura del río	$(^{\circ}C)$
$T_d$ : Temperatura de la descarga	$(^{\circ}C)$



### 5.6.2 CONCENTRACION DE SATURACION DEL OXIGENO DISUELTO

La concentración de saturación del O.D. en una corriente de agua, varía principalmente con la temperatura del agua, la presión atmosférica, la concentración de cloruros o impurezas iónicas.

Los investigadores Elmore y Hayes (1960) (#22), desarrollaron una expresión para el cálculo de la concentración de saturación del O.D. a presión estándar que se expresa como:

$$C_s = 14.62 - 0.3898 T_m^2 + 0.006969 T_m^3 - 0.0000589 T_m \quad (5.24)$$

corrigiendo por presión atmosférica, se tiene:

$$C_s = (1 - 0.00002287675 E)^{5.167} C_s \quad (5.25)$$

Siendo:

C<sub>s</sub>: Concentración de saturación del O.D. (mg/L)

T<sub>m</sub>: Temperatura después de la mezcla (°C)

E: Altitud sobre el nivel del mar (mSNM)

Para determinar la concentración de saturación del O.D. con el modelo seleccionado en el presente estudio, se utilizan las ecuaciones 5.24 y 5.25.

### 5.6.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS CONSTANTES DE REACCION

La temperatura ejerce un efecto importante en el proceso de autodepuración de una corriente. Para considerar dicho efecto el modelo seleccionado, basado en las ecuaciones de Vant Hoff Arrhenius presenta las siguientes correcciones:

a) Constante de desoxigenación:

$$K_1(T_oC) = K_1(20oC) \left( \frac{T_m - 20}{10} \right)^{\theta} \quad (5.26)$$

Siendo el ámbito de variación de Theta según la temperatura:

Si  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_m \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  entonces  $\theta = 1.056$

Si  $20\text{ }^{\circ}\text{C} < T_m \leq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  entonces  $\theta = 1.135$

b) Constante de reaeración:

$$K_2(T_oC) = K_2(20oC) (1.024)^{T_m - 20} \quad (5.27)$$

Los valores que se obtienen de las ecuaciones 5.26 y 5.27 están dados en (1/día) con base e. Así considera el modelo seleccionado para el presente estudio.

### 5.6.4 LIMITE MAXIMO PERNISIBLE DE O.D. Y TEMPERATURA EN EL RIO BRAVO

De acuerdo a la "Legislación Relativa del Agua y su Contaminación, vigente en Mexico" (NSO), en la parte correspondiente a la clasificación de las aguas en los cuerpos receptores superficiales, en función de sus usos y características de calidad,

disponen que el ámbito de variación de:

- a) El oxígeno disuelto para usos agrícolas sea de 3.2 mg/L y los demás usos 4.0 mg/L.
- b) La temperatura del agua, no debe ser mayor en 2.5 °C a la registrada en condiciones naturales.

En el modelo del presente estudio, se utilizó para el oxígeno disuelto un valor límite de 4.0 mg/L.

### 3.7 CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN MODELO DE AUTODEPURACIÓN DE CORRIENTES

El desarrollo de un modelo de autopurificación de corrientes tiene dos peculiaridades muy interesantes y es que se caracteriza por ser ciencia y arte a la vez.

No obstante de que algunos modelos, han sido desarrollados según procedimientos básicos de modelado, cada uno de ellos refleja la creatividad de su autor, porque representa lo que él considera como los componentes más importantes y la interrelación que existe entre ellos; además, define el grado de detalle que tendrá el modelo.

Para la aplicación de un modelo en el estudio de la capacidad de autodepuración de un río, es necesario realizar su calibración y validación.

La calibración de un modelo, se efectúa utilizando la información correspondiente a mediciones realizadas "in situ" en determinado periodo. Los parámetros del modelo, o propiamente éste, son ajustados o modificados, tanto como se adecúan a la calidad de agua que se ha medido, según el procedimiento de ensayo y error. Esta situación refleja más el arte que la ciencia para modelar corrientes.

La verificación o validación de un modelo requiere de un juego de datos de ingreso y resultados distintos a los utilizados en su calibración porque son independientes de estos últimos. Un modelo está validado si tiene la capacidad de predecir resultados razonablemente aceptables con respecto a los datos obtenidos en mediciones de campo para las mismas condiciones, aunque esto es muy subjetivo, porque lo que constituye una comparación satisfactoria depende de la naturaleza del problema, el tipo de modelo desarrollado, los propósitos que se persiguen y, en gran medida, la confiabilidad de la información disponible y los resultados obtenidos.

El hecho de que muchos modelos no pueden predecir con seguridad lo que sucede actualmente, no disminuye su gran utilidad como herramienta de ayuda para comprender lo que acontece con el prototipo y estimar los cambios relativos de la calidad del agua, asociados con los cambios de las condiciones de los datos de entrada, resultando alternativas útiles para la reglamentación y control de las descargas que se efectúen. (#4)

En el presente estudio se realizó una calibración no muy rigurosa, pero adecuándose a la escasa información de calidad que fue posible recopilar. Los resultados obtenidos se detallan en el siguiente capítulo.

## 6. SIMULACION DE LA CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO Y DE LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

En este capitulo se presentan:

- a) La forma en que deben estar organizados los datos de alimentacion al programa de computacion que simula el O.D. y la BOD.
- b) Las laminas que resumen los resultados obtenidos con la simulacion de la autopurificacion organica del rio Bravo en su cuenca media.
- c) La discusion de resultados obtenidos.

### 6.1 INFORMACION INICIAL REQUERIDA POR EL PROGRAMA DE COMPUTACION RIBOD I

La informacion que requiere el programa de computacion RIBOD I tiene la siguiente estructura de organizacion:

- a) Datos correspondientes al rio, descargas o extracciones:  
Una matriz de siete columnas y el numero de filas definido por la cantidad de puntos de interseccion que existan. Registra informacion del numero de punto de interseccion, gasto, BOD, O.D., temperatura del agua, elevacion sobre el nivel del mar y profundidad media; en unidades metricas. Esta informacion se registra en las tablas 6.2 a 6.4.
- b) Datos correspondientes a los tramos:  
Una matriz de cinco columnas y el numero de filas definido

por la cantidad de puntos de intersección que existan, registra información del número de punto de intersección, velocidad media, distancia entre puntos de intersección, valor de la constante de desoxigenación y el de la concentración de O.D. mínima permitida; en unidades métricas.

La forma de llenado de esta información y el diagrama de flujo del programa RIBOD I, se presentan en el anexo C.

c) Al correr el programa, éste solicita los siguientes datos:

- Número de puntos de intersección.
- Cadenamiento progresivo y elevación sobre el nivel del mar, para el punto de referencia situado antes del primer punto de intersección.

## 6.2 RESULTADOS OBTENIDOS POR LA SIMULACION

Los resultados obtenidos se presentan más objetivamente en las láminas 6.1. a la 6.3, que corresponden a las variaciones de los niveles de O.D. y D.B.O. en el tramo estudiado.

En dichas láminas, se aprecia un severo descenso en los niveles de O.D. entre los puntos de intersección designados como No. 24 (R.San Rodrigo) y No. 41 (N.Laredo), con un déficit máximo o crítico, producido a una distancia de aproximadamente 270 Km, medidos a partir de la presa La Amistad y corresponde al punto No. 35 (V.Hidalgo); con valores de las concentraciones de O.D. que serán discutidos mas adelante.

Los "puntos de control" disponen de información obtenida de la Red Nacional de Monitoreo de México (R.N.M.), y han servido de referencia en la calibración del modelo.

Comparando los valores obtenidos en la simulación con los registrados en la R.N.M., se aprecia la aproximación obtenida por la curva de simulación en los primeros puntos, también la notable disparidad en el último punto, que corresponde a Nuevo Laredo. Este desfase es del orden de los 2.50 mg/L.

Dicha aproximación, permite plantear algunas hipótesis acerca de la capacidad de autodepuración orgánica del río Bravo en su cuenca media, mismas que se expresan a continuación.

- a) Los datos de calidad estimados para los afluentes y descargas, en el tramo comprendido entre los puntos No. 24 y No. 41, han sido demasiado conservadores o si se quiere, sobreestimados en lo referente a valores de calidad deficiente. Hecho que ocasionó el descenso de los niveles de O.D.; sumándose a ello, los valores propuestos de: velocidad (bajos), constante de desoxigenación (K1) sobreestimada y profundidad media, que incidieron en el cálculo de un valor de K2 tal vez muy bajo y que no dio lugar a una rápida recuperación del O.D.
- b) Que el tramo comprendido entre los puntos No. 24 y No. 41, presente importantes cambios, en comparación a lo considerado en el modelo, en cuanto a sus características fisi-



cas y estas a su vez, alteren el comportamiento hidráulico de la corriente. Este hecho ocasiona que los valores calculados de las constantes de reacción  $K_d$  y  $K_2$ , no guarden relación con lo que sucede en el río.

- c) Que los cuatro valores de O.D. determinados por la R.N.M en el punto No. 41 (N.Laredo); debido a variaciones muy importantes, ocasionadas por: la hora, ubicación del punto de muestreo, condiciones de obtención de las muestras, ninguna relación entre el gasto instantáneo y el utilizado por el modelo; sean poco o nada representativos como valor de referencia.
- d) Que el modelo requiera considerar, la influencia de otros procesos directamente relacionados con la concentración de O.D., tales como, demanda bental, fotosíntesis y respiración de algas, nitrificación u otros que pueden ser la causa de la disminución de O.D. en este tramo del río.

Desafortunadamente, no se cuenta con ninguna información del O.D. y D.B.O., en los puntos comprendidos entre Vado San Antonio y Nuevo Laredo, sobre el río Bravo, que permita corroborar o desechar estas hipótesis.

En cuanto al déficit máximo calculado, debe mencionarse que está definido por el punto crítico, que es aquel donde se registra la mínima concentración de O.D. En todas las simulaciones, prácticamente se situó en la misma posición, es decir a

igual distancia crítica, aunque varía considerablemente el valor de la concentración mínima de  $0.0$  en un ámbito entre  $2.4$  mg/L, menor al mínimo permitido y  $4.33$  mg/L, que es mayor al permitido por reglamento.

Esta variación surgió de la modificación a los datos de calidad en los afluentes y descargas más importantes del tramo, en cada simulación. Por ej. la correspondiente a los retornos de riego agrícola II del distrito Maverick, aguas abajo de Piedras Negras.

Observando las gráficas de U.D. y teniendo en cuenta las hipótesis formuladas, puede intuirse que la forma de la curva se mantiene en cada una de las corridas, y que sólo varían las pendientes antes y después del punto crítico. Este comentario es susceptible de variaciones, según vayan siendo depurados los datos de alimentación al modelo. Sin embargo, el hecho positivo de todo esto, radica en afirmar que la calidad de las aguas del río Bravo, disminuye sistemáticamente en este tramo crítico, debido al uso que se hace de ellas.

Cabe mencionar que la zona donde se manifiesta el déficit crítico, carece de poblaciones importantes que demanden el uso de las aguas del río Bravo, para abastecimiento, aunque se realizan algunas extracciones para riego agrícola, pero en pequeña escala y variables según la época del año; no cuantificadas en las estaciones de CILA, por ser muy pequeñas, com-

paradas con los escurrimientos del río Bravo.

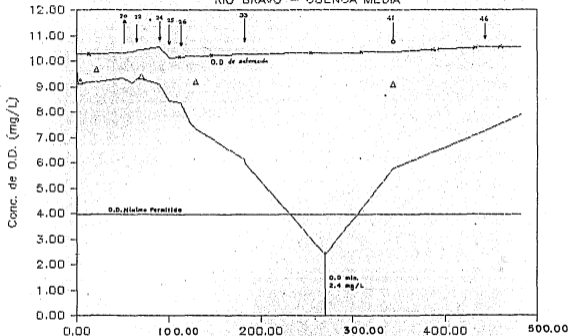
Las gráficas con las variaciones de D.B.O., concuerdan con el análisis realizado para el O.D. y resaltan la importancia ambiental de la cuenca, que tiene el tramo analizado.

Para concluir, se destaca que los resultados obtenidos en las simulaciones de O.D. y D.B.O. muestran que el modelo adoptado, muestra sensibilidad a los cambios que se efectúan en la información de entrada que se le proporciona.

# CAPACIDAD DE AUTODEPURACION

RIO BRAVO - CUENCA MEDIA

16



— Var. de O.D.

- - - O.D. Sat.

△ O.D. Med. R.N.M.

Lámina n° 6.1

# CAPACIDAD DE AUTODEPURACION

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

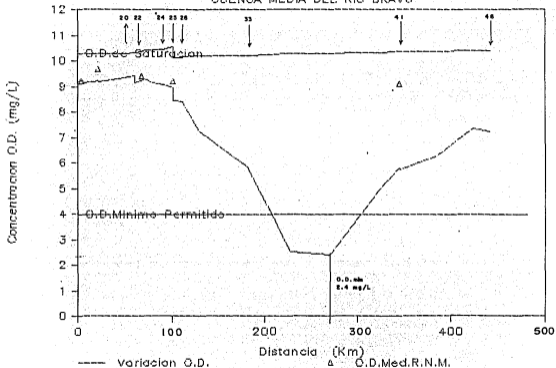


Lámina 6.2.a

# CAPACIDAD DE AUTODEPURACION

## CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

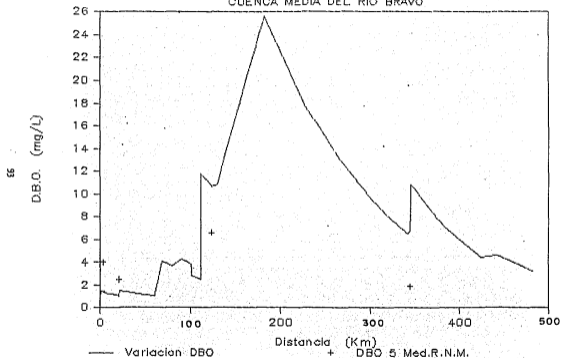
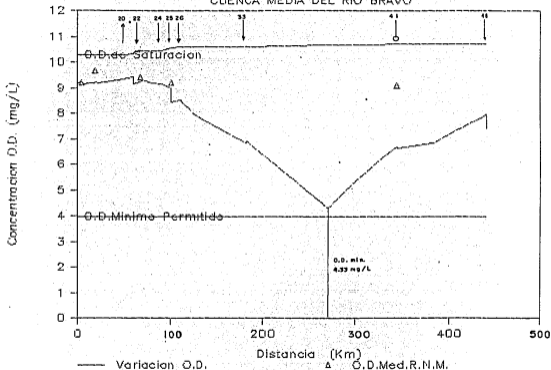


Lámina 6.2.b

# CAPACIDAD DE AUTODEPURACION

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO



# CAPACIDAD DE AUTODEPURACION

CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO

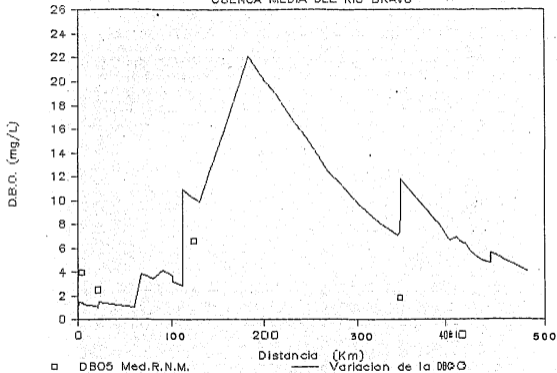


Lámina 6.3.b



## 7. COMENTARIOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se presentan algunos comentarios generales, referidos a los modelos de calidad del agua en un río; también las conclusiones y recomendaciones de este estudio.

### 7.1 COMENTARIOS GENERALES

Estudiar la calidad del agua en una corriente con un modelo que pueda analizar óptimamente o con gran exactitud los problemas de calidad que en ella se presentan; requiere disponer de: información en cantidad y confiabilidad suficientes, conocimiento y experiencia necesarios para desarrollar, calibrar y validar el modelo, y también cumplir con los objetivos de planeación o administración del recurso hídrico que deben estar claramente definidos en la cuenca. Sin embargo, esto es totalmente ideal, ya que lograr la conjunción de estos aspectos en un caso real es prácticamente imposible de conseguir.

El verdadero propósito de un modelo, por ejemplo como el presente, es participar en el contexto de la planeación y administración del recurso hídrico en una cuenca. Que proporcione estimaciones razonables de cómo el sistema de calidad del río es sensible a los cambios ocasionados por diferentes tipos de descargas de aguas residuales u otros desechos. Además porque fundamentalmente un modelo brinda información y no impone alternativas, para las soluciones.

## 7.2 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones derivadas del estudio realizado.

- a) La simulación de los niveles de U.D. y D.B.O. en la cuenca media del río Bravo, permite evidenciar que los resultados obtenidos, pese a las limitaciones del modelo, indican que los efectos de las descargas provenientes de riego agrícola y usos municipales tienen incidencia en la disminución de la calidad del agua en el río. Particularmente en el tramo comprendido entre Vado San Antonio y N. Laredo.
- b) El modelo seleccionado y el programa de computación RIBOD I constituyeron una adecuada herramienta para la simulación, de U.D. y D.B.O. en este estudio preliminar.
- c) Los siete "puntos de control" situados en el tramo estudiado, cuentan con información hidrométrica que permite realizar el balance hídrico del río. Sólo cuatro tienen registros con datos de calidad, periódicamente determinados. Estos puntos de control son de singular importancia para calibrar el modelo.
- d) La información hidrométrica que publica CILA, es muy valiosa y de buena calidad, según se desprende de los resultados obtenidos con el balance de gastos realizado en cada punto de control.

- e) La información de calidad del agua, generada por las estaciones de monitoreo no es completa y abarca sólo una parte del tramo en la cuenca media. La Red Nacional de Monitoreo de México, carece de cierta información importante, requerida por los modelos; por ej. no registran datos sobre gastos de escurrimiento, velocidades, profundidad y otros, que deben ser obtenidos simultáneamente a la toma de muestras "in situ".
- f) Algunos puntos considerados como fuentes contaminantes; por ejemplo los retornos de riego agrícola, que durante todo el año, tienen escurrimientos de importancia, según los datos hidrométricos consultados; carecen de información relativa a la caracterización de sus aguas. Esta situación también se da, con las descargas de aguas residuales de los centros urbanos y de las industrias.
- f) Los objetivos planteados en el capítulo I, han sido debidamente alcanzados; tomando en cuenta, que ha sido necesario realizar un esfuerzo de considerable magnitud para vencer una serie de dificultades, propias de un proyecto de esta índole. Sin embargo, éste es apenas un paso en un largo trayecto a recorrer, para realizar un estudio completo de la capacidad de autodepuración del río Bravo.

### 7.3 RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos y las conclusiones expresadas, a continuación se mencionan algunos comentarios considerados como más importantes.

- a) En cuanto a la determinación de los parámetros de calidad, que realiza la Red Nacional de Monitoreo de México (RNM), se considera primordial: incrementar la cantidad de estaciones de muestreo, sobre todo en el tramo comprendido entre los puntos No. 33 (Retornos de riego agrícola II-Mav.) y No. 41 (N. Laredo), y ampliar o renovar la infraestructura de sus laboratorios y equipo, según sea el caso.
- b) La selección de los parámetros de calidad que deben ser observados en la cuenca media del río Bravo, tomando en cuenta situaciones tales como: los usos de sus aguas, su condición de límite internacional, su costo de monitoreo y otros, debe estar sujeta a los resultados de las consultas entre las instituciones involucradas. Como una guía de referencia se adjunta en el anexo D, una tabla que contiene los parámetros considerados más importantes en un programa de monitoreo en un río, detallándose así mismo, la frecuencia de obtención de muestras.
- c) La coordinación de actividades entre la RNM y CILA, es fundamental, particularmente en la coincidencia de fechas para la toma de muestras y los aforos, que ambas realizan, respectivamente.

d) Como una recomendación muy específica, a objeto de contar con una buena cantidad de información exclusiva para el modelo, a continuación se plantean algunos aspectos a considerar para la realización de un muestreo intensivo.

Este muestreo intensivo debe tener énfasis especial en el tramo crítico, definido por los puntos de intersección No. 24 (río San Rodrigo) y No. 41 (N.Laredo).

Los objetivos básicos de este muestreo intensivo deben estar encuadrados a:

-Completar la información concerniente a la caracterización de las aguas en las descargas principales.

-Determinar los valores de las constantes de desoxigenación y de reaeración.

-Medir las velocidades de escurrimiento, los anchos y profundidades para luego determinar la velocidad, profundidad medias y la sección transversal, según las características físicas de la corriente que se observen.

-Determinar la calidad del agua en los puntos de extracción fijando los parámetros de caracterización según los usos a que estén destinados. Con ello, podrá decidirse qué parámetros deben adicionarse al modelo.

- Ubicar áreas donde existan descargas no puntuales al río Bravo, para tomar muestras. Con los análisis se podrá establecer la importancia de dichas descargas.
- Estimar en campo, la distancia longitudinal que define la zona de mezclado, luego de las descargas principales. Observar la importancia o no de la mezcla lateral y vertical. Esta tarea, es realizada con más precisión, utilizando equipo y trazadores especiales.
- Realizar determinaciones para estudiar la demanda bental y la nitrificación en el tramo entre los puntos No. 26 (Retornos de riego agrícola I - Mav.) y No. 35 (V.Hidalgo).

En los tramos comprendidos entre los puntos No. 33 (Retornos de riego agrícola II - Mav.) al No. 46 (río Salado), realizar pruebas para estudiar la remoción de D.B.O. por sedimentación y la acción de las algas en la producción y consumo de oxígeno; también para el cálculo de la constante de reseración y los nutrientes que son transportados hacia la presa Falcón.

Deben tomarse en cuenta los coliformes, sobre todo en el tramo entre los puntos No. 41 (N. Laredo) y No. 44 (San Ignacio).

Un aspecto que debe ser tomado en cuenta en la planeación del muestreo intensivo, radica en las considerables distancias que deben ser recorridas y el tiempo disponible, para preservar las muestras hasta su traslado al laboratorio más próximo para su análisis.

El número y la experiencia suficientes del personal que participe en él, también es trascendental para garantizar su buen desarrollo.

Tampoco debe descuidarse el número adecuado y el buen estado de funcionamiento del equipo que vaya a ser utilizado.

e) Se estima recomendable que todo proyecto relacionado con el uso de las aguas del río Bravo, contenga un estudio del impacto sobre su capacidad de autopurificación.

### 8. RECONOCIMIENTOS

Este trabajo va dedicado a mi adorada esposa y a nuestro pequeño hijo, que me brindaron mucha comprensión, apoyo permanente y todo su amor, para realizarlo. Extensivo también a mis queridos padres, que siempre inculcaron en mí el ansia de superación humana y profesional.

El agradecimiento muy especial a la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.), que cumpliendo una vez más con la noble tarea de hermanar a las naciones del continente americano, hizo posible la realización de mis estudios de maestría en México.

La motivación que dió origen a este estudio, además del impulso permanente para su culminación, se deben al Dr. Pedro Martínez Pereda, que siempre brindó su decidido concurso y orientación hasta llevar a feliz término su realización. Para él mi admiración y gratitud.

Las valiosas aportaciones hechas por los profesores: Dr. Jorge Aguirre M., M. en I. Gabriela Moeller CH. y el Dr. Alfonso García G. han sido importantes para este estudio. A ellos un reconocimiento muy especial.

El constante aliento y la cooperación brindada por el M. en C. Edmundo Izurieta R., son motivo para expresarle mis sentimientos de gratitud.



Al M.en C. Mario Solano González le agradezco profundamente la desinteresada colaboración prestada, revisando el texto y planteando sugerencias al mismo.

Mi agradecimiento a los apreciados ingenieros Francisco Garza Maldonado y Francisco Garza Cuéllar, por todo el apoyo que me brindaron.

A todos los profesores de la sección de ingeniería ambiental por la labor docente que realizan y el trato que me dispensaron, les manifiesto un profundo reconocimiento.

Por todos los momentos que compartimos y la cálida amistad que me brindaron; a todos mis compañeros de estudios les expreso mis mejores sentimientos de fraternidad.

Al señor Pedro López R., un reconocimiento muy especial por el dibujo de las láminas que se presentan.

9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA . .

1. Arceivala S.J., "Wastewater Treatment and Disposal", Edit. Marcel Dekker, Inc. New York 1981.
2. Bansal Mahendra K., "Deoxygenation in Natural Streams", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.11, No.3, Jun. de 1975.
3. Benschoten John Van, Walker Jr. W., "Calibration and Application of QUAL II to the Lower Winoosky River", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.20, No.1, Feb. 1984.
4. Biswas Asit K., "Models for Water Quality Management", Mc Graw Hill Inc., New York 1981.
5. Burke III Roy, "Velocity Equation for Water Quality Modeling in Georgia", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.19, No.2, April 1983.
6. Castagnino Walter A., "Polución de Agua Modelos y Control", División de Salud Ambiental, Serie Técnica N.20, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria Y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Oficina Sanitaria Panamericana / Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS), Lima - Perú 1980.
7. Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos de Norteamérica (CILA), "Escurrecimientos del río Bravo y Datos Conexos", años 1972 al 1980.

8. Cunge J.A., Holly F.M.Jr., Verwey A., "Practical Aspects of Computational River Hydraulics", Edit. Pitman Advanced Publishing Program".
9. Environmental Protection Agency (EPA), "Water Quality Assessment", 600/6-82-004, Washington D.C. 1982.
10. Ferrara R.A., Dimino M.A., "A Case Study for Seasonal Nitrification: Economic Efficiency and Water Quality Preservation", Journal Water Pollution Control Federation Vol.57, No.7, Jul.1985.
11. Forrest M. Holly Jr., "Two Dimensional Mass Dispersion", Hydrology Papers No.78, Colorado State University, Fort Collins, Sept. 1975.
12. Gerez V., Grijalva, "El Enfoque de Sistemas", Edit. Limusa, Mexico D.F. 1983.
13. Gomez F.R. et al., "Salt Transport by the South Platte River in the Northeast Colorado", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.19, No.2, April 1983.
14. Gordon John A., "Problems with Tracer Measurement of Oxygen Transfer", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.49, No.12, Dec.1977.
15. Liu C.C.K., Foke Y.S., "Stream Waste Assimilative Capacity Analysis Using Reaeration Coefficients Measured by Tracer Techniques", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.19, No.3, Jun.1983.

16. Luttemback B.H., Almeida R.A., " Autodepuración nos Cursos da Agua ", Revista DAE, Vol.46, No.144, São Paulo Brasil, Marzo 1986.
17. Muchmore CH.B., Dziegielewski B., " Impact of Drought on Quality of Potential Water Supply Sources in the Sangamon River Basin ", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.19, No.1, Feb. 1983.
18. Nemerow Nelson, " Models for Water Quality Management ", Mc Graw Hill Inc., Nueva York 1981.
19. Ochoa Felipe y Asociados S.C., " Estudio de la Calidad del Agua en la Cuenca del Rio Bravo ", Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaria de Planeación, Mexico D.F., Sept. 1978.
20. Parra Pardi G., " Estudio Sanitario Integral del Rio Yaracuy ", Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Publicación 74/01, Caracas Venezuela, 1974.
21. Rickert David A., " Use of Dissolved Oxygen Modeling Results in the Management of River Quality ", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.56, No.1, Jan. 1984.
22. Salazar A. Alvaro, " Contaminación de Recursos Hidricos Modelos y Control ", Universidad de Antioquia, Medellin Colombia, Junio 1984.
23. Sanders T.G. et al, " Mixing Length for Representative Water Quality Sampling ", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.49, No.12, Dec. 1977.

24. Savage Neil, Alicamo Joseph, " Does Pollution Abatement Improve Aquatic Life? ", Water & Wastes Engineering, Vol.14, No.9, Sept. 1977.
25. Rich Linvil G., " Environmental Systems Engineering ", Mc Graw Hill Inc., New York 1973.
26. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, " Boletín Hidrológico No.34, Región Hidrológica No.24 Oriente ", Tomos I y II, México D.F. 1970.
27. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, " Boletín Hidrológico No. 34 (Actualización), Región Hidrológica No.24 Oriente ", Tomo III, México D.F. 1977.
28. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, " Boletín No.10: Datos de Calidad del Agua con datos hasta 1980 Región Hidrológica No.24 Cuenca del Río Bravo ", México D.F. 1981.
29. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión del Plan Nacional Hidráulico, " Esquema de Desarrollo Hidráulico para la Cuenca del Río Bravo ", México D.F. Diciembre 1980.
30. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, " Legislación Relativa al Agua y su Contaminación ", México D.F. Diciembre 1976.
31. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, " Simulación Hidrológica del Río Bravo ", Publicación No.6 de la serie: Documentación de la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, México D.F. Diciembre 1980.

32. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidradlicos, " Uso y Manejo del Agua y Aguas Residuales en las Principales Cuencas Hidrológicas del País y en las Localidades Mayores de 10.000 habitantes ", México D.F. 1982.
33. Sparr Ted N., " A Verification of the QUAL I Water Quality Model for the Lower Missisipi River ", Water Resources Bulletin of American Water Resources Association, Vol.15, No.3, Jun. 1979.
34. Thomann Robert V., "System Analysis & Water Quality Management", Mc Graw Hill Book Co., New York 1972.
35. University of Texas at Austin, " Basic Equations and Solution Technique for Development and Documentation of Mathematical Models for the Paraiba River Basin ", Austin Texas 1976.
36. Urroz Jiménez E., " Desarrollo de un Modelo Matemático para el Manejo Óptimo del Agua del Río Lerma: Consideración Especial de la Calidad del Agua ", XII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria, Caracas Venezuela, Agosto 1970.
37. Veiz Clarence J., " Applied Stream Sanitation ", Wiley Interscience, New York 1970.
38. Ward George H.Jr., " The Measurement of Benthai Oxygen Demand in the Houston Ship Channel ", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.56, No.2, Feb. 1984.
39. White Jay D., Dracup John A., " Water Quality Modeling of a High Mountain Stream ", Journal Water Pollution Control Federation, Vol.49, No.10, Oct. 1977.

**ANEXO A**

TABLA No. 2.4 :EXTRACCIONES DE AGUA AL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA, PARA USOS MUNICIPALES  
PERIODO: 1970-1979

PUNTO DE EXTRACCION	VOLUMENES EXTRAIDOS EN MILES DE METROS CUBICOS											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
City of Acapulco (N)	271.40	269.10	279.10	242.70	242.40	294.00	342.90	344.10	333.00	276.00	270.30	270.30
City of Acapulco (E)	0.00	68.40	94.70	83.70	95.70	102.30	98.00	101.00	101.00	94.20	68.70	0.00
City of Acapulco (H)	116.10	140.40	176.60	168.20	172.80	184.60	207.50	229.70	197.30	183.60	152.00	134.40
Piedras Negras	520.90	423.00	491.10	528.50	565.60	561.00	446.20	570.80	560.30	533.70	519.70	530.10
Piedras Negras	244.50	227.70	275.00	318.60	341.20	339.20	325.00	346.80	354.40	324.70	325.90	322.50
Piedras Negras	400.90	345.30	405.60	405.20	450.20	460.80	469.40	494.50	491.40	444.10	424.90	424.60
Nuevo Laredo	2421.10	2309.10	2810.90	2613.10	3306.80	3050.00	3382.80	3451.10	3165.40	3196.70	3091.40	2933.80
Nuevo Laredo	1305.30	1454.70	1668.10	1999.50	1941.60	2003.00	2247.30	2191.60	2040.70	1918.90	1842.80	1831.10
Nuevo Laredo	1965.20	1854.70	2160.60	2096.20	2395.00	2456.90	2620.70	2689.90	2471.20	2472.10	2306.60	2166.40
Del Rio (H)	410.70	744.00	937.00	894.30	1034.40	1150.70	1470.00	1525.70	1199.20	1039.30	624.90	550.10
Del Rio (E)	409.90	483.20	490.70	608.50	575.20	692.20	582.60	617.70	597.50	464.60	448.90	444.60
Del Rio (H)	361.30	527.10	746.80	738.10	772.70	945.20	1010.20	1054.50	800.00	635.50	536.40	501.50
Eagle Pass	376.30	469.40	467.10	502.90	493.30	534.10	718.00	496.10	671.60	625.30	425.70	346.60
Eagle Pass	211.50	256.20	237.00	247.20	261.50	347.20	347.70	321.40	281.60	236.10	231.60	212.20
Eagle Pass	286.50	275.20	343.40	347.70	382.60	428.50	485.20	486.10	392.70	363.40	297.30	287.50
Colonia del Mar	31.40	43.00	10.00	96.60	104.40	94.40	117.80	97.70	87.70	107.30	77.60	59.70
Colonia del Mar	13.40	15.80	20.50	35.80	34.00	37.00	37.40	41.00	40.10	19.20	24.50	22.20
Colonia del Mar	34.70	38.20	34.00	59.30	66.70	70.10	68.20	68.30	57.20	50.10	44.60	39.00
Laredo	1506.40	1528.20	1944.70	2176.10	2295.20	2257.40	2608.30	2890.50	2212.00	2526.80	2044.00	1882.30
Laredo	949.70	977.70	1168.10	1253.10	1306.00	1590.40	1769.00	1631.60	1433.00	1107.70	1143.70	1081.60
Laredo	1272.30	1232.00	1551.50	1674.60	1863.80	1960.40	2213.50	2143.90	1743.30	1652.50	1442.40	1349.90
Estacion Hidroeléctrica de Laredo	145.40	151.40	223.60	176.90	196.10	177.70	219.30	214.40	181.90	266.10	154.90	149.10
Estacion Hidroeléctrica de Laredo	49.30	43.30	51.70	66.50	63.50	85.80	90.90	91.00	61.70	55.50	63.20	47.00
Estacion Hidroeléctrica de Laredo	84.70	84.40	99.50	98.70	118.50	123.10	140.20	139.00	112.50	104.70	91.60	84.90
San Ignacio	4.70	5.40	6.40	7.60	7.80	9.20	10.70	10.50	7.20	8.30	6.50	5.10
San Ignacio	2.00	2.30	3.90	3.70	3.20	3.60	3.90	3.90	3.20	2.20	2.70	2.70
San Ignacio	3.70	4.10	5.20	5.90	5.80	6.20	6.70	6.70	5.20	4.70	4.20	3.90
Nueva Zapala	57.80	65.90	95.10	95.80	97.60	104.10	126.70	110.40	80.40	89.60	89.60	65.70
Nueva Zapala	26.30	27.60	39.60	44.90	48.10	42.10	48.60	38.80	33.60	24.70	33.00	29.10
Nueva Zapala	44.50	47.50	61.00	63.40	66.50	67.50	74.50	75.00	53.50	52.90	49.70	45.80

(N):Volumen naximo

(H)Extracciones hechas al manantial San Felipe

(E):Volumen minimo

(H):Volumen medio

FUENTE: BOLETINES HIDROMETRICOS DE COLA



TABLA No. 2.5 :EXTRACCIONES DE AGUA AL RIO BRAVO EN SU CUENCA NERZA, PARA USOS MUNICIPALES  
PERIODO: 1970-1979

PUNTO DE EXTRACCION	GASTOS DE EXTRACCION EN (m <sup>3</sup> /s)												
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
Ciudad Acuña	(M)	0.101	0.111	0.104	0.094	0.091	0.113	0.123	0.120	0.123	0.104	0.104	0.101
	(M)	0.060	0.028	0.035	0.032	0.036	0.040	0.037	0.039	0.039	0.031	0.027	0.060
	(Me)	0.040	0.058	0.066	0.065	0.065	0.071	0.077	0.086	0.076	0.068	0.059	0.050
Piedras Negras		0.194	0.175	0.183	0.204	0.211	0.217	0.241	0.213	0.216	0.207	0.201	0.199
		0.091	0.094	0.103	0.123	0.130	0.131	0.140	0.129	0.137	0.121	0.126	0.121
		0.149	0.140	0.081	0.086	0.088	0.079	0.085	0.082	0.074	0.086	0.074	0.079
Nuevo Laredo		0.904	0.934	1.049	1.008	1.235	1.177	1.267	1.288	1.221	1.194	1.193	0.953
		0.562	0.401	0.423	0.733	0.725	0.773	0.839	0.818	0.787	0.716	0.711	0.484
		0.734	0.739	0.627	0.271	0.494	0.948	0.970	1.603	0.953	0.923	0.871	0.809
Del Rio (E)		0.228	0.303	0.350	0.345	0.386	0.444	0.549	0.370	0.463	0.388	0.241	0.205
		0.150	0.167	0.183	0.235	0.215	0.267	0.218	0.231	0.221	0.174	0.173	0.166
		0.187	0.218	0.279	0.205	0.288	0.365	0.407	0.394	0.307	0.245	0.195	0.187
Eagle Pass		0.140	0.169	0.182	0.194	0.184	0.206	0.268	0.260	0.259	0.233	0.184	0.129
		0.079	0.085	0.088	0.095	0.090	0.134	0.130	0.120	0.109	0.088	0.089	0.079
		0.187	0.114	0.128	0.134	0.143	0.165	0.185	0.181	0.152	0.136	0.115	0.107
Colonia del Mar		0.019	0.026	0.034	0.037	0.039	0.036	0.044	0.036	0.034	0.041	0.030	0.022
		0.003	0.007	0.008	0.014	0.013	0.014	0.015	0.015	0.015	0.007	0.009	0.008
		0.013	0.016	0.029	0.023	0.025	0.027	0.025	0.026	0.022	0.019	0.017	0.015
Laredo		0.562	0.632	0.726	0.840	0.857	0.871	1.048	1.057	0.893	0.943	0.789	0.673
		0.335	0.404	0.436	0.483	0.488	0.614	0.660	0.617	0.533	0.414	0.441	0.404
		0.475	0.509	0.579	0.646	0.696	0.764	0.826	0.800	0.673	0.621	0.556	0.504
Estacion Hidroeléctrica de Laredo		0.031	0.031	0.042	0.034	0.037	0.034	0.041	0.040	0.035	0.050	0.030	0.028
		0.009	0.009	0.010	0.013	0.012	0.017	0.017	0.017	0.012	0.010	0.008	0.009
		0.016	0.017	0.019	0.019	0.022	0.024	0.026	0.026	0.022	0.020	0.018	0.016
San Ignacio		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
		.000	.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	.000	0.001	0.001
		0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Nueva Zapala		0.011	0.014	0.018	0.018	0.018	0.020	0.024	0.021	0.016	0.017	0.016	0.012
		0.005	0.006	0.007	0.009	0.007	0.008	0.009	0.007	0.006	0.005	0.006	0.005
		0.038	0.030	0.031	0.032	0.032	0.035	0.034	0.034	0.010	0.010	0.010	0.009

(M):Gasto maximo  
(M):Gasto minimo  
(Me):Gasto medio

(E)Extracciones hechas al anexo San Felipe

TABLA No. 2.6: INFORMACION HIDROMETRICA DEL USO DE LAS AGUAS DEL RIO BRAVO (CUENCA MEDIA) EN MAVERICK - TEXAS, DURANTE EL MES DE ENERO

Periodo: 1970 - 1980		Fuente: Boletines CILA										
ANOS ESTACIONES	ESCURRIMIENTOS (ac/a)											GASTO MEDIO (ac/a)
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	
HM Estacion del	37,730	44,790	11,100	15,700	14,300	45,600	42,800	13,300	37,700	43,000	43,900	32,300
en rio Bravo por	36,000	37,730	11,200	10,900	11,100	4,130	33,700	9,000	34,300	41,900	39,100	22,630
Me canal Maverick	36,930	23,100	12,700	11,800	12,600	43,000	40,200	9,600	36,200	43,000	41,600	28,250
HM Retornos al rio:	33,100	30,000	4,670	9,900	8,300	39,500	32,300	7,160	29,600	39,600	36,800	24,560
en Bravo en la H-1	29,900	4,130	0,990	1,630	6,650	27,200	25,900	1,500	24,100	34,000	33,400	16,890
Me agric. Maverick	31,400	10,700	2,260	5,210	2,393	31,500	29,400	3,090	27,300	39,500	34,800	20,140
HM Retornos I al	2,170	2,590	2,220	1,460	2,610	17,000	2,070	1,520	1,920	1,560	1,960	3,316
en Bravo, de riego	1,540	1,450	1,250	0,610	0,990	0,840	1,330	0,830	0,770	0,760	1,000	1,034
Me agric. Maverick	1,790	1,920	1,660	0,930	1,540	1,720	1,730	1,080	1,340	1,040	1,570	1,486
HM Retornos II al	4,250	6,500	6,090	4,960	7,190	3,420	5,010	4,960	3,960	2,960	2,500	4,894
en Bravo, de riego	1,410	3,450	3,260	2,800	2,610	1,210	2,890	2,330	2,430	1,080	1,260	2,272
Me agric. Maverick	2,420	4,790	4,750	4,530	5,860	2,270	4,110	3,540	3,000	1,890	1,760	3,540
HM TOTAL *	77,22	91,07	27,22	33,41	31,30	104,12	82,21	26,94	72,18	89,10	85,16	65,08
en	67,850	24,720	16,700	15,400	15,550	33,380	63,620	13,660	63,600	79,740	74,760	42,635
Me	72,400	40,510	21,400	22,670	22,590	83,490	75,440	17,310	67,640	84,550	79,730	53,432

HM:Gasto Medio  
en:Gasto Medio  
Me:Gasto Medio

TABLE No. 2.7: VOLUMEN DE LAS DESCARGAS (MCM) AL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA  
PERIODO: 1970-1979

PUNTO DE DESCARGA	VOLUMENES EN MILES DE m <sup>3</sup>											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Ciudad Azua (M)	189.96	168.41	15.395.9	19.93	170.36	205.76	240.04	246.90	233.13	194.62	189.18	189.18
Piedras Nuyas (M)	288.00	241.50	18.883.0	13.50	315.00	322.00	345.80	341.60	315.70	310.80	296.90	297.20
Nuevo Laredo (M)	1204.00	1068.00	10.102.0	107.00	1192.00	1055.00	1065.00	1039.00	1155.00	1279.00	1279.00	1331.00
Del Rio (M)	350.70	368.90	13.102.0	116.60	540.40	661.50	763.00	737.80	560.00	458.50	354.48	330.70
Eagle Pass	119.00	168.00	13.102.0	197.00	121.00	133.00	137.00	150.00	136.00	143.00	144.00	137.00
Laredo	715.00	639.00	13.102.0	155.00	917.00	762.00	792.00	777.00	750.00	717.00	765.00	752.00

(M) Periodo de 1970-1979

(\*) Estimados segun la dotacion de agua pluvial

Fuente: Boletín Hidrografico de CILA

TABLE No. 2.8: GASTOS DE LAS DESCARGAS (MCM) AL RIO BRAVO EN SU CUENCA MEDIA  
PERIODO: 1970-1979

PUNTO DE DESCARGA	GASTOS (m <sup>3</sup> /s)											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Ciudad Azua (M)	0.071	0.073	1.100.00	0.066	0.064	0.079	0.098	0.090	0.090	0.073	0.073	0.071
Piedras Nuyas (M)	0.105	0.100	1.100.00	0.109	0.118	0.124	0.129	0.128	0.122	0.116	0.115	0.111
Nuevo Laredo (M)	0.450	0.441	1.100.00	0.400	0.445	0.407	0.398	0.388	0.446	0.478	0.493	0.497
Del Rio (M)	0.131	0.132	1.100.00	0.199	0.202	0.255	0.285	0.275	0.216	0.171	0.137	0.131
Eagle Pass	0.044	0.045	1.100.00	0.042	0.045	0.051	0.051	0.056	0.052	0.053	0.056	0.051
Laredo	0.267	0.264	1.100.00	0.287	0.305	0.294	0.296	0.290	0.289	0.268	0.295	0.281

(M) Periodo de 1970-1979

(\*) Estimados segun la dotacion de agua pluvial

Fuente: Boletín Hidrografico de CILA

TAFLA No. 3-3 : INFORMACION HIDROMETRICIA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION LA AMISTAD

Periodo:1970-1980				Fuentes:Boletines CILA									
MES	AÑOS	ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)							GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)				
		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976		1977	1978	1979	1980
Mx	ENE	32.00	185.00	5.94	5.57	5.55	71.50	33.50	55.00	27.70	51.90	69.10	49.34
Mm	ENE	31.20	13.10	5.39	1.70	2.07	37.80	31.40	28.80	27.38	51.90	66.90	26.97
Mn	ENE	21.70	41.40	5.56	2.45	4.90	51.80	32.80	58.50	27.50	51.90	66.80	33.41
Mx	FEB	200.00	359.00	6.60	72.00	107.00	174.00	135.00	56.70	27.50	51.90	69.10	114.62
Mm	FEB	9.18	103.00	5.59	1.82	1.45	2.89	8.60	28.30	16.50	23.00	35.80	21.47
Mn	FEB	89.70	238.00	5.14	27.40	20.50	84.30	63.80	43.30	26.89	42.00	66.50	64.31
Mx	MAR	196.00	102.00	13.00	7.95	107.00	114.00	135.00	36.00	133.00	192.00	170.00	109.63
Mm	MAR	8.51	13.20	8.95	1.37	24.50	83.00	9.20	21.10	26.89	85.00	35.90	24.79
Mn	MAR	42.70	23.30	9.48	3.25	62.60	110.00	76.38	28.40	78.20	183.00	93.80	64.67
Mx	ABR	41.30	42.30	19.10	276.00	172.00	218.00	260.00	232.00	57.10	188.00	168.00	152.16
Mm	ABR	9.32	29.20	11.10	7.90	24.80	2.89	2.33	28.40	25.20	59.60	28.60	20.85
Mn	ABR	20.90	33.20	13.10	33.00	27.70	163.80	42.10	64.60	39.50	68.50	36.20	49.25
Mx	MAY	121.00	247.00	14.70	281.00	176.00	288.00	257.00	258.00	186.00	224.00	167.00	194.32
Mm	MAY	6.32	30.90	7.81	15.00	46.30	36.50	2.61	112.00	23.00	2.90	28.40	28.34
Mn	MAY	48.60	89.20	11.10	109.00	96.40	75.30	79.90	233.00	120.00	156.00	91.00	100.86
Mx	JUN	172.00	246.00	13.20	38.40	82.40	51.80	42.50	210.00	177.00	344.00	218.00	146.78
Mm	JUN	6.42	1.80	3.91	22.00	37.00	21.70	29.30	2.34	141.00	72.70	4.00	31.11
Mn	JUN	124.00	94.30	7.61	32.30	55.00	30.90	37.20	58.70	156.40	195.00	113.00	78.98
Mx	JUL	125.00	31.60	62.10	44.00	37.20	114.00	85.80	38.10	140.00	334.00	222.00	114.16
Mm	JUL	22.90	31.20	7.10	23.10	35.80	2.91	41.50	29.60	124.00	29.40	57.40	36.81
Mn	JUL	66.50	31.50	10.70	32.50	35.70	66.30	45.80	41.20	129.00	102.00	169.00	66.22
Mx	AGO	27.80	47.30	131.00	117.90	147.00	117.00	574.80	147.00	122.00	142.00	102.00	134.01
Mm	AGO	17.90	1.28	4.31	23.10	36.60	55.20	46.90	14.70	67.20	37.80	55.20	32.71
Mn	AGO	24.00	10.70	7.18	79.70	48.40	91.20	385.00	43.10	70.30	97.60	59.30	76.06
Mx	SEP	37.50	371.50	136.00	233.00	1760.00	115.00	564.80	148.00	82.80	61.00	62.10	324.38
Mm	SEP	12.20	1.67	4.34	4.73	3.60	21.70	41.10	48.80	2.34	15.40	55.20	19.21
Mn	SEP	22.50	8.38	48.20	124.40	604.00	55.00	146.00	124.00	60.40	32.70	58.20	115.94
Mx	OCT	14.20	2.47	137.00	172.00	427.00	152.00	66.30	30.90	194.00	31.60	59.80	117.95
Mm	OCT	1.07	1.50	2.34	2.05	240.80	21.20	15.00	25.20	25.20	15.40	55.20	36.74
Mn	OCT	9.68	1.72	63.60	45.80	374.00	75.30	35.50	27.50	159.00	25.80	57.60	81.75
Mx	NOV	14.60	5.71	31.10	2.20	284.80	150.00	17.00	24.40	145.00	25.50	57.20	70.80
Mm	NOV	14.20	1.67	2.10	1.97	212.00	4.44	1.91	21.70	37.10	26.20	55.20	85.86
Mn	NOV	14.40	3.31	32.30	2.16	239.60	72.10	18.30	25.50	77.50	20.70	56.00	48.59
Mx	DIC	15.20	5.62	3.39	5.77	211.00	32.50	42.40	27.50	90.90	48.90	56.30	50.77
Mm	DIC	14.60	2.77	2.01	2.12	48.20	4.21	2.10	8.10	25.00	19.60	55.20	16.17
Mn	DIC	14.79	4.01	2.24	5.01	99.60	8.42	14.20	26.60	57.30	61.70	56.10	31.80

Mx: Gasto máximo

m: Gasto mínimo

Mn: Gasto medio

# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA--RIO BRAVO

EST.No.4: REPRESA HIDROM.LA AMISTAD

911

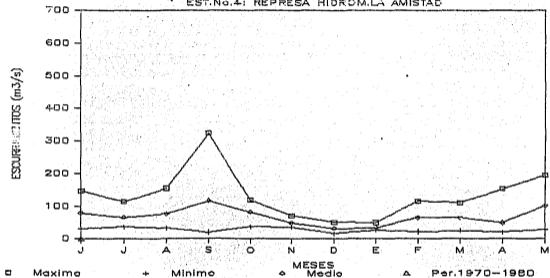


Lámina 3.1

TABLA No. 3.4 : INFORMACION HIDROMETRICA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION DEL RIO - CIUDAD AGUA

Período: 1970-1980		Fuente: Boletines CILA											
MES	AÑOS	ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	
		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979		1980
ENE	MM	33.40	178.00	9.60	16.30	16.30	74.20	39.40	67.70	33.40	56.60	75.60	52.50
ENE	mm	30.90	15.50	7.90	5.47	6.04	41.60	37.90	35.70	30.30	54.16	71.90	39.67
ENE	Mm	32.60	41.90	9.70	6.68	9.15	55.20	38.50	60.00	36.90	55.28	73.30	37.47
FEB	MM	179.00	334.00	12.20	75.00	116.00	175.00	141.00	68.50	31.40	58.30	75.60	116.91
FEB	mm	11.10	101.00	8.24	5.95	4.02	10.90	11.70	34.30	25.00	26.70	65.10	27.64
FEB	Mm	95.20	229.00	9.17	22.00	24.20	84.40	48.50	55.00	30.30	45.90	72.20	67.01
MAR	MM	188.00	104.00	21.40	12.70	128.00	126.00	141.00	58.90	132.00	188.00	178.00	115.45
MAR	mm	9.54	15.50	11.05	5.95	28.60	93.70	12.10	33.40	30.30	37.40	16.50	26.73
MAR	Mm	44.50	25.00	12.90	7.74	69.40	117.00	82.10	34.80	80.40	176.00	100.00	68.28
ABR	MM	41.40	118.00	25.00	276.00	189.00	225.00	274.00	227.00	40.90	180.00	174.00	163.66
ABR	mm	11.90	30.40	15.00	11.80	27.90	10.10	6.23	32.80	28.30	57.50	32.80	24.08
ABR	Mm	25.00	35.60	16.10	37.70	31.10	169.00	46.70	70.20	42.80	71.90	42.20	52.59
MAY	MM	119.00	247.00	22.90	292.00	189.00	211.00	270.00	272.00	207.00	207.00	169.00	200.54
MAY	mm	10.20	31.70	9.74	19.00	15.90	41.10	8.07	125.00	28.30	9.40	32.80	30.14
MAY	Mm	49.00	87.50	14.20	112.00	104.00	80.70	89.20	228.00	120.00	151.00	95.70	103.85
JUN	MM	164.00	245.00	17.70	30.10	98.00	58.00	49.80	221.00	300.00	354.00	217.00	163.33
JUN	mm	8.24	6.74	0.71	26.10	38.80	24.40	32.80	6.80	134.00	72.80	13.50	33.17
JUN	Mm	119.00	77.40	11.00	39.20	61.20	35.70	43.30	63.10	156.00	158.00	116.00	81.72
JUL	MM	121.00	35.20	81.30	33.50	43.20	122.00	527.00	41.70	141.00	337.00	227.80	159.65
JUL	mm	24.50	39.60	10.30	26.60	38.80	14.60	45.90	30.90	119.00	31.70	62.60	39.59
JUL	Mm	63.70	32.40	14.50	38.50	41.90	74.20	60.90	44.20	151.00	110.00	169.00	71.03
AGO	MM	31.70	279.00	283.00	123.00	156.00	126.00	573.00	143.00	125.00	153.00	116.00	209.97
AGO	mm	17.70	4.02	8.50	19.50	38.80	62.60	54.40	16.80	69.90	41.90	59.70	35.84
AGO	Mm	26.00	18.00	13.30	85.50	53.00	98.30	389.00	45.00	75.90	106.00	64.60	81.33
SEP	MM	258.00	1180.00	140.00	245.00	1826.00	121.00	566.00	159.00	150.00	68.20	65.40	433.87
SEP	mm	16.80	4.74	8.24	24.10	13.30	25.70	49.00	36.00	8.25	18.00	59.70	24.04
SEP	Mm	28.90	18.50	42.80	132.00	631.00	60.90	155.00	129.00	66.50	37.70	62.60	124.98
OCT	MM	16.90	13.40	142.00	181.00	430.00	157.00	77.30	55.80	192.00	35.40	62.60	123.94
OCT	mm	4.02	4.77	6.74	8.52	280.00	25.00	18.80	27.80	29.40	18.50	59.70	42.93
OCT	Mm	12.50	5.32	71.90	73.60	377.00	81.30	62.50	31.40	157.00	30.60	60.90	85.82
NOV	MM	17.70	9.26	35.70	8.52	336.00	155.00	21.00	30.90	167.00	26.00	62.63	76.34
NOV	mm	13.40	4.50	5.95	6.57	220.00	9.80	5.38	26.70	63.70	23.20	59.70	39.90
NOV	Mm	17.10	6.48	16.40	7.56	251.00	77.90	14.50	28.70	85.80	24.90	60.60	53.74
DIC	MM	17.70	9.26	6.74	11.10	220.00	38.50	50.70	30.90	97.70	71.90	62.60	56.28
DIC	mm	16.30	5.69	5.95	5.95	45.30	9.43	5.38	17.30	28.00	23.70	59.70	20.25
DIC	Mm	17.10	7.05	6.40	6.40	105.00	11.70	18.00	30.00	61.40	65.40	61.20	35.42

MM: Gasto máximo

mm: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio

# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA-RIO BRAVO

EST. No 17: REPRESA HIDROM. DEL RIO-C.AQUINA

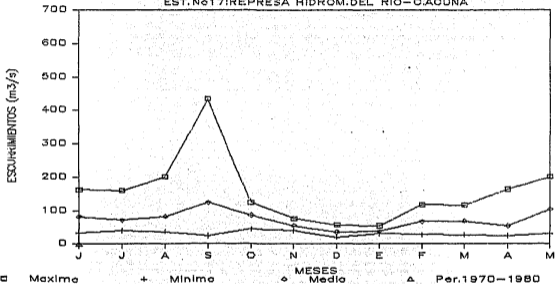


Lámina 3.2

TABLA No. 3.5 : INFORMACION HIDROMETRICA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION JIMENEZ

Periodo:1970-1980													Fuente:Boletines CILA	
MES	ESCURRIMIENTOS (m3/s)												GASTO MEDIO (m3/m)	
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980			
MM	3.77	150.00	11.00	4.03	6.90	101.00	10.20	72.80	5.50	34.00	41.40	40.05		
mm	2.40	2.32	7.30	3.12	4.79	13.40	3.68	53.80	3.50	23.70	31.20	13.57		
Mm	3.18	25.00	9.11	3.61	5.60	27.30	6.28	66.40	4.30	28.30	35.60	19.52		
MM	165.00	324.00	9.36	46.20	89.10	154.00	100.00	76.20	5.50	31.20	41.40	94.81		
mm	2.40	69.10	3.78	3.30	2.45	8.04	3.12	30.00	2.33	8.32	4.23	12.43		
Mm	63.50	205.00	6.56	13.70	14.90	73.60	39.50	59.50	3.47	18.00	33.70	48.22		
MM	165.00	71.30	3.54	3.79	94.50	102.00	99.50	44.80	96.20	307.00	140.00	102.60		
mm	2.38	2.40	2.45	2.25	2.86	57.00	2.64	19.30	2.29	7.70	2.52	9.44		
Mm	31.70	51.50	2.91	3.01	45.40	83.60	4.67	27.30	44.80	133.00	57.30	44.11		
MM	3.28	196.00	49.00	16.00	13.80	208.00	376.00	202.00	62.10	137.00	120.00	125.02		
mm	2.30	2.40	2.45	2.25	2.03	4.78	2.66	6.40	1.66	27.40	0.61	5.10		
Mm	2.39	67.60	4.03	4.18	9.10	140.00	26.90	45.10	9.46	42.80	6.83	32.11		
MM	83.70	215.00	100.00	263.00	166.00	186.00	890.00	230.00	184.00	157.00	299.00	252.13		
mm	2.26	2.40	2.46	1.20	13.40	5.89	11.60	117.00	0.94	8.35	2.80	15.32		
Mm	22.50	51.10	5.80	92.30	73.80	51.20	60.60	195.00	79.90	112.00	60.60	73.16		
MM	124.00	205.00	38.70	134.00	57.00	38.40	17.20	159.00	258.00	626.00	81.60	137.35		
mm	3.28	3.52	1.70	1.20	2.45	2.29	3.07	9.68	101.00	51.00	9.34	17.41		
Mm	78.20	74.20	3.32	5.94	22.20	6.57	7.29	39.20	117.00	139.00	72.80	51.44		
MM	89.50	36.00	28.30	128.00	37.70	2260.00	1330.00	39.80	99.80	276.00	166.00	406.97		
mm	2.37	7.22	1.70	2.15	1.60	3.78	6.03	9.60	84.00	8.68	15.40	12.90		
Mm	37.20	10.80	4.25	8.95	2.71	144.00	117.00	20.80	89.20	81.00	118.00	57.64		
MM	24.10	1460.00	933.00	91.70	128.00	125.00	624.00	108.00	91.80	115.00	1890.00	459.16		
mm	2.28	7.56	4.62	3.79	1.52	36.50	57.00	6.70	35.20	10.40	14.60	16.38		
Mm	5.46	75.90	32.90	49.30	16.10	82.10	127.00	22.66	39.30	69.90	53.60	70.38		
MM	944.00	593.00	169.80	232.00	1670.00	216.00	409.00	116.00	106.00	64.10	75.00	434.92		
mm	5.09	15.00	7.71	2.86	20.30	13.80	31.00	19.70	4.10	5.20	20.60	13.40		
Mm	28.70	25.10	35.30	138.00	692.00	35.80	158.00	89.10	39.10	14.20	28.40	105.26		
MM	46.10	13.50	122.00	767.00	519.00	127.00	70.70	368.00	134.00	5.80	46.80	228.91		
mm	11.70	12.50	7.40	3.80	278.00	11.60	17.30	4.90	15.40	4.61	28.50	36.45		
Mm	19.70	22.30	63.20	34.20	383.00	55.20	31.60	12.50	124.00	5.16	33.50	75.77		
MM	11.70	18.00	7.71	13.40	286.00	128.60	33.30	15.00	1070.00	5.80	48.30	148.29		
mm	6.91	13.40	5.89	8.69	292.00	8.37	14.60	5.80	44.80	3.50	25.60	30.67		
Mm	8.57	15.40	6.68	10.80	238.00	35.90	19.40	6.66	83.50	4.22	30.40	42.62		
MM	6.91	13.10	4.17	8.19	704.00	23.10	62.10	6.30	72.80	46.20	35.20	44.66		
mm	4.62	9.80	3.17	5.32	17.50	5.87	14.20	3.50	15.40	3.50	24.00	9.66		
Mm	5.16	11.70	4.73	5.72	93.80	7.37	23.90	4.57	42.00	29.70	28.90	22.60		

MM: Gasto máximo

mm: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio



# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA-RIO BRAVO

EST. No. 23: JIMENEZ

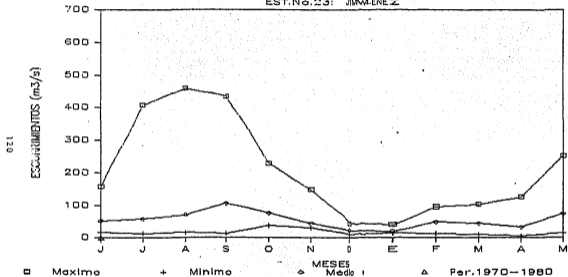


Lámina 3.J

TABLA No. 3.6 : INFORMACION HIDROMETRIKA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION PIEDRAS NEGRAS - EAGLE PASS

Periodo: 1970-1980		Fuente: Boletines CILA											
		ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO	
AVOS		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	MEBIO
PES													(m <sup>3</sup> /s)
Mx		43.90	177.00	25.10	17.40	17.40	116.00	43.80	85.20	34.20	80.80	91.50	66.57
mx	ENE	37.90	11.80	14.40	7.30	7.30	37.10	38.40	64.20	30.30	48.90	73.80	37.78
Mm		40.80	37.30	20.00	12.70	12.10	49.70	41.80	74.90	32.60	73.10	80.00	45.00
Mx		195.00	321.00	24.00	79.70	100.00	162.00	127.00	86.10	36.40	77.60	81.00	117.21
mx	FEB	12.80	105.00	19.30	8.70	5.81	45.40	7.37	42.50	25.90	43.20	55.80	32.98
Mm		85.30	229.00	17.30	38.30	20.60	96.10	61.70	68.50	32.30	61.70	77.00	71.44
Mx		207.00	105.00	18.30	18.90	171.00	160.00	129.00	50.90	121.00	325.00	175.00	134.56
mx	MAR	6.80	6.40	7.66	5.98	26.00	85.60	6.88	29.00	23.60	43.80	37.70	25.75
Mm		52.50	20.90	12.50	9.62	72.40	109.00	76.50	37.70	71.00	183.00	88.80	66.74
Mx		26.40	185.00	34.30	53.10	35.80	438.00	248.00	257.00	97.50	185.00	160.00	157.19
mx	ABR	4.90	15.50	7.03	5.98	18.00	44.90	16.10	30.50	20.70	73.00	25.00	23.42
Mm		16.60	27.40	11.40	30.40	22.30	167.00	53.70	72.40	37.40	87.10	89.80	51.41
Mx		124.00	229.00	85.40	267.00	203.00	204.00	873.00	482.00	221.00	264.00	376.00	332.58
mx	MAY	12.20	15.50	5.94	6.32	36.80	38.70	44.20	206.00	13.50	70.70	21.70	42.32
Mm		42.90	65.70	16.70	106.00	75.30	88.20	111.00	271.00	110.00	159.00	92.80	105.42
Mx		222.00	434.00	95.20	106.00	75.20	138.00	97.50	200.00	325.00	322.00	119.00	212.26
mx	JUN	77.60	25.90	5.30	12.40	23.00	23.20	21.90	32.90	133.00	93.00	32.70	45.56
Mm		112.00	117.00	10.70	32.30	45.30	42.80	25.80	79.10	160.00	158.00	110.00	85.73
Mx		109.00	126.00	36.30	53.10	27.90	4210.00	1320.00	73.20	158.00	335.00	195.00	605.05
mx	JUL	13.00	26.20	5.47	21.10	19.80	27.10	21.50	31.00	107.00	35.80	46.50	33.13
Mm		55.20	44.90	12.00	49.80	24.30	256.00	359.00	49.80	129.00	113.00	148.00	111.99
Mx		110.00	766.00	439.00	133.00	130.00	173.00	602.00	149.00	128.00	140.00	930.00	358.18
mx	AGO	13.50	30.10	9.02	29.60	20.30	94.20	97.60	11.90	63.50	43.00	42.30	41.21
Mm		26.20	121.00	53.90	75.13	40.80	127.00	342.00	40.40	77.90	97.20	105.00	160.79
Mx		428.00	406.00	210.00	252.00	1920.00	170.00	583.00	155.00	194.00	124.00	319.00	451.00
mx	SEP	17.30	30.30	15.30	39.50	75.40	48.80	83.60	51.60	43.50	16.80	33.70	42.48
Mm		61.40	43.10	53.10	149.00	422.00	90.20	199.00	128.00	93.20	41.90	76.00	140.72
Mx		111.00	197.00	147.00	935.00	642.00	174.00	136.00	296.00	217.00	33.80	145.00	275.98
mx	OCT	20.30	33.60	17.20	34.30	226.00	43.90	46.80	76.00	57.00	15.30	66.40	53.91
Mm		37.29	57.30	94.00	143.00	411.00	93.30	74.70	45.20	176.00	27.00	81.20	111.81
Mx		25.90	34.50	43.50	33.50	323.00	172.00	63.40	48.40	984.00	29.40	91.20	168.55
mx	NOV	19.70	24.50	12.90	15.80	232.00	19.00	27.00	29.00	98.20	23.80	65.40	51.49
Mm		23.10	28.70	23.30	22.30	272.00	92.10	48.70	34.00	158.00	26.00	74.60	73.00
Mx		22.30	25.70	19.80	15.30	233.00	40.90	64.50	35.50	123.00	73.80	81.00	67.03
mx	DIC	17.90	20.00	9.06	11.90	57.60	16.90	27.00	26.60	54.80	26.00	67.40	30.16
Mm		20.50	22.70	12.10	12.50	124.00	19.30	41.30	32.10	87.50	63.30	74.90	41.69

Mx: Gasto máximo

mx: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio

# HIDROMETRIA CUENCA MÉDIA—RIO BRAVO

EST.No.29:PIEDRAS NEGRAS - EAGLE PASS

122

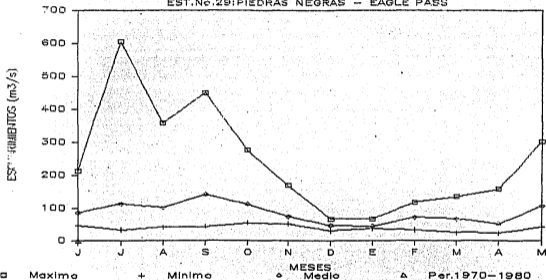


Lámina 3.4

TABLA No. 3.7 : INFORMACION HIDROMETRICA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION VAZO SAN ANTONIO

Periodo: 1970-1993		Fuente: Boletines CILA													
		ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO			
ANOS		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
MES															
Mx		46.70	182.00	34.50	27.60	27.20	66.70	53.80	78.80	43.60	56.60	85.00	71.26		
mx	ENE	39.60	29.10	24.20	17.20	20.00	55.40	42.50	75.60	34.50	81.80	77.60	44.52		
Mm		42.20	48.20	27.20	21.70	22.40	71.60	45.30	89.20	99.90	80.10	80.70	52.23		
Mx		202.00	311.00	34.50	90.00	116.00	125.00	129.00	98.00	43.30	91.30	83.30	129.35		
mx	FEB	14.80	182.00	18.80	14.50	12.40	49.60	17.00	56.40	30.30	58.00	46.30	40.15		
Mm		84.10	227.00	25.70	46.70	26.20	102.00	67.70	81.00	38.20	75.90	75.60	77.28		
Mx		311.00	111.00	25.50	23.70	193.00	147.00	135.00	59.20	131.00	320.00	176.00	129.31		
mx	MAR	12.70	13.10	15.10	13.30	34.30	65.10	15.60	41.90	27.30	34.70	34.30	29.61		
Mm		58.30	27.60	18.60	17.20	83.80	114.00	84.10	49.00	75.00	195.00	91.30	73.95		
Mx		38.60	165.00	34.30	56.60	40.50	447.00	289.00	273.00	130.00	236.00	189.00	171.82		
mx	ABR	11.00	21.70	14.80	14.80	26.20	46.70	14.00	37.70	27.80	73.90	26.90	28.66		
Mm		20.40	32.00	17.50	24.20	30.00	172.00	62.00	82.40	43.30	98.50	45.00	58.15		
Mx		197.00	221.00	81.80	250.00	202.00	222.00	787.00	688.00	232.00	255.00	838.00	295.80		
mx	MAY	15.40	21.70	11.50	14.40	32.80	43.40	51.00	201.00	18.70	76.50	25.70	46.57		
Mm		46.70	66.00	23.40	119.00	104.00	101.00	116.00	276.00	117.00	168.00	110.80	112.17		
Mx		145.00	2330.00	77.60	106.60	97.80	309.00	71.60	236.00	320.00	671.00	125.00	404.45		
mx	JUN	35.70	28.20	9.00	11.40	29.20	28.50	24.50	39.90	128.00	84.10	55.80	43.79		
Mm		104.00	169.00	16.80	38.50	52.10	54.40	45.80	82.10	166.00	225.00	109.30	96.25		
Mx		121.00	187.00	32.30	231.00	37.40	1710.00	1080.00	77.00	153.00	362.00	218.00	384.61		
mx	JUL	18.40	31.40	8.81	27.70	23.20	33.70	37.10	36.50	113.00	43.30	53.50	58.78		
Mm		61.70	49.80	17.10	47.40	31.40	294.80	362.00	54.10	122.00	127.00	163.00	117.34		
Mx		132.00	762.00	521.00	144.80	144.00	183.00	674.00	149.00	152.00	154.00	1016.00	365.82		
mx	AGO	17.80	47.30	12.30	49.20	27.90	86.70	123.00	18.70	64.00	46.70	47.90	46.41		
Mm		39.90	136.00	61.40	79.60	66.20	153.00	379.00	44.50	77.90	185.00	128.00	110.72		
Mx		555.00	394.00	189.60	595.00	1920.00	152.00	660.00	151.00	201.00	141.00	306.00	474.91		
mx	SEP	23.30	41.60	25.20	44.20	83.20	35.50	104.00	58.60	51.50	21.90	62.00	52.11		
Mm		67.60	56.60	58.60	150.00	617.00	93.20	228.00	124.00	97.70	67.60	82.70	147.84		
Mx		119.00	247.00	155.00	886.00	637.80	173.00	130.00	262.00	228.00	36.80	155.00	275.35		
mx	OCT	26.20	45.90	26.90	39.60	292.00	45.00	63.70	33.40	65.70	17.60	73.90	66.35		
Mm		42.50	75.70	94.30	153.00	395.00	93.20	94.80	51.50	182.00	30.30	91.70	119.09		
Mx		30.60	51.30	57.20	49.20	326.00	167.00	82.10	68.70	1010.00	24.80	130.00	180.64		
mx	NOV	24.60	37.40	22.40	24.60	213.00	30.30	47.90	39.10	114.00	25.10	74.80	39.56		
Mm		27.90	42.00	37.30	32.30	263.80	98.80	64.20	41.90	186.00	31.40	65.80	82.45		
Mx		28.20	37.70	46.10	26.60	230.00	49.80	82.10	43.20	146.00	85.80	52.20	75.07		
mx	DIC	23.00	31.40	19.80	18.70	67.70	24.50	46.20	34.50	65.10	28.90	71.30	39.04		
Mm		25.80	34.50	23.40	22.90	137.00	27.90	56.10	39.60	103.00	71.90	87.20	56.30		

MM: Gasto máximo

mm: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio

# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA—RIO BRAVO

EST.No.34: VADO SAN ANTONIO

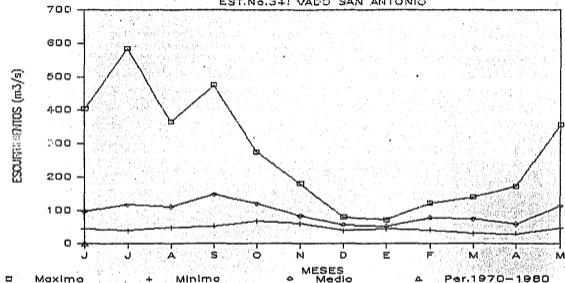


Lámina 3.5

TABLA No. 3.8 : INFORMACION HIDROMETRIKA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION VILLA NEBLGO

Periodo: 1970-1980		Fuente: Boletines CILA											
		ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO	
ANOS		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	MEGIO
MES												(m <sup>3</sup> /s)	
MM		49.60	170.00	38.10	27.20	31.40	103.00	52.40	37.00	44.50	102.00	83.10	72.57
mm	ESE	43.40	17.40	25.40	13.20	21.20	60.40	27.60	28.20	29.00	85.00	77.00	44.63
Mm		43.70	34.70	31.40	23.20	23.20	75.40	47.80	87.10	41.20	92.50	79.20	52.87
MM		199.00	341.00	38.00	90.70	114.00	117.00	121.00	94.80	46.30	94.00	83.10	121.72
mm	FEB	17.70	113.50	19.00	17.10	16.40	54.70	14.00	57.80	32.70	50.10	68.00	41.62
Mm		81.80	232.00	23.10	42.40	24.70	108.00	82.40	82.40	37.60	75.00	77.00	76.76
MM		211.00	112.00	44.30	25.00	194.00	155.00	135.00	63.30	134.00	310.00	165.00	140.89
mm	MAR	12.60	16.50	17.10	13.20	27.30	52.60	17.20	45.30	27.60	33.10	41.00	30.50
Mm		63.60	30.90	19.50	17.60	84.10	113.00	87.00	52.50	73.60	199.00	87.50	74.68
MM		31.40	136.00	33.50	53.00	37.30	418.00	218.00	273.00	133.00	514.00	171.00	184.82
mm	ABR	10.30	25.10	13.60	13.60	24.80	54.80	16.70	38.50	27.80	79.00	21.80	29.29
Mm		20.90	33.00	17.40	37.40	29.70	170.00	58.90	78.10	46.60	118.00	45.40	50.40
MM		228.00	201.00	95.70	238.00	220.00	402.00	487.00	788.00	436.00	265.00	449.00	365.43
mm	MAY	16.70	21.60	13.60	14.00	30.20	43.80	50.80	291.00	29.40	66.70	22.90	45.60
Mm		57.70	63.90	27.80	106.00	105.00	116.00	116.00	291.00	119.00	168.00	95.90	114.11
MM		148.00	4150.00	68.60	91.00	90.30	316.00	68.00	203.00	328.00	1350.00	121.00	630.35
mm	JUN	44.80	35.40	6.70	16.40	29.00	33.60	26.60	40.70	127.00	94.00	61.30	47.00
Mm		112.00	357.00	16.40	41.40	53.20	42.80	40.60	84.20	165.00	252.00	103.00	117.24
MM		156.00	891.00	26.40	201.00	37.90	3018.00	1130.00	76.00	387.00	344.00	210.00	391.14
mm	JUL	17.10	38.70	6.70	23.80	28.70	38.00	37.40	37.40	115.00	44.10	31.20	39.85
Mm		66.30	72.20	14.20	49.60	30.70	234.00	424.00	56.10	129.00	137.00	162.00	125.00
MM		128.00	972.00	393.00	131.00	360.00	229.00	584.00	148.00	239.00	129.00	1280.00	438.45
mm	AGO	16.70	26.80	12.80	37.50	25.90	85.60	127.00	16.70	65.10	47.60	40.60	46.52
Mm		32.50	165.00	44.70	74.90	50.20	126.00	336.00	42.50	82.80	107.00	175.00	115.25
MM		676.00	422.00	175.00	619.00	1910.00	143.00	577.00	157.00	274.00	150.00	305.00	491.64
mm	SEP	24.50	43.50	28.20	47.90	155.80	54.80	117.00	58.30	52.10	23.00	56.00	58.17
Mm		67.00	73.20	56.00	154.00	395.00	92.70	229.00	130.00	109.00	54.20	76.20	148.96
MM		141.00	942.00	184.00	1070.00	591.00	168.00	148.00	226.00	226.00	40.40	184.00	356.40
mm	OCT	24.30	50.50	27.10	43.60	320.00	47.00	66.10	24.70	71.70	19.60	77.40	72.80
Mm		46.10	144.00	94.20	176.00	425.00	90.40	195.00	57.20	181.00	32.40	95.60	131.70
MM		31.00	67.80	57.00	75.20	332.00	161.00	78.40	51.00	986.00	37.20	130.00	184.42
mm	NOV	23.00	40.60	21.60	27.90	250.00	32.30	50.20	39.00	112.00	26.90	75.70	63.39
Mm		27.10	43.10	32.10	35.90	264.00	104.00	69.40	43.00	180.00	32.00	87.50	85.92
MM		22.90	40.40	55.00	27.00	252.00	32.50	92.20	44.50	140.00	80.70	92.80	80.63
mm	DIC	21.00	21.50	20.20	20.00	71.40	28.10	43.80	33.90	67.80	27.50	82.30	40.68
Mm		25.60	37.10	24.10	22.50	146.00	30.20	57.70	40.20	106.00	67.80	87.30	57.85

MM: Gasto máximo

mm: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio

# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA—RÍO BRAVO

EST.No.35: VILLA HIDALGO

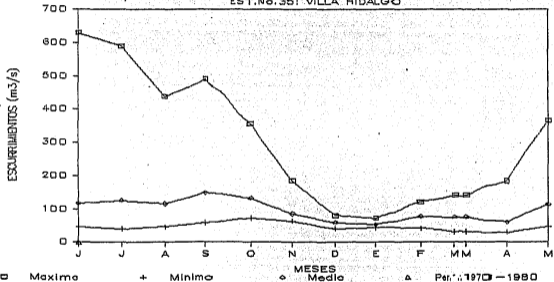


TABLA No.3.9 : INFORMACION HIDROMETRICA CORRESPONDIENTE A LA ESTACION NUEVO LAREDO

Periodo:1970-1980		Fuentes:Boletines CILA											
		ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO	
ANOS		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	MEIO
MES		(m <sup>3</sup> /s)											
Hr		51.00	178.00	39.90	27.30	27.00	100.00	37.80	107.00	36.40	93.30	78.60	72.94
mm	EHE	42.80	17.50	23.30	19.50	29.60	65.20	27.90	85.70	33.80	79.80	70.90	44.82
Mm		45.80	33.60	33.80	22.90	22.90	79.40	32.40	97.50	36.20	86.80	73.80	53.19
Hr		293.00	317.00	21.60	92.90	111.00	122.00	124.00	105.00	40.20	84.80	78.60	119.65
mm	FEB	16.40	108.00	21.20	17.50	15.70	86.60	15.00	60.40	29.50	46.30	65.20	43.44
Mm		79.80	230.00	29.00	51.20	29.00	108.00	66.60	88.90	35.50	71.00	72.80	77.71
Hr		210.00	104.00	49.40	25.40	182.00	150.80	145.00	64.90	129.00	320.00	163.00	140.34
mm	MAR	11.40	14.70	13.90	10.10	34.90	118.00	15.80	50.40	26.90	51.90	35.90	34.89
Mm		66.80	29.10	20.40	17.10	95.20	118.00	90.40	55.50	71.50	182.00	80.20	74.20
Hr		27.50	121.00	56.00	57.30	41.40	406.00	219.00	260.00	129.00	485.00	167.00	179.02
mm	ABR	13.50	21.40	11.20	9.83	24.90	59.60	15.00	42.60	25.70	74.20	21.50	29.23
Mm		18.80	30.80	16.70	35.30	287.00	172.00	62.30	77.20	42.00	115.60	43.80	81.89
Hr		732.00	220.00	655.00	238.00	188.00	878.00	886.00	939.00	358.00	266.00	1040.00	528.36
mm	MAY	13.90	21.40	10.00	13.30	29.80	45.40	59.60	210.00	18.10	64.40	21.50	46.09
Mm		50.80	59.60	44.50	108.00	108.00	133.00	135.00	305.00	115.00	163.60	127.00	121.90
Hr		202.00	390.00	61.40	221.00	91.70	284.00	66.80	210.00	310.00	1410.00	131.00	426.17
mm	JUN	49.30	36.90	8.68	14.40	27.20	37.00	30.90	42.60	133.00	101.80	68.50	49.23
Mm		115.00	331.00	17.80	43.60	50.80	70.20	47.30	91.20	172.00	265.90	97.20	118.28
Hr		139.00	2140.00	26.10	182.00	30.50	2390.00	1190.00	75.30	327.00	359.00	201.00	643.63
mm	JUL	15.30	49.30	6.40	29.60	21.80	36.60	41.90	39.70	110.00	44.10	55.00	40.68
Mm		67.80	183.00	14.90	47.10	26.80	245.00	386.00	56.70	124.00	138.00	151.00	123.64
Hr		103.00	1070.00	515.00	130.00	290.00	220.00	650.00	154.00	256.00	170.00	1080.00	421.64
mm	AEO	15.10	36.40	12.00	33.80	24.20	96.10	133.00	21.30	61.50	42.30	37.50	46.63
Mm		30.20	196.90	64.60	74.00	48.90	145.00	366.00	43.60	80.10	102.00	163.00	119.40
Hr		686.00	808.00	179.00	462.00	1810.00	153.00	645.00	157.00	235.00	150.00	310.00	581.36
mm	SEP	20.80	43.80	28.20	46.50	140.00	65.00	113.00	62.50	61.30	19.20	51.60	59.21
Mm		63.60	106.00	94.90	156.00	599.00	104.00	248.00	131.00	111.60	50.90	71.60	152.36
Hr		163.00	2120.00	154.00	929.00	865.00	191.00	106.80	198.00	225.00	32.50	205.00	478.95
mm	OCT	23.70	31.90	30.30	41.50	333.00	52.80	70.50	27.90	68.80	15.50	72.40	71.68
Mm		48.50	242.00	102.00	172.00	441.00	98.40	111.00	53.80	181.00	25.90	91.90	142.50
Hr		39.40	80.00	58.50	103.00	332.00	177.00	129.80	44.30	266.00	29.32	123.00	170.23
mm	NOV	23.70	44.40	22.40	27.70	236.90	34.60	56.80	38.80	109.00	23.00	48.80	61.85
Mm		27.60	52.20	32.80	36.40	279.00	112.60	76.10	37.00	176.00	26.10	81.90	85.11
Hr		30.40	50.80	53.80	27.70	337.00	35.80	94.00	39.30	137.00	78.70	87.30	79.20
mm	DIC	22.20	36.60	22.60	20.90	72.10	28.00	47.70	31.10	62.60	25.10	73.20	40.19
Mm		27.40	40.60	26.30	23.60	142.00	30.60	63.40	35.80	102.00	62.70	82.90	57.97

Mm: Gasto máximo

mm: Gasto mínimo

Mm: Gasto medio



# HIDROMETRIA CUENCA MEDIA—RIO BRAVO

EST. No. 41; NUEVO LAREDO

128

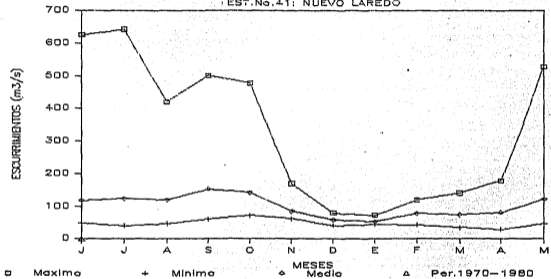


Lámina 3.7

Tabla No. 6.1 : INFORMACION HIDROMETRICA DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO, CORRESPONDIENTE AL MES DE ENERO

Período: 1970 - 1980				Fuente: Boletines CILA								
CÓDIGO ESTACIONES	DESCARGAMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979		1980
RM Arroyo y manantial Carlos	0.330	0.320	0.720						1.340	1.650		0.956
M	0.180	0.310	0.640						1.340	1.650		0.964
M	0.330	0.310	0.690						1.340	1.650		0.980
RM Manantial Lourdes	0.040	0.040	0.050						0.070	0.060		0.052
M	0.040	0.040	0.040						0.050	0.050		0.044
M	0.040	0.040	0.050						0.060	0.050		0.048
RM Arroyo y manantial Hilda	0.050	0.050	0.050						0.100	0.090		0.078
M	0.040	0.040	0.080						0.070	0.070		0.060
M	0.050	0.050	0.080						0.080	0.080		0.068
RM Represa Hidroeléctrica La Avistaf	32.000	135.000	5.940	5.590	5.530	71.500	33.500	35.000	27.700	51.900	69.100	49.344
M	21.200	17.100	5.370	1.790	2.070	37.800	21.400	28.800	27.300	51.900	66.050	26.969
M	21.700	41.650	5.560	2.450	4.900	33.800	32.800	38.500	27.500	51.900	66.600	33.410
RM Manantial N-15	0.010	0.020	0.040						0.030	0.040		0.028
M	0.010	0.020	0.040						0.030	0.040		0.028
M	0.010	0.020	0.040						0.030	0.040		0.028
RM Manantial N-5	0.040	0.070	0.070						0.085	0.090		0.071
M	0.040	0.070	0.070						0.080	0.070		0.070
M	0.040	0.070	0.070						0.080	0.070		0.070
RM Arroyo Jaboncillos	0.620	0.670	1.370						1.880	2.000		1.394
M	0.580	0.660	1.230						1.820	1.790		1.294
M	0.590	0.670	1.350						1.860	1.900		1.274
RM Arroyo del Huey	0.210	0.370	0.410						0.170	0.190		0.274
M	0.200	0.360	0.410						0.190	0.190		0.270
M	0.200	0.370	0.410						0.190	0.190		0.272
RM Manantial Ernestina	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
M	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
M	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003

Tabla No. 6.1 : INFORMACION HIDROMETRICA DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO, CORRESPONDIENTE AL MES DE ENERO  
(cont.)

Periodo: 1971 - 1980		Fuente: Boletines CILA										
ANOS ESTACIONES	ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979		1980
MM	0.430	0.200	0.230						0.320	0.320		0.304
ss. Marañón María	0.410	0.190	0.220						0.320	0.320		0.292
Ms	0.420	0.190	0.230						0.320	0.320		0.296
MM Arroyo Hilla									0.090	0.110		0.100
ss Ocho									0.090	0.100		0.095
Ms									0.090	0.100		0.095
MM	0.160	0.180	0.200						0.200	0.220		0.196
ss Marañón McKee	0.160	0.170	0.190						0.180	0.210		0.182
Ms	0.170	0.170	0.200						0.180	0.220		0.188
MM Arroyo de la	0.110	0.100	0.120						0.110	0.110		0.110
ss Trolifluna	0.100	0.090	0.120						0.110	0.110		0.106
Ms	0.110	0.090	0.120						0.110	0.110		0.108
MM	0.160	0.270	0.430						0.520	0.500		0.300
ss Arroyo Cienega	0.120	0.190	0.300						0.480	0.450		0.308
Ms	0.150	0.210	0.420						0.500	0.480		0.332
MM Del Rio - Clu-	33.400	179.000	9.600	10.300	10.300	74.200	37.400	67.700	33.400	56.600	75.600	53.500
ss del Acuña	20.900	15.300	7.900	5.470	6.060	41.600	37.900	35.700	33.300	54.100	71.900	39.666
Ms	52.600	41.900	8.780	6.880	7.150	55.200	38.500	66.000	30.700	55.200	79.300	37.474
MM Arroyo de	0.320	0.200	0.420	0.280	0.240	23.300	0.330	0.470	0.140	0.270	0.080	2.363
ss Las Vacas	0.240	0.150	0.290	0.150	0.170	0.130	0.200	0.270	0.120	0.180	0.080	0.182
Ms	0.290	0.160	0.320	0.180	0.220	0.350	0.250	0.360	0.130	0.210	0.080	0.233
MM Arroyo	3.510	2.620	3.160	4.300	4.100	4.050	4.220	4.360	4.930	3.940	4.450	4.041
ss San Felipe	2.680	1.910	2.210	3.820	3.430	3.340	2.170	3.680	2.130	3.620	3.060	3.033
Ms	3.200	2.380	3.630	4.100	3.790	3.630	3.240	3.940	3.790	3.820	3.370	3.537
MM	3.370	0.050	0.750	0.570	0.750	0.250	0.220	1.150	0.400	0.280	0.090	0.740
ss Arroyo Pinto	1.440	0.010	0.420	0.420	0.590	0.140	0.110	0.930	0.340	0.210	0.050	0.424
Ms	2.410	0.050	0.750	0.590	0.670	0.190	0.170	1.030	0.360	0.230	0.070	0.567

Tabla No. 6.1 : INFORMACION HIDROMETRICA DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO BRAVO, CORRESPONDIENTE AL MES DE ENERO  
(cont.)

Periodo: 1970 - 1980		Fuente: Boletines CILA										
ANOS ESTACIONES	ESCURRIMIENTOS (m <sup>3</sup> /s)										GASTO MEDIO (m <sup>3</sup> /s)	
	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979		1980
MM	2.050	4.590	8.140	3.290	5.060	8.150	6.100	12.400	3.700	15.500	3.210	6.781
en Rio San Diego	2.460	2.500	6.840	2.690	3.290	4.140	3.380	11.600	2.500	8.730	1.850	4.489
Ma	2.790	3.850	7.920	3.000	4.240	5.740	4.710	11.800	2.750	12.300	2.560	5.603
MM	2.770	150.000	11.600	4.030	4.990	181.000	10.200	72.600	5.500	14.000	41.400	40.633
en Silvera	2.600	2.920	7.360	3.120	4.770	12.400	3.680	33.600	3.510	29.700	31.200	13.574
Ma	2.180	25.000	9.110	3.610	5.600	27.300	6.280	66.400	4.300	18.300	35.600	19.516
MM	0.400	2.530	5.370	2.630	3.340	3.150	2.210	5.950	0.300	7.620	0.590	3.040
en Rio San Rodrigo	0.420	1.380	3.960	1.810	1.680	2.100	1.630	4.790	0.230	3.480	0.260	2.158
Ma	0.320	1.870	4.590	2.170	2.020	2.480	1.840	5.430	0.240	6.120	0.430	2.535
MM	43.900	177.000	25.100	17.400	17.400	116.000	43.800	85.200	34.200	81.800	71.500	66.573
en Piedras Negras	37.900	11.600	16.600	7.200	9.300	57.100	38.400	64.200	33.300	69.900	73.800	37.782
Ma	40.900	37.300	20.600	12.700	12.100	69.700	41.600	74.900	32.600	75.100	80.000	45.000
MM	1.280	1.020	5.460	2.150	2.180	1.400	2.520	9.720	1.120	7.290	1.330	3.388
en Rio Escudillo	0.170	0.290	4.310	2.630	1.990	1.180	1.930	8.200	0.950	5.660	1.210	2.593
Ma	0.230	0.840	4.810	2.680	2.110	1.300	2.220	8.720	1.630	6.330	1.340	2.956
MM	46.700	182.000	34.500	27.000	29.200	86.700	53.800	98.600	42.600	76.600	85.000	71.264
en Veto San Antonio	39.600	20.100	24.200	17.200	20.000	56.600	42.500	75.600	34.500	81.600	77.600	44.518
Ma	42.700	40.200	29.200	21.700	22.400	71.600	49.300	89.200	39.900	86.100	88.700	52.227
MM	49.600	170.000	32.100	27.200	31.400	103.000	52.400	97.000	44.500	102.000	83.100	72.573
en Villa Hidalgo	40.400	19.400	23.400	16.300	21.200	68.400	27.600	78.200	39.000	86.000	77.000	44.627
Ma	43.700	34.900	31.400	23.200	23.200	75.400	47.800	89.100	41.200	92.500	79.200	52.873
MM	51.000	172.000	39.900	27.300	27.000	100.000	57.800	109.000	38.400	95.300	78.600	72.936
en Nuevo Laredo	42.800	17.500	29.300	19.200	26.600	65.200	27.900	85.700	33.800	76.600	76.900	44.818
Ma	45.800	33.600	33.800	22.900	22.900	79.400	52.400	97.500	36.200	86.000	78.800	53.191
MM	2.300	0.000	15.600	6.350	8.500	2.950	37.000	60.000	2.750	37.200	2.750	19.657
en Rio Salado	0.940	0.000	12.900	3.680	5.060	1.820	27.900	17.300	1.540	19.100	1.120	8.318
Ma	1.620	0.050	23.400	4.340	6.910	2.480	52.400	27.500	1.990	27.000	1.640	12.575
MM TOTAL	277.32	1229.61	229.29	199.34	156.92	695.60	366.21	679.34	245.55	594.88	537.10	470.15
en "	236.153	102.603	132.023	85.793	100.343	305.013	246.703	467.373	211.273	496.153	476.033	267.807
Ma "	253.393	266.193	187.153	110.453	120.213	466.663	353.633	586.383	227.753	537.143	498.893	326.452

MM: Caudal Máximo

en: Caudal Mínimo

Ma: Caudal Medio

Los casilleros que están en blanco corresponden a los datos que CILA publica en conjunto.

TABLA 6.2 : GASTOS Y PROFUNDIDAD MEDIOS EN EL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA, PARA EL MES DE ENERO

Periodo:1970-1980	DISTANCIA	GASTO	ESCALA	PROFUNDIDAD
ESTACIONES	ACUMULADA	MEDIO	EN EL R. BRAVO	MEDIA
	(Km)	(x3/s)	(s)	(s)
MN Cortina de la		46.218	1.620	
os presa La Anis-		25.901	1.600	
Ma lad	0.000	32.314	1.630	2.063
MN Represa Hidro-		49.344	0.970	1.213
os metrica		25.969	0.910	1.019
Ma La Anistad	3.400	33.410	0.680	1.100
MN Del Rio - Cla-		53.500	0.940	1.050
os dad Acuña		36.666	0.730	0.938
Ma	20.500	37.474	0.780	0.975
MN		40.035	1.700	2.125
os Jimenez		13.574	0.770	0.963
Ma	70.200	19.516	0.840	1.050
MN		66.573	1.540	1.925
os Piedras Negras		37.782	1.340	1.675
Ma	123.900	45.000	1.400	1.750
MN		71.264	2.050	2.363
os Uedo San Anto-		44.518	1.850	2.313
Ma nio.	182.700	52.227	1.980	2.475
MN		72.573	0.830	1.038
os Villa Hidalgo		44.627	0.560	0.700
Ma	270.300	52.873	0.700	0.875
MN		72.936	1.130	1.438
os Nuevo Laredo		44.819	0.880	1.100
Ma	344.400	53.191	0.960	1.200
MN		19.657		
os Rio Salado		8.319		
Ma	441.700	13.573		

MN:valores maximos  
 os:Valores minimos  
 Ma:Valores medios

TABLA 6.3 : MEDICIONES DE LA TEMPERATURA DEL AGUA EN EL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA

Período: 1974-1993		Fuente: Red Nacional de Monitoreo SARH											
MES ESTACION		TEMPERATURA DEL AGUA EN EL RIO (°C) (media)											
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	AGOSTO
Represa Hidroeléctrica	Trincea La Avilalad	12.80	10.40	13.33	17.50	21.00	21.50	24.20	27.50	27.00	23.70	17.50	15.60
Rep. Hidroeléctrica	Del Río - C. Acuña	15.80	9.00	13.50	17.00	19.00	24.00	26.00	32.00	28.00	21.00	15.00	17.00
	Río Bravo, 1 Km a las aguas abajo C. Acuña		14.00		16.00	18.00	24.50	24.00	25.00	27.00	24.00	19.50	
	Río San Diego antes del R. Bravo	11.70	10.50	17.00	20.00	19.70	25.50	25.70	28.00	28.00	21.00	18.50	
	Río San Rodrigo aguas del R. Bravo	10.80	14.00	17.50	20.00	20.40	27.40	28.00	29.00	28.70	25.00	19.00	12.00
	Río Bravo, puente P. Negras - E. Pass	11.30	10.00	12.70	20.00	22.30	24.70	23.70	26.50	25.00	23.00	18.00	11.50
	Río Escondido aguas del R. Bravo	12.50	10.30	17.30	20.70	21.50	28.00	24.80	30.00	24.30	28.70	16.70	13.00
	R. Bravo, 1 Km aguas abajo P. Escondido	14.50		25.00		22.33	27.50	29.00	27.00				
	R. Bravo, se puente Inter. Nuevo Laredo	9.80	13.99	19.20	23.10	24.10	28.70	27.40	28.30	27.00	24.80	17.30	13.90
	Descarga colector Mina en N. Laredo	18.00	21.30	21.00	24.10	27.00	27.00	29.00	35.00	29.00	24.50	19.00	17.50
	Descarga colector Coahuila, N. Laredo	20.00	22.30	20.00	23.00	24.50	27.00	27.00	35.00	29.50	24.30	18.30	16.50

Nota: Las casillas en blanco carecen de información

TABLA 6.4 : MEDICIONES DE LA CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO EN EL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA

Periodo:1975-1980		Fuente:Red Nacional de Muestreos SARH											
MES		CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO (mg/L) (media)											
ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
Represa Hidroeléctrica La Asistat	9.20	9.70	10.00	9.80	8.50	9.10	7.20	7.30	7.40	7.50	7.10	6.15	
Rep. Hidroeléctrica del Río - C.Acaña	7.70	6.50	10.30	9.10	9.60	8.60	8.90	8.40	7.90	8.60	9.70	10.00	
Río Bravo, 1 Km aguas abajo C.Acaña		12.00	13.00	9.40	10.60	9.20	8.00	7.50	7.40	9.70	9.70		
Río San Diego antes del P. Bravo	7.50	9.20	9.10	8.60	8.20	7.40	7.70	6.60	8.00	8.00	9.00	7.00	
Río San Rodrigo antes del P. Bravo	7.30	10.70	9.10	8.20	8.00	7.40	7.00	7.20	8.10	8.30	8.70	6.30	
Río Bravo, puente P. Negras - E.Pasa	9.60	11.70	9.20	7.94	8.30	7.60	7.30	7.30	8.00	8.25	8.30	9.10	
Río Escondido antes del P. Bravo	9.20	9.10	8.50	8.20	8.30	8.20	8.30	8.30	7.80	8.20	9.00	7.20	
R.Bravo, 1 Km aguas abajo R. Escondido	11.00		8.70	8.40	8.10	8.70	9.10	8.60					
R.Bravo, en puente Inter.Nuevo Laredo	9.10	10.60	9.30	8.00	8.40	8.00	7.80	6.70	7.30	7.30	8.70	10.00	
Descarga colector Mina en N. Laredo													
Descarga colector Coshella, N.Laredo													

Nota: Las casillas en blanco carecen de información

TABLA 6.5 : VALORES DE LA DEMANDA BIQUIMICA DE OXIGENO (DBO5) EN EL RIO BRAVO - CUENCA MEDIA  
(medias)

Periodo:1974-1980		Fuente:Red Nacional de Muestreo SARH											
MESES	DEMANDA BIQUIMICA DE OXIGENO (DBO5 mg/L)												
ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
Represa Hidroeléctrica La Asistad	4.00	3.50	2.50	2.30	2.00	1.50	1.30	2.40	1.80	1.50	2.80	3.20	
Rep. Hidroeléctrica Del Rio - C. Acuña	2.50		2.10	4.00		1.30	0.90				1.20	1.60	
Rio Bravo, 1 Km abajo C. Acuña		2.80	3.00	4.80		1.00	3.00	4.60	3.80	2.00	2.00	4.00	
Rio San Diego aguas del R. Bravo	4.60	4.80	7.00	1.40	2.60	5.00	3.60	4.00	2.00	3.60	4.00	2.00	
Rio San Rodrigo aguas del R. Bravo	5.60	4.80	4.20	2.80	2.70	1.40	4.00	4.50	3.20	2.60	2.60	2.00	
Rio Bravo, puente P. Negra - S. Pasa	4.20	4.00	2.40	3.00	2.90	2.30	8.90	3.00	1.70	3.00	3.50	2.80	
Rio Escudido aguas del R. Bravo	5.40	3.00	2.00	4.60	4.00	5.00	5.00	3.20	2.30	2.30	2.00	2.60	
R. Bravo, 1 Km aguas abajo R. Escudido	4.40		6.20	8.40	14.00	8.70	2.40	1.15					
R. Bravo, en puente Inter. Bravo Laredo	1.90	1.30	3.00	3.40	3.30	2.60	2.70	4.50	2.80	2.50	3.50	2.60	
Pescara collector Mina en R. Laredo	21.90	203.00	424.00	657.00	273.00	491.00	394.00	550.00	142.00	227.00	374.00	906.00	
Pescara collector Coahuila, R. Laredo	345.00	204.00	494.00	639.00	430.00	420.00	420.00	470.00	138.00	415.00	470.00	624.00	

Nota: Las casillas en blanco carecen de información



TABLA 6.5 : VALORES DE LA DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (BDO) EN EL RÍO BRAVO - CUENCA MEDIA  
(mg/L/día)

Período: 1976-1993		Fuente: Red Nacional de Monitoreo SARN											
MES	ESTACION	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO 1985 mg/L													
Represa Hidroeléctrica	La Frías	4.00	3.50	2.50	2.30	2.00	1.30	1.30	2.40	1.80	1.50	2.80	3.20
Rep. Hidroeléctrica	Del Río - C. Azuña	3.50		2.10	4.00		1.30	6.90				1.20	1.60
Río Bravo, 1 Km a-	guas abajo C. Azuña		2.90	2.00	4.20		1.60	3.00	4.60	3.80	2.00	2.00	4.00
Río San Diego	antes del R. Bravo	4.60	4.00	7.00	1.40	2.60	5.00	3.60	4.00	2.00	3.60	4.00	2.00
Río San Rodrigo	antes del R. Bravo	5.60	4.00	4.20	2.00	2.70	1.40	4.00	4.30	3.20	2.40	2.00	2.00
Río Bravo, guardia	P. Negras - S. Paso	4.60	4.00	2.40	2.00	2.90	2.30	8.90	3.00	1.70	3.60	3.50	2.00
Río Escondido	antes del R. Bravo	5.00	3.00	2.60	4.60	4.00	5.00	5.00	3.10	2.50	2.30	2.00	2.40
R. Bravo, 1 Km aguas	abajo P. Escondido	4.40		6.20	5.40	14.00	8.70	2.40	1.15				
R. Bravo, en puente	Inter. Nuevo Laredo	1.70	1.60	1.30	3.40	3.10	2.60	2.70	4.50	2.00	2.50	3.50	2.60
Descarga colector	Mina en N. Laredo	21.90	283.00	434.00	457.00	293.00	491.00	394.00	556.00	142.00	227.00	374.00	908.00
Descarga colector	Cañulla, N. Laredo	315.00	304.00	494.00	439.00	430.00	420.00	420.00	470.00	139.00	415.00	470.00	424.00

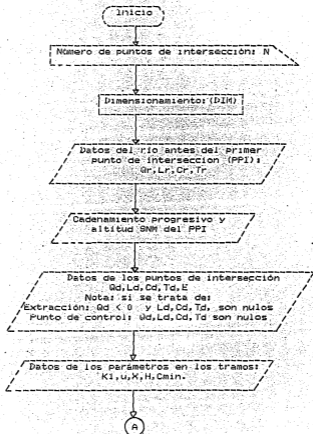
Nota: Las celdas en blanco carecen de información.

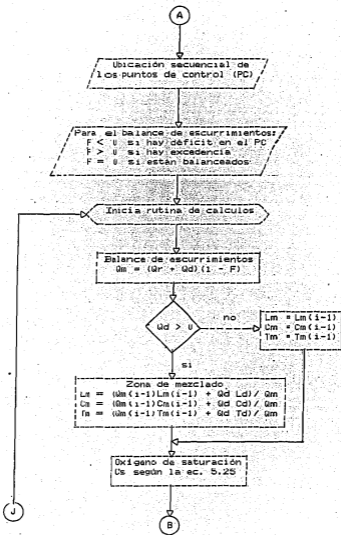
ANEXO B

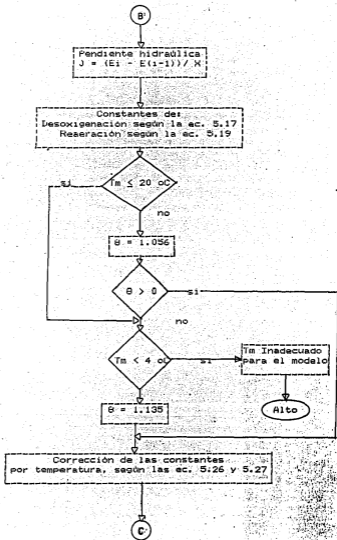
\*\*\*\*\*

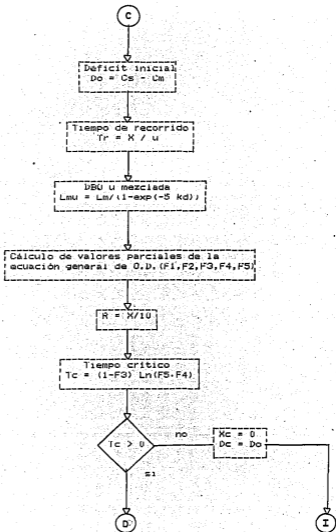
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE COMPUTACION EN BASIC  
RIBOD I, DESARROLLADO PARA EL MODELO

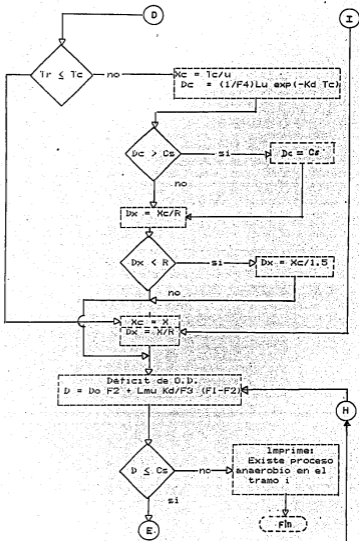
I  
N  
T  
R  
O  
D  
U  
C  
C  
I  
O  
N  
  
D  
E  
  
D  
A  
T  
O  
S

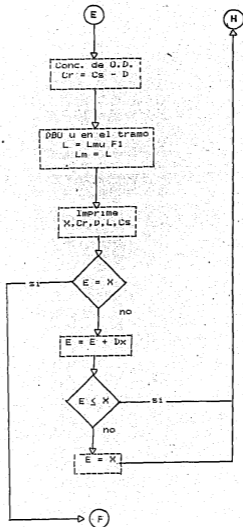


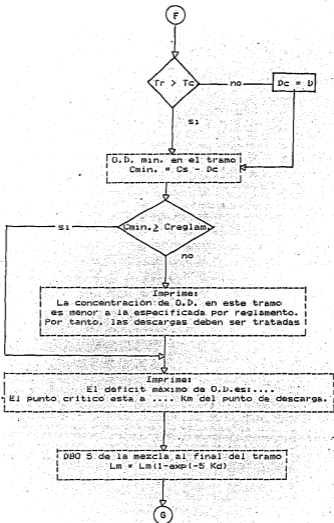




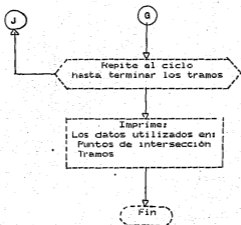












**SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN EL DIAGRAMA DE FLUJO**

- Qr : Gasto de escurrimiento del río (m<sup>3</sup>/s)
- Lr : D.B.O. 5 del río (mg/L)
- Cr : Concentración de O.D. en el río (mg/L)
- Tr : Temperatura del agua en el río (oC)
- Qd : Gasto de afluente, descarga o extracción (m<sup>3</sup>/s)
- Ld : D.B.O. 5 en el afluente, descarga o extracción (mg/L)
- Td : Temperatura del agua en el afluente, descarga o extracción (oC)
- K1 : Constante de desoxigenación, según las muestras analizadas en laboratorio (1/día) base e.
- u : Velocidad media en el tramo (m/s)
- X : Distancia entre dos puntos de intersección (Km)
- H : Profundidad media en un tramo (m)
- Cmin: Concentración de O.D. mínima permitida (mg/L)
- F : Factor de corrección del balance de escurrimientos
- Qm : Gasto resultante de la mezcla (m<sup>3</sup>/s)
- Lm : D.B.O. 5 resultante de la mezcla (mg/L)
- Tm : Temperatura después de la mezcla (oC)
- Cs : Concentración de saturación del O.D. (mg/L)
- E1 : Altitud sobre el nivel del mar (mSNM)
- J : Pendiente hidráulica (milésimas)
- E : Constante de Arrhenius
- Do : Déficit inicial de O.D. (mg/L)
- Kd : Constante de desoxigenación del río (1/día) base e.
- K2 : Constante de reaeración (1/día) base e.
- tr : Tiempo de recorrido (día)
- F1, F2, F3, F4, F5: Relaciones de simplificación de la ecuación del déficit.
- R : Relación de división proporcional de la distancia (Km)
- Tc : tiempo crítico (día)
- Xc : Distancia crítica (Km)
- De\* : Déficit crítico de O.D. (mg/L)
- Dx : Intervalo de división proporcional de la distancia (km)
- D : Déficit de O.D. en el tramo (mg/L)
- L : D.B.O. u en el tramo (mg/L)
- E : Distancia acumulada, por tramo (Km)

ANEXO C

FORMA PARA LA INTRODUCCION DE DATOS DEL RIO, AFLUENTES, DESCARGAS O EXTRACCIONES, AL MODELO DE SIMULACION RIBOD I

Proyecto:

Informacion para el periodo:

Estacion Numero	Gasto (m <sup>3</sup> /s)	BOD 5 (mg/L)	C.O. (mg/L)	Temperatura del agua (°C)	Elevacion SNM (m)	Profundidad media (m)
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

FORMA PARA LA INTRODUCCION DE DATOS EN LOS TRAMOS, AL MODELO DE SIMULACION RIBOS I

Proyecto:

Informacion para el periodo:

Estacion numero	Tramo numero	Velocidad media (m <sup>3</sup> /s)	Distancia (m) (kg/L)	Constante K1 a 20 °C (l/dia)	O.N. minimo permilido (mg/l)
0					
1	0				
2	1				
3	2				
4	3				
5	4				
6	5				
7	6				
8	7				
9	8				
10	9				
11	10				
12	11				
13	12				
14	13				
15	14				
16	15				
17	16				
18	17				
19	18				
20	19				
	20				

#: Casilla donde se llenan los datos

ANEXO D

Tabla 7.1: Parametros de calidad del agua considerados más importantes en un programa de monitoreo

No.	Parametro	Indice Factor	Frecuencia sugerida
1	Cationes y aniones más importantes (*1)	Salinidad	C, M
2	Conductividad específica o sólidos disueltos	Variabilidad inorgánica	C
3	Elementos menores (*2)	Geoquímico	M
4	Dureza de Ca y Mg		S
5	Ciclo del Nitrógeno (total, nitratos, nitritos)	Nutrientes	D
6	Ciclo del Fósforo (total y ortofosfatos)	Nutrientes	D
7	Oxígeno disuelto	Oxidación	C, M
8	pH	Acid. y corr. Geoquímico Salud acuac.	C, M
9	Radioactividad (alfa y beta) (*3)	Radioquímico	T
10	Carbon (total o disuelto)	Orgánico	M
11	Pesticidas (*4)	Orgánico Ecol.-S.Publ.	M
12	Fitoplancton y organismos bentónicos seleccionados	Biológico Integración	M
13	Turbiedad y sólidos suspendidos	Físico	C o D
14	Temperatura	Físico	C
15	Demanda bioquímica de oxígeno	Carga orgánica	S
16	Microorganismos (coliformes)	Desechos humanos y anim.	S
17	Color y olor	Físico	M

C: continuo D: diario S: semanal M: mensual T: trimestral

(\*1): Fe, Mn, cloruros, sulfatos, fluoruros.

(\*2): Cu, Pb, As, cianuro, cromo total hexavalente, Ba, Cd, Se, Ag, Zn.

(\*3): radio 226, estronio 90

(\*4): DDD, DDE, DDT, dieldrin, endrin, heptacloro, heptacloro epoxido, lindano, 2.4-D, silvex, 2, 4, 5-T.

Fuente: Durum Walton H. "Water & Water Pollution Handbook", Vol. 1(chap.1), Edit. Marcel Dekker Inc. New York 1971.