

01177



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y
DOCTORADO EN INGENIERIA

**PRONOSTICO DEL BALANCE HIDRAULICO EN
EL ESTADO DE COAHUILA UTILIZANDO COMO
FUENTE COMPLEMENTARIA LAS AGUAS
RESIDUALES**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

(INGENIERIA AMBIENTAL)

PRESENTA:

ALBERTO CARLOS FLORES FARIAS

DIRECTOR:

DR. PEDRO MARTINEZ PEREDA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTÁ TESIS NO SALL
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

VOTOS APROBATORIOS

DR. WILFRIDO RIVERA GOMEZ FRANCO
Coordinador del Programa de Posgrado
en Ingeniería, U N A M
P r e s e n t e

Por este medio comunico a usted que he leído la tesis titulada:
"PRONOSTICO DEL BALANCE HIDRAULICO EN EL ESTADO DE COAHUILA UTILIZANDO COMO
FUENTE COMPLEMENTARIA LAS AGUAS RESIDUALES" para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA en el campo del conocimiento **INGENIERIA AMBIENTAL**,
que presenta el alumno **ALBERTO CARLOS FLORES FARIAS**.

Al mismo tiempo me permito informarle mi decisión de otorgar o no el voto
aprobatorio.

JURADO	VOTO		
	APROBATORIO	FIRMA	FECHA
PRESIDENTE DR. RAMON DOMINGUEZ MORA	(SI) (NO)	<i>Ramón Domínguez Mora</i>	01/06/2004
VOCAL DR. PEDRO MARTINEZ PEREDA	(SI) (NO)	<i>Pedro Martínez Pereda</i>	25/04/04
SECRETARIO DR. VICTOR MANUEL LUNA PABELLO	(SI) (NO)	<i>Victor Manuel Luna Pabello</i>	01/06/04
SUPLENTE M EN I. VICTOR FRANCO	(SI) (NO)	<i>Victor Franco</i>	27/04/04
SUPLENTE M EN I. ANTONIO RAMIREZ GONZALEZ	(SI) (NO)	<i>Antonio Ramírez González</i>	04/05/04

BJS*jac.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Alberto Carlos Flores Farias
FECHA: 4-junio-2004
FIRMA: Alberto Carlos Flores Farias

A mis padres Álvaro y Roble

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Pedro Martínez Pereda por haber fungido como mi tutor y por su gran colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Guerrero Guzmán por su incondicional apoyo.

A todos mis sinodales, profesores de la maestría, amigos y compañeros quienes siempre me ayudaron con su apoyo y sugerencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado, UNAM.

A la Comisión Estatal de Aguas y Saneamiento de Coahuila.

Y en general a todos lo que hicieron posible esta investigación.

RESUMEN

Actualmente la escasez de agua, sobre todo en las zonas áridas de México, se ha convertido en un problema que afecta en mayor o menor grado al hombre y a los ecosistemas. El efecto que causa es limitante para el consumo humano y el desarrollo del país. Cada vez es más difícil llevar a cabo el abastecimiento de agua para los diferentes usos. Dada la tendencia a maximizar el aprovechamiento de los recursos, el uso de aguas residuales municipales tratadas se debe contemplar como una alternativa para solucionar la demanda. Para poder realizar un proyecto de reuso, es necesario estimar el volumen esperado de agua, tanto de primer uso como de segundo uso. En este trabajo de investigación se plantea una metodología para pronosticar la cantidad de agua en una región hidrológica. Para realizar el pronóstico del balance hidráulico, se aplicó un modelo de series de tiempo multivariadas (Vectores Autorregresivos VAR's), asimismo, se efectuó un procedimiento para generar las variables del modelo de pronóstico que permiten hacer el diagnóstico de la situación histórica de las aguas, finalmente, se desarrolló un ejemplo de aplicación para una sola cuenca del estado de Coahuila.

Los resultados permiten concluir que la aplicación de series de tiempo para pronosticar balances hidráulicos, son de utilidad para disminuir la incertidumbre de la cantidad del agua en un futuro y deducir si existirá escasez en un tiempo en la región hidrológica. Además, se pueden simular diferentes escenarios de reuso de acuerdo con el aumento en la producción de aguas residuales municipales, permitiendo una mejor planeación de proyectos de reuso en toda la región hidrológica.

ABSTRACT

Currently, in Mexico's arid zones, scarcity water supply is considered as a potential problem that affects people and ecosystems. Its effect is a constrain on human consumption and the country development. Water supply is becoming very difficult for satisfying the different requirements. In order to maximize resources the usage of municipal residual waters must be considered as a alternative to satisfy a demand. To be able to carry out a good recycling project one must estimate the expected water volume both of first and second usage. This research work proposes a methodology to forecast the amount of water in a hydrological region. The forecast of hydraulic balance was obtained with a multivariate time series model (Vector Autoregressive, VAR's). A procedure to generate data for the four variables in the forecasting model was applied. With these data one can diagnose the historical situation of waters. Finally, an illustrative example was applied to the Coahuila state basin.

The results led us to conclude that applying a time series model to forecast hydraulic balances is useful to reduce uncertainty about feature water supply and foresee whether or not there would be enough water in a given hydraulic region. Different recycling scenarios can also be simulated depending on the increase of generation municipal waste water, this will allow better planning of recycling projects in the hole hydrological region.

CONTENIDO

RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	IX
MARCO TEÓRICO	X
1. BALANCE HIDRÁULICO	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Disponibilidad de agua actual en México	1
1.1.2 Usos del agua en México	4
1.2 Balance Hidráulico	5
1.2.1 Balance de masa	5
1.2.2 Variabilidad hidráulica en el tiempo	6
1.2.3 Modelo de series de tiempo	7
2. ENTRADAS	10
2.1 Volumen medio anual de entradas	10
2.2 Precipitación	11
2.2.1 Medición de la precipitación	11
2.2.2 Análisis de los datos de precipitación	11
2.3 Serie de tiempo entradas	14
3. SALIDAS	16
3.1 Volumen medio anual de salidas	16
3.2 Evaporación	17
3.2.1 Medición de la evaporación	17
3.2.2 Análisis de los datos de evaporación	18
3.3 Serie de tiempo salidas	19
4. FUENTES	20
4.1 Volumen medio anual de fuentes	20
4.2 Aguas residuales tratadas	20
4.3 Serie de tiempo fuentes	21

5. SUMIDEROS	22
5.1 Volumen medio anual de sumideros	22
5.2 Uso municipal	22
5.2.1 Población	23
5.2.2 Volumen de agua para uso público	23
5.3 Uso agrícola	23
5.3.1 Volumen de agua para uso agrícola	23
5.4 Serie de tiempo sumideros	24
6. ANÁLISIS DE UNA REGIÓN HIDROLÓGICA EN COAHUILA	25
6.1 Antecedentes de la subcuenca Río Salado de Nadadores	25
6.1.1 Localización	25
6.1.2 Aguas superficiales	25
6.1.3 Aguas subterráneas	28
6.1.4 Población y vivienda	28
6.1.5 Situación actual del agua en la región	29
6.1.6 Usos del agua en la región	29
6.2 Entradas	30
6.2.1 Estaciones meteorológicas	30
6.2.2 Precipitación	31
6.2.3 Polígonos de Thiessen	31
6.2.4 Serie de tiempo entradas	39
6.3 Salidas	40
6.3.1 Evaporación	40
6.3.2 Serie de tiempo salidas	42
6.4 Fuentes	44
6.4.1 Aguas residuales tratadas	44
6.4.2 Serie de tiempo fuentes	44
6.5 Sumideros	45
6.5.1 Uso público	45
6.5.2 Uso agrícola	48
6.5.3 Serie de tiempo sumideros	48
6.6 Pronóstico	50
6.6.1 Situación del agua en el tiempo	50
6.6.2 Pronóstico del balance hidráulico	51
6.6.3 Simulación del balance hidráulico	55
6.7 Evaluación Ambiental	55
6.7.1 Calidad del agua	55
6.7.2 Aprovechamiento de las aguas residuales tratadas	59
6.7.3 Reusos del agua	60

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
7.1 <i>Conclusiones</i>	64
7.2 <i>Recomendaciones</i>	65
APÉNDICE 1	67
APÉNDICE 2	84
REFERENCIAS	90

INTRODUCCIÓN

Debido a la gran escasez de agua en las zonas áridas del país, es prioritario implementar medidas que involucren el aprovechamiento de las aguas residuales, con la finalidad de reducir la extracción de agua primer uso y garantizar su abastecimiento para los diferentes usos.

Para llevar a cabo cualquier proyecto de ingeniería, ya sea de ingeniería ambiental o de cualquier otro de sus campos de aplicación, es necesario hacer una adecuada planeación. En un proyecto de reuso, es necesario conocer la cantidad de aguas residuales que se van a generar en un momento dado. Para realizar esto, es necesario cuantificar los volúmenes de agua de la región y hacer un balance hidráulico para conocer la situación de la misma, es decir, cuantificar la cantidad de agua que entra, la que sale, la que esta disponible, la que es para consumo y lo más importante que involucre el uso de aguas residuales tratadas como una fuente complementaria.

Para hacer un adecuado manejo del agua en la cuenca, el objetivo de este trabajo, es realizar un pronóstico de la cantidad de agua en una región hidrológica, utilizando como fuente complementaria las aguas residuales provenientes del uso doméstico de los principales centros urbanos de la cuenca (aguas residuales municipales). Para reducir la incertidumbre, es necesario hacer un pronóstico del balance hidráulico, ya que si se conoce la cantidad de agua en cualquier instante, se puede hacer la mejor planeación de un proyecto de reuso que involucre sistemas de tratamiento y posibles reusos del agua tratada.

Actualmente, los datos existentes de volúmenes de agua en cuencas, son conjuntos de registros de observaciones a intervalos de tiempo fijos, es decir, son series de tiempo de variables meteorológicas; ya sean datos de precipitación, evaporación, aforo de corrientes, etc. Las estaciones meteorológicas e hidrológicas instaladas en las cuencas son las encargadas de realizar dichas mediciones.

Para realizar el pronóstico, se aplicó un vector autorregresivo, que es un modelo de series de tiempo que involucra varias variables. La aplicación de este modelo, se deriva del balance hidráulico de la región y del tipo de datos con los que se cuenta. En el capítulo uno, se ilustra el balance hidráulico y el modelo del pronóstico.

Los capítulos dos, tres, cuatro y cinco, corresponden a la descripción de la metodología para generar las series de tiempo requeridas por el modelo. En el capítulo seis, se ilustra la utilización de la metodología con un ejemplo para la cuenca RH24DG en el estado de Coahuila, así como se presenta el pronóstico para la misma. Finalmente, en el capítulo siete se muestran las conclusiones y recomendaciones del trabajo.

MARCO TEÓRICO

TÍTULO

Pronóstico del balance hidráulico en el estado de Coahuila utilizando como fuente complementaria las aguas residuales.

OBJETIVOS

General:

Pronosticar la situación del agua en una región hidrológica, con énfasis en utilizar como fuente complementaria el aprovechamiento de las aguas residuales municipales producidas en dicha región.

Específicos:

- Aplicar un modelo de pronósticos para estimar la cantidad de agua en una región hidrológica.
- Estimar y pronosticar la situación del agua en una región hidrológica, utilizando como ejemplo de aplicación una cuenca del estado de Coahuila.

ALCANCES

En este trabajo se desarrolló una metodología para realizar pronósticos del balance hidráulico en cuencas hidrológicas, que sirva de base para el desarrollo de proyectos de reuso de aguas residuales tratadas, utilizando como fuente complementaria la generación de aguas residuales tratadas provenientes del uso doméstico de los principales centros urbanos.

Para realizar el pronóstico, se aplicó un modelo de series de tiempo multivariadas (Vectores Autorregresivos VAR's), utilizando una metodología para generar los datos de las variables que permitan hacer el diagnóstico de la situación histórica de las aguas (Balance Hidráulico) en la región. El modelo toma en cuenta la precipitación, la evaporación, la demanda de agua para consumo municipal y las aguas residuales tratadas.

Se desarrolló como ejemplo de aplicación, el pronóstico del balance hidráulico en una sola cuenca del estado de Coahuila (RH24DG).



CAPÍTULO UNO

BALANCE HIDRÁULICO

En este capítulo, se ilustra de manera muy general, la situación actual del agua y sus principales usos en México, como manera de antecedentes y justificación. También se plantea la metodología que se utilizará para hacer el balance hidráulico en la región hidrológica así como el modelo de pronóstico.

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Disponibilidad de agua actual en México

La planeación hidráulica toma como unidades geográficas trece regiones hidrológico-administrativas definidas por la Comisión Nacional del Agua. Cada región está integrada por cuencas y subcuencas; de esa manera se garantiza que la cuenca hidrológica se constituya como la base del manejo del agua. Coahuila pertenece a dos regiones administrativas de la Comisión Nacional del Agua. Las Regiones VI Río Bravo (75 % de la superficie estatal) y VII Cuencas Centrales del Norte (25 % de la superficie estatal). En la figura 1.1.1., se puede ver el mapa de las regiones hidrológico-administrativas en México.¹

En la tabla 1.1.1., se muestra la disponibilidad y la extracción de agua de las regiones administrativas de la CNA. Las cantidades expresadas son de carácter indicativo y para fines de planeación; y no son utilizadas para realizar concesiones de agua o determinar la factibilidad de un proyecto. Se puede observar la disponibilidad natural base media y la extracción total bruta de agua en las regiones VI y VII, a las que pertenece el estado de Coahuila.

Considerando el procedimiento de evaluación que marca la Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU en su publicación: Evaluación General de los Recursos de Agua

¹ Comisión Nacional del Agua. 2003. **Estadísticas del Agua en México**. México, D.F.

Dulce del Mundo 1997, se define el grado de presión sobre el recurso hídrico (GP, %), que es el porcentaje que se está extrayendo en base a la disponibilidad de la región.

$$GP = \frac{\text{EXTRACCIÓN TOTAL BRUTA ANUAL}}{\text{DISPONIBILIDAD NATURAL BASE MEDIA}} \quad (1.1)$$

Figura 1.1.1. Regiones Hidrológico-Administrativas de la CNA.



Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

Tabla 1.1.1. Disponibilidad del Agua por Región Administrativa.

Región Administrativa	Precipitación media histórica ^a (1941 – 2001) (mm)	Disponibilidad natural base media ^b (hm ³)	Disponibilidad natural media per-cápita (pob. al 2001) (m ³ /hab)	Escorrentamiento superficial virgen medio ^c (hm ³)	Recarga media de acuíferos ^d (hm ³)	Extracción total bruta de agua ^e (2001) (hm ³)
I Península de Baja California	181	4 425	1 145	3 012	1 413	4 285
II Noroeste	368	7 957	3 333	5 459	2 498	6 013
III Pacífico Norte	731	24 460	6 298	21 879	2 581	8 163
IV Balsas	929	28 911	2 818	24 944	3 967	9 328
V Pacífico Sur	1 119	33 135	8 235	31 468	1 667	1 473
VI Río Bravo	403	14 267	1 467	9 204	5 063	7 071
VII Cuencas Centrales del Norte	370	6 823	1 783	4 729	2 094	6 321
VIII Lerma Santiago Pacífico	981	36 808	1 895	29 652	7 156	13 816
IX Golfo Norte	766	23 629	4 935	22 355	1 274	4 186
X Golfo Centro	1 788	102 545	11 025	98 930	3 615	3 733

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

Tabla 1.1.1. Disponibilidad del Agua por Región Administrativa (continuación).

XI	Frontera Sur	2 320	155 938	25 843	139 004	16 934	1 553
XII	Península de Yucatán	1 138	26 496	7 900	1 348	25 148	1 838
XIII	Valle de México	767	3 805	190	1 996	1 809	4 784
Nacional		772	469 199	4 685	393 980	75 219	72 564

Notas: Los volúmenes de extracción total bruta de agua son estimados.

a) Registro de la USMN.

b) Estimaciones realizadas en función del escurrimiento superficial virgen medio y la recarga media de acuíferos al año 2001, reportados por la GAS y la GASIR.

c) Información derivada de estudios de la GASIR. El escurrimiento superficial virgen medio incluye 48 km³ provenientes de Guatemala, 1.8 km³ provenientes del Río Colorado y se le deducen 0.44 km³ que se entregan a Estados Unidos de América en el Río Bravo.

d) Información derivada de estudios de la GAS.

e) Estimaciones realizadas con base en información contenida en la GRPDA, la GDUR y la CUEAEE.

Disponibilidad natural base media = escurrimiento superficial virgen medio + recarga media de acuíferos.

Disponibilidad natural base media per-cápita = (escurrimiento superficial virgen medio + recarga media de acuíferos) / habitantes en el 2001.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

En base a la tabla 1.1.1, se puede calcular el grado de presión sobre el recurso hídrico de cada región. En la tabla 1.1.2., y en la figura 1.1.2., se puede ver el grado de presión de las 13 regiones de la CNA.

Tabla 1.1.2. Grado de Presión Sobre el Recurso Hídrico.

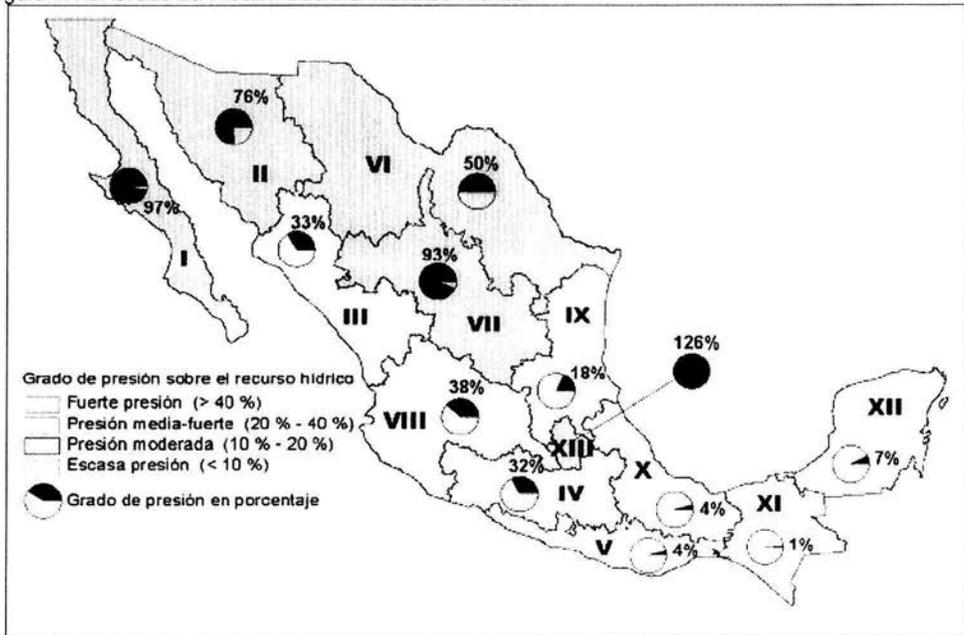
Región Administrativa		Disponibilidad natural base media (hm ³)	Extracción total bruta de agua (2001) (hm ³)	GP* (%)	
I	Península de Baja California	4 425	4 285	96.836	Fuerte presión
II	Noroeste	7 957	6 013	75.568	Fuerte presión
III	Pacífico Norte	24 460	8 163	33.372	Presión media-fuerte
IV	Balsas	28 911	9 328	32.264	Presión media-fuerte
V	Pacífico Sur	33 135	1 473	4.445	Escasa presión
VI	Río Bravo	14 267	7 071	49.561	Fuerte presión
VII	Cuencas Centrales del Norte	6 823	6 321	92.642	Fuerte presión
VIII	Lerma Santiago Pacífico	36 808	13 816	37.535	Presión media-fuerte
IX	Golfo Norte	23 629	4 186	17.715	Presión moderada
X	Golfo Centro	102 545	3 733	3.640	Escasa presión
XI	Frontera Sur	155 938	1 553	0.995	Escasa presión
XII	Península de Yucatán	26 496	1 838	6.936	Escasa presión
XIII	Valle de México	3 805	4 784	125.729	Fuerte presión
Nacional		469 199	72 564	15.465	Presión moderada

Nota: a) La Comisión para el Desarrollo Sustentable de la ONU distingue cuatro categorías de presión sobre el agua, dependiendo del porcentaje de agua disponible que se utiliza en el país: menos de 10% existe escasa presión, de 10% a 19% existe presión moderada, de 20% a 40% existe presión media-fuerte y más del 40% existe fuerte presión y es urgente la necesidad de una administración cuidadosa de la oferta y la demanda.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

De acuerdo a las tablas 1.1.1. y 1.1.2., se puede observar que en el estado de Coahuila (región VI), se extrae actualmente, 50 % del agua disponible en la región. Se puede intuir que a medida que pase el tiempo, en un futuro van a existir problemas serios de abastecimiento de agua para los diferentes usos, debido a esto, es importante hacer un pronóstico adecuado para saber cuanta agua se va a requerir y tomar acciones para reducir el grado de presión.

Figura 1.1.2. Grado de Presión Sobre el Recurso Hídrico.



Nota: Estimaciones realizadas por la GPH.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

1.1.2. Usos del agua en México

Se estima que en el año 2000 se extrajeron de los ríos, lagos y acuíferos del país 72 km³ para los principales usos consuntivos (CNA). Este volumen representa el 15 % de la disponibilidad natural media nacional (escurrimiento superficial virgen y recarga de acuíferos), y de acuerdo con la clasificación de la ONU, el recurso del país se considera como sujeto a presión moderada. Sin embargo, en las zonas del centro, norte y noroeste, este indicador alcanza valores mayores al 40 %, lo que convierte al agua en un elemento sujeto a fuerte presión y limitante del desarrollo.

Los usos del agua principalmente se pueden dividir en tres grandes grupos; uso público, industrial y agropecuario. A nivel nacional, las extracciones brutas de agua para cada uno de estos usos se muestran en la tabla 1.1.3., y en la tabla 1.1.4., se muestran por región administrativa.

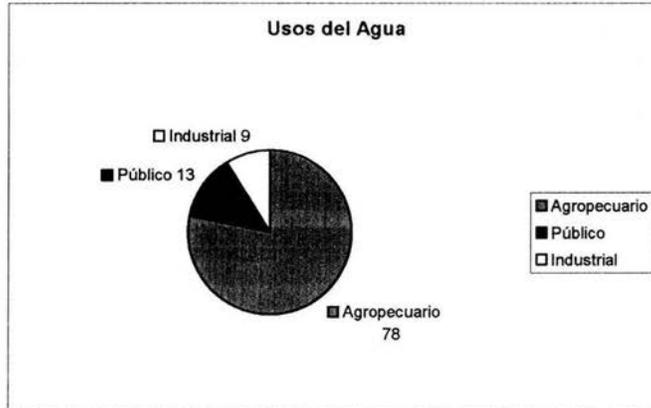
Tabla 1.1.3. Usos del Agua a Nivel Nacional. (Usos Consuntivos). Datos estimados para el 2001.

Usos	Origen		Volumen total (km ³)	Porcentaje de la extracción (%)
	Superficial (km ³)	Subterráneo (km ³)		
Agropecuario	36.8	19.6	56.4	78
Abastecimiento Público	3.3	6.2	9.5	13
Industrial	5.0	1.6	6.6	9
Total	45.1	27.4	72.5	100

Notas: Además se evaporan 9 km³ de agua al año en las principales presas y lagos del país.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

Figura 1.1.3. Usos del Agua en México, (%). Datos para el 2001.



Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

Tabla 1.1.4. Usos del Agua por Región Administrativa (Usos Consuntivos). Datos estimados para el 2001.

Región Administrativa		Extracción bruta total (hm ³)	Agropecuario (hm ³)	Abastecimiento Público (hm ³)	Industria Autoabastecida (hm ³)
I	Península de Baja California	4285	3735	333	217
II	Noroeste	6013	5023	958	32
III	Pacífico Norte	8163	7617	478	68
IV	Balsas	9328	5203	719	3406
V	Pacífico Sur	1473	1203	257	13
VI	Río Bravo	7071	6123	671	277
VII	Cuencas Centrales del Norte	6321	5873	342	106
VIII	Lerma Santiago Pacífico	13816	11592	1892	331
IX	Golfo Norte	4186	3588	395	203
X	Golfo Centro	3733	1560	727	1446
XI	Frontera Sur	1553	1069	400	84
XII	Península de Yucatán	1838	1232	454	152
XIII	Valle de México	4784	2565	1935	284
Nacional		72564	56383	9562	6619

Nota: Se refiere a los usos en los que el agua es derivada de su cauce natural o extraída de los cuerpos de agua subterránea.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

1.2 BALANCE HIDRÁULICO

1.2.1 Balance de Masa

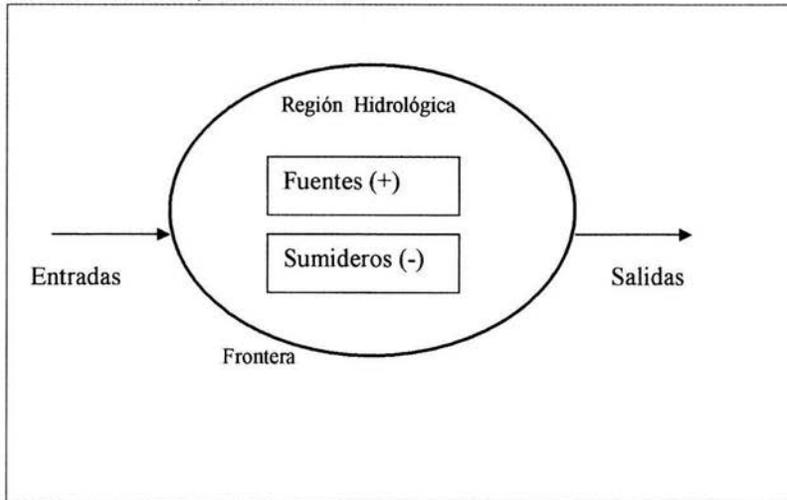
Para poder estimar (pronosticar) la cantidad de agua en la región hidrológica (cuenca), es necesario hacer un balance hidráulico (balance de masa), identificando la cantidad de agua de entrada, la de salida, las posibles fuentes y los consumos, llamados sumideros.

Planteando la ecuación general de balance de masa:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas} + \text{Fuentes} - \text{Sumideros} \quad (1.2)$$

Dicha ecuación definirá la variación del volumen respecto al tiempo, en la figura 1.2.1., se puede observar el diagrama de balance de masa.

Figura 1.2.1. Balance de Masa para una cuenca.



La frontera del sistema está determinada por el parteaguas de la cuenca.

La ecuación 1.2 en forma diferencial

$$\frac{dV}{dt} = Q_e - Q_s + Q_f - Q_{sum} \quad (1.3)$$

donde dV/dt , es la variación del volumen total respecto al tiempo, (volumen / tiempo).

Q_e , es el gasto de entrada de agua a la cuenca, (volumen / tiempo).

Q_s , es el gasto de salida de agua de la cuenca, (volumen / tiempo).

Q_f , son las fuentes de agua en la cuenca (disponibilidad), (volumen / tiempo).

Q_{sum} , son los sumideros (usos del agua), (volumen / tiempo).

Los capítulos siguientes se usarán para el análisis y obtención de los datos de cada una de estas variables.

1.2.2 Variabilidad hidráulica en el tiempo

La ecuación diferencial presentada en el punto anterior, no tiene solución analítica, debido a que sus términos son funciones no diferenciables respecto del tiempo, y son funciones de muchas otras variables. Para poder pronosticar la cantidad del agua en cualquier instante, es necesario aplicar un modelo que tome en cuenta todas estas funciones del tiempo.

Debido a las características de los datos meteorológicos e hidrométricos, que son registros numéricos, con mediciones a intervalos de tiempo constantes. Se pueden generar series de tiempo a partir de estos procesos estocásticos generales, tales como precipitación y evaporación. La ecuación de balance de masa en forma de ecuación en diferencias, que es la forma de representar el equivalente de ecuaciones diferenciales para procesos discretos, queda:

$$\frac{\nabla V_t}{\nabla t} = Q_{1t} - Q_{2t} + Q_{3t} - Q_{4t} \quad (1.4)$$

Debido a que t sólo toma valores enteros contiguos, se sabe que $\nabla t = 1$:

$$\nabla V_t = V_{1t} - V_{2t} + V_{3t} - V_{4t} \quad (1.5)$$

1.2.3 Modelo de series de tiempo

Debido a que se cuenta con cuatro variables (entradas, salidas, fuentes y sumideros), el modelo de series de tiempo para pronosticar es un vector autorregresivo (VAR), que toma en cuenta la variabilidad en el tiempo y los efectos que pudieran llegarse a tener debido a la correlación entre las variables.

$$V_t = D + \Phi_1 V_{t-1} + \Phi_2 V_{t-2} + \dots + \Phi_p V_{t-p} + a_t \quad (1.6)$$

Donde V_t , D_t y a_t , son los siguientes vectores:

$$V_t = \begin{bmatrix} Q_{1t} \\ Q_{2t} \\ F_t \\ S_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{1t} \\ V_{2t} \\ V_{3t} \\ V_{4t} \end{bmatrix} \quad t = 1, \dots, N \quad (\text{vector de variables}) \quad (1.7)$$

$$D_t = \begin{bmatrix} d_{1t} + I_{1t} \\ d_{2t} + I_{2t} \\ d_{3t} + I_{3t} \\ d_{4t} + I_{4t} \end{bmatrix} \quad (\text{vector de medias y elementos deterministas, respectivamente}) \quad (1.8)$$

$$a_{\sim t} = \begin{bmatrix} a_{1t} \\ a_{2t} \\ a_{3t} \\ a_{4t} \end{bmatrix} \quad (\text{vector de errores aleatorios}) \quad (1.9)$$

Los términos de Φ en la ecuación, son matrices cuadradas de 4x4 que representan los efectos de las correlaciones que existen entre los datos, estas matrices tienen la forma:

$$\Phi_{\sim i} = \begin{bmatrix} \Phi_{11,i} & \Phi_{12,i} & \Phi_{13,i} & \Phi_{14,i} \\ \Phi_{21,i} & \Phi_{22,i} & \Phi_{23,i} & \Phi_{24,i} \\ \Phi_{31,i} & \Phi_{32,i} & \Phi_{33,i} & \Phi_{34,i} \\ \Phi_{41,i} & \Phi_{42,i} & \Phi_{43,i} & \Phi_{44,i} \end{bmatrix} \quad i = 1, \dots, p \quad (1.10)$$

Por lo tanto, la serie de tiempo para las entradas sería de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} V_{1t} = & (d_{1t} + I_{1t}) + \Phi_{11,1}V_{1,t-1} + \Phi_{12,1}V_{2,t-1} + \Phi_{13,1}V_{3,t-1} + \Phi_{14,1}V_{4,t-1} + \\ & + \Phi_{11,2}V_{1,t-2} + \Phi_{12,2}V_{2,t-2} + \Phi_{13,2}V_{3,t-2} + \Phi_{14,2}V_{4,t-2} + \dots \\ & \dots + \Phi_{11,p}V_{1,t-p} + \Phi_{12,p}V_{2,t-p} + \Phi_{13,p}V_{3,t-p} + \Phi_{14,p}V_{4,t-p} + \\ & + a_{1t} \end{aligned} \quad (1.11)$$

De igual forma que en la ecuación anterior quedarían las ecuaciones para salidas V_{2t} , fuentes V_{3t} y sumideros V_{4t} .

Finalmente se puede obtener una estimación del volumen de agua para un cierto tiempo.

$$\widehat{\text{Volumen}}_{\sim \sim t} = C_{\sim \sim t} \widehat{V}_{\sim \sim t} \quad (1.12)$$

$$\widehat{\text{Volumen}}_{\sim \sim t} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{1t} \\ V_{2t} \\ V_{3t} \\ V_{4t} \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

El error del pronóstico del volumen en el tiempo $N + h$ tendrá la siguiente matriz simétrica de varianzas y covarianzas.

$$\hat{\Sigma}_{N+h} = \begin{bmatrix} \text{Var}(e_{1,N+h}) & \text{Cov}(e_1, e_2)_{N+h} & \text{Cov}(e_1, e_3)_{N+h} & \text{Cov}(e_1, e_4)_{N+h} \\ \text{Cov}(e_1, e_2)_{N+h} & \text{Var}(e_{2,N+h}) & \text{Cov}(e_2, e_3)_{N+h} & \text{Cov}(e_2, e_4)_{N+h} \\ \text{Cov}(e_1, e_3)_{N+h} & \text{Cov}(e_2, e_3)_{N+h} & \text{Var}(e_{3,N+h}) & \text{Cov}(e_3, e_4)_{N+h} \\ \text{Cov}(e_1, e_4)_{N+h} & \text{Cov}(e_2, e_4)_{N+h} & \text{Cov}(e_3, e_4)_{N+h} & \text{Var}(e_{4,N+h}) \end{bmatrix} \quad (1.14)$$

La varianza del error del volumen pronosticado.

$$\text{Var}(\text{error}_{\text{vol},N+h}) = \underline{C}^T \hat{\Sigma}_{N+h} \underline{C} \quad (1.15)$$

Por lo que se puede obtener el volumen estimado, no sólo de manera puntual, sino en forma de intervalo de 95 % de confianza.

$$\hat{Vol}_{N+h} \pm 1.96 \sqrt{\text{var}(\text{error}_{\text{vol},N+h})} \quad (1.16)$$

Se utilizarán intervalos de tiempo anuales para generar las cuatro series de tiempo, una para cada variable, mismas que empezarán y terminarán en el mismo año; así se definirá la serie de entradas, la de salidas, la de fuentes y la de sumideros; en los capítulos siguientes, se ilustra la metodología empleada para la generación de cada una de estas series.

2

CAPÍTULO DOS

ENTRADAS

Como se mencionó en el capítulo anterior, para aplicar el modelo de vectores autorregresivos, es necesario generar cuatro series de tiempo, una por cada una de las variables. Dichas series de tiempo son el registro metódico de observaciones a intervalos de tiempo fijos. Estos registros numéricos, en este caso, son registros históricos anuales de cada variable. Mientras más mediciones se tengan para generar la serie se tendrá un mejor pronóstico de la variable asociada.

2.1 VOLUMEN MEDIO ANUAL DE ENTRADAS

La cantidad anual de agua que entra a una cuenca, está dada por la precipitación y por las corrientes tanto de aguas superficiales como subterráneas, provenientes de cuencas aledañas. Por lo tanto, los volúmenes anuales con los que se integrará la primera serie de tiempo, serán la suma de la precipitación media anual en la cuenca y el volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba, es decir el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo de la cuenca aguas arriba.

En este trabajo, se eliminaron los volúmenes de corrientes subterráneas provenientes de otras cuencas como entradas, debido a que no existen registros históricos de este tipo, sin embargo, se pueden calcular y ser considerados. Debido a que se sale de los alcances de este trabajo de investigación, no se estimo ningún valor para dichos volúmenes.

Es importante no perder de vista que cada región hidrológica es diferente, cada cuenca se tiene que analizar cuidadosamente, habrá casos de cuencas en las cuales sus ríos nazcan dentro de ella y por lo tanto no tengan volumen de entrada proveniente de otras corrientes vecinas, entonces, la entrada será únicamente la precipitación media anual en toda la cuenca. En el apartado 2.2 se describe como calcular la precipitación media anual.

2.2 PRECIPITACIÓN

2.2.1 Medición de la precipitación

La precipitación es la cantidad de agua de lluvia que cae en la superficie terrestre, ya sea tierra o mar. Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua ².

Los aparatos más utilizados para medir la precipitación son los pluviómetros y los pluviógrafos, los registros que se obtienen son mediciones de la altura de precipitación, comúnmente, en México, se mide en milímetros de precipitación, registrados con intervalos de tiempo fijos, es decir, horarios, diarios, mensuales y anuales. En este trabajo, como ya se mencionó, para generar la serie de tiempo "entradas", se usarán datos históricos anuales de precipitación por estación meteorológica para calcular el volumen anual de agua que entra a la cuenca a través de la precipitación.

2.2.2 Análisis de los datos de precipitación

Con fines de calcular el volumen anual de agua que entra en una cuenca debido a la precipitación, en general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores aunque sea en sitios cercanos de la misma cuenca. Los pluviómetros y pluviógrafos registran mediciones puntuales, *lluvia puntual*, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para fines de cálculo, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca.

Para calcular la lluvia media, existen tres métodos de uso generalizado, los cuales se describen brevemente a continuación. El método que se empleará en este trabajo es el de Polígonos de Thiessen.

a) Método aritmético

Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$\overline{hp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n hp_i \quad (2.1)$$

donde \overline{hp} , es la altura de precipitación media, (mm).

hp_i , es la altura de precipitación registrada en la estación i , (mm).

n , es el número de estaciones bajo análisis.

² Aparicio. 1997. **Fundamentos de Hidrología de Superficie**. Limusa. México, D.F.

Este método es el menos preciso de los tres, sin embargo, por su sencillez y rapidez, se utiliza para hacer cálculos aproximados. Debido a que el propósito es pronosticar, se requiere que los datos con que se genere la serie de tiempo sean lo más representativos, por esto no se recomienda este método, sin embargo para una aproximación rápida y de carácter indicativo, este método, podría arrojar un buen resultado del pronóstico.

b) Polígonos de Thiessen

Este método consiste en lo siguiente:

1.- Se une, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí (líneas discontinuas en la figura 2.2.1). Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.

2.- Se trazan líneas rectas que bisecten perpendicularmente los lados de los triángulos (líneas rectas continuas en la figura 2.2.1). Por geometría elemental, las líneas correspondientes a cada triángulo convergen en un solo punto.

3.- Cada estación pluviométrica queda rodeada por las líneas rectas del paso 2, que forman los llamados polígonos de Thiessen y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca (ver figura 2.2.1). El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas es el *área de influencia* de la estación correspondiente.³

4.- La lluvia media se calcula entonces como un promedio de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso (promedio pesado) el área de influencia correspondiente:

$$\bar{h}p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n (A_i) h p_i \quad (2.2)$$

donde A_i , es el área de influencia, (km^2).

$h p_i$, es la precipitación de la estación i , (mm).

A_T , es el área total de la cuenca (km^2).

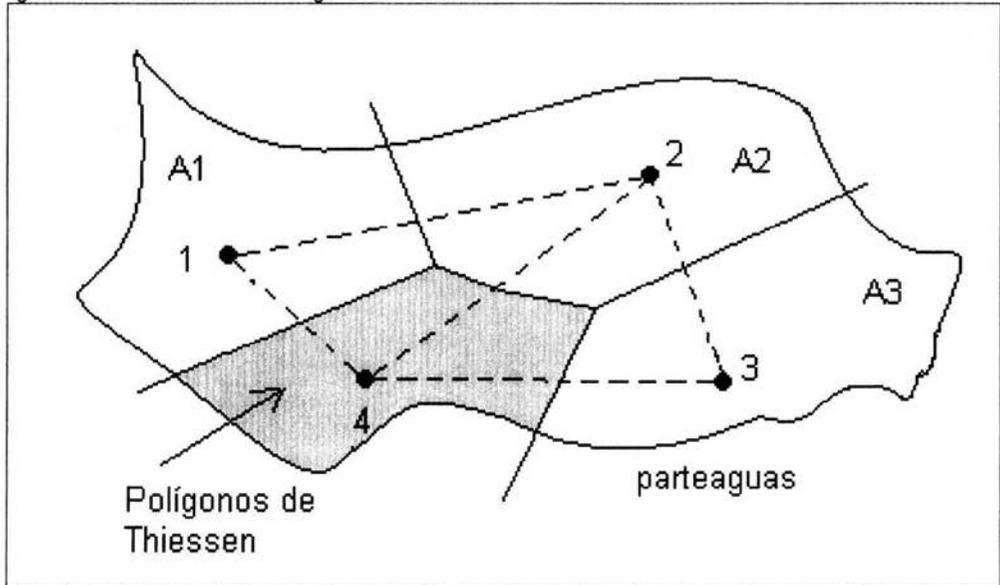
El método de polígonos de Thiessen, a diferencia del aritmético, sí toma en cuenta la distribución de las estaciones en el área de la cuenca, pero no los factores topográficos y de otro tipo que afectan a la distribución de la lluvia.

c) Método de las isoyetas

Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas *isoyetas*, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía.

³ Thiessen A.H. 1911. **Precipitation for large areas**. Monthly Weather rev. Vol 39.

Figura 2.1.1. Trazado de los Polígonos de Thiessen.



Nota: donde A1, A2 y A3, son las áreas de influencia; 1, 2 y 3 son las estaciones meteorológicas.

La precipitación media se calcula en forma similar a la ecuación 2.2, pero ahora el peso es el área A'_i entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas, hp_i :

$$\bar{hp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n'} hp_i (A'_i) \quad (2.3)$$

donde n' es el número de áreas A'_i consideradas.

El método de las isoyetas, es el más preciso de los tres si éstas se dibujan de manera que tomen en cuenta los efectos topográficos en la distribución de la lluvia, sin embargo es el método más laborioso, pues cada tormenta tiene un plano de isoyetas diferente. Si las isoyetas se trazan indiscriminadamente, por ejemplo, suponiendo una variación lineal de la altura de precipitación entre las estaciones, su precisión no es mayor que la de los polígonos de Thiessen.

Debido a que el método aritmético es impreciso y que el método de las isoyetas es muy laborioso, el método que se utilizará para este trabajo será el de polígonos de Thiessen, debido a que desde el punto de vista práctico, es más conveniente que el de las isoyetas, particularmente por el tipo de cálculos repetitivos que se tendrán (uno para

cada año), ya que se analizarán gran cantidad de años, pues los polígonos no cambian a menos que se agreguen o eliminen estaciones meteorológicas y las isoyetas varían de tormenta en tormenta. En este caso, no se analizarán tormentas si no datos anuales de precipitación, para obtener el *volumen medio anual de precipitación* en una región hidrológica.

La lluvia media anual, calculada por el método de polígonos de Thiessen, al multiplicarla por el área de la cuenca, se obtiene el volumen de entrada de ese año, es decir, de la ecuación 2.2, al multiplicarla por el área de la cuenca queda:

$$V_1 = (A_T)h\bar{p} = (A_T) \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n (A_i)hp_i = \sum_{i=1}^n (A_i)hp_i \quad (2.4)$$

2.3 SERIE DE TIEMPO ENTRADAS

Para generar la serie de tiempo de entradas, evidentemente, se tendrá que generar un plano de polígonos de Thiessen para cada año de estudio, quizás, dependiendo de las estaciones meteorológicas y de los datos anuales de precipitación de las mismas, habrá planos iguales para varios años, esto dependerá del número de estaciones que existan para cada año. Debido a que la precipitación anual es un integrado de la precipitación mensual, si en la estación hay datos faltantes de algún mes, no se podrá integrar el dato anual, entonces dicha estación no tendrá dato anual y esto repercutirá en eliminar dicha estación para ese año, trayendo como consecuencia la modificación de los planos de polígonos de Thiessen. Posiblemente, a partir de las décadas de los setenta u ochenta, habrá el mismo número de estaciones en la cuenca y no tendrán datos faltantes de modo que quizás, para dichas décadas no sea necesario hacer un plano de polígonos de Thiessen para cada año, de lo contrario, se tendrá que dibujar un plano para cada año.

Si se toma en cuenta, que existen datos aproximadamente desde 1940, se tendrán que generar más de 60 planos de polígonos de Thiessen, dicho trabajo es muy laborioso, se recomienda utilizar algún software comercial GIS (Sistema de Información Geográfica), ya que estos programas realizan los planos polígonos de Thiessen para cada año y lo más importante, es que calculan el área de cada polígono generado y con gran exactitud, debido a que usan coordenadas geográficas y están en su mayoría asociados a planos georeferenciados satelitalmente. Para utilizar estos programas, basta con meter las estaciones con sus coordenadas geográficas (por año y con el dato de precipitación en ese año) para que el software las localice en el plano de la cuenca georeferenciado que ya ha sido precargado, posteriormente, se hace la corrida y generación de los polígonos de Thiessen, una vez que se tienen los polígonos, se puede obtener del programa la respectiva área de cada polígono, la suma de estas áreas de influencia multiplicadas por su respectiva precipitación, dará el volumen medio anual de entrada de la cuenca, tal como lo explica la ecuación 2.4. De esta manera

quedará generada la serie de tiempo para la variable de entradas. En el capítulo 6 del ejemplo de aplicación, se generará por medio de un software de este tipo la precipitación media anual que da lugar a la serie de entradas para una cuenca del estado de Coahuila, los planos correspondientes se muestran en el apéndice uno.

No olvidar, dependiendo de la geografía de la cuenca, agregar o eliminar los volúmenes de escurrimiento de cuencas vecinas que pudiesen causar una entrada a la cuenca en estudio.

3

CAPÍTULO TRES

SALIDAS

La variable “salidas” esta definida, por una parte, por las salidas naturales de agua de las corrientes presentes en la cuenca y por otra, por los datos históricos de evapotranspiración. Con los datos anuales de evaporación registrados en las estaciones hidrométricas de las corrientes y almacenamientos; y los datos anuales de transpiración, se va generar la segunda serie de tiempo para el pronóstico.

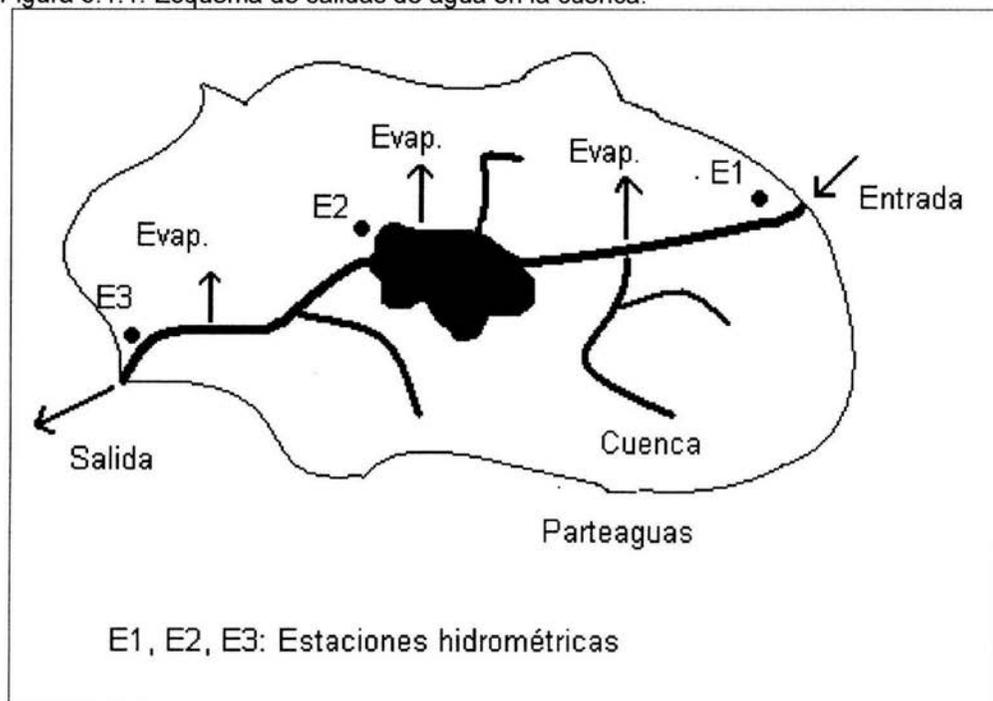
3.1 VOLUMEN MEDIO ANUAL DE SALIDA

A simple vista, se podría suponer, que las salidas de agua de la cuenca van a estar dadas, por un lado, debido a la evaporación y a la transpiración, y por el otro, a la salida aguas abajo en la corriente, esto va a depender de la geografía de la cuenca en estudio. El volumen de agua que sale de la cuenca aguas abajo debido a la corriente se puede suponer nulo, debido a que este volumen ya está cuantificado en la variable “entradas” a través de la precipitación, ya que el volumen medido a la salida de la corriente es el escurrimiento superficial proveniente de las lluvias. Cabe destacar, con la finalidad de no cuantificar dos veces un volumen de agua, que se pueden tomar los datos anuales de escurrimiento a la salida de la corriente para integrar la serie de salidas, pero habría que eliminar los datos de precipitación (serie de entradas). En este trabajo se recomienda, considerar como entrada la precipitación y como salida exclusivamente la evapotranspiración, los escurrimientos no se toman en cuenta debido a que existen más registros de precipitación que de aforo de corrientes para poder integrar las series.

Si se elige el camino de tomar en cuenta los escurrimientos y no la precipitación, es necesario tener mucho cuidado al cuantificar estos volúmenes, esto va a depender de la corriente y de la cuenca, ya que puede ser que la corriente nazca en esa cuenca (no habría entrada) y drene hacia otra aguas abajo (y si tenga salida). Estos volúmenes de entrada y salida, normalmente, se miden en estaciones hidrométricas localizadas en los cauces de los ríos (tanto aguas arriba como aguas abajo en la corriente, figura 3.1.1). En México no todas las corrientes están monitoreadas y desafortunadamente las que lo

están, no cuentan con una base de datos confiable y tienen muchos datos faltantes, debido a esto es difícil tener registros confiables para poder hacer un análisis más detallado del cauce, sin embargo, para las corrientes que tengan observaciones, éstas se incluirán para estimar los volúmenes anuales y completar la serie de salidas. Además, cierto volumen de la precipitación no escurre y se infiltra, debido a esto al volumen anual de escurrimiento natural, medido en la estación hidrométrica aguas abajo, habría que restarle el volumen anual de recarga de acuíferos (para este rubro no existen datos anuales). Evidentemente, es mejor considerar la precipitación a través de la variable de entradas y para la salida la evapotranspiración.

Figura 3.1.1. Esquema de salidas de agua en la cuenca.



3.2 EVAPORACIÓN

3.2.1 Medición de la evaporación

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, es importante conocer la cantidad de agua que se pierde por evaporación en grandes depósitos, como presas, lagos, corrientes o en sistemas de conducción a cielo abierto.

Evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera⁴.

La evaporación puede medirse por medio de evaporímetros, que básicamente están formados por un recipiente en el que se coloca cierta cantidad de agua y se mide el tirante, diariamente o con la frecuencia que se estime conveniente. La altura de evaporación se mide mediante una regla graduada, colocada dentro de un pequeño tubo aquietador. Los valores medidos deben corregirse sumándoles la altura de precipitación registrada en el intervalo de tiempo en la estación pluviométrica más cercana, generalmente situada en el mismo lugar que el evaporímetro (estación meteorológica).

3.2.2 Análisis de los datos de evaporación

Por otra parte, dado que, para las mismas condiciones atmosféricas, la evaporación es mayor en depósitos pequeños que en los grandes, los datos registrados en un evaporímetro deben de corregirse si se desean usar para estimar la evaporación en presas, lagos o cualquier otro tipo de gran almacenamiento. Esta corrección se lleva a cabo multiplicando los valores registrados por un factor que varía entre 0.6 y 0.8. En general, 0.7 es un buen valor⁴.

Con los datos de evaporación de los evaporímetros, las estaciones meteorológicas, integran datos diarios, mensuales y anuales, en este caso se utilizarán los datos anuales de cada una de las estaciones de la cuenca en estudio.

El volumen debido a la evaporación, es simplemente la evaporación medida en la estación o estaciones de la corriente o cuerpo de agua, aplicada a la superficie de la misma. Se calcula de la siguiente forma:

$$V_2 = (A_{TC})\bar{E}v = \sum_{i=1}^n (A_i)E_{v_i} \quad (3.1)$$

donde A_{TC} , es el área superficial de todos los cuerpos de agua, (km^2).

E_v , es la evaporación media anual, (km).

A_i , es el área de cada cuerpo de agua, (km^2).

E_{v_i} , es la evaporación anual registrada en la estación, (km).

⁴ Aparicio F. 1997. **Fundamentos de Hidrología de Superficie**. Limusa. México, D.F.

3.3 SERIE DE TIEMPO SALIDAS

Para poder calcular los volúmenes de salida de los cuerpos de agua, es necesario conocer el área de cada cuerpo de agua, ya sea por medio de las cartas hidrológicas de aguas superficiales, o con los datos que proporciona la CNA en sus anuarios estadísticos. También dependiendo de la vegetación de la zona y de los distritos de riego, se debe estimar la transpiración anual, que aunada a la evaporación se integra el dato anual de evapotranspiración.

Para generar la serie de tiempo de las salidas, basta con sumar todas las salidas por año, ya sea debida sólo la evaporación en cuerpos de agua, ó a la salida de una o varias corrientes si se opta por contabilizar los escurrimientos.

4

CAPÍTULO CUATRO

FUENTES

La variable “fuentes” esta definida por los registros históricos de volúmenes de agua residual tratada, municipal e industrial, con estos datos se generará la tercera serie de tiempo.

Esta variable, es la más importante de todas, porque es donde se va a involucrar como posible fuente complementaria el reuso de aguas residuales tratadas provenientes del uso doméstico e industrial.

4.1 VOLUMEN MEDIO ANUAL DE FUENTES

La producción anual de aguas residuales tratadas, va a proporcionar una fuente complementaria de agua en la cuenca, la cual puede ser utilizada para diferentes actividades que no requieran agua de primer uso, trayendo como consecuencia la disminución en la extracción.

4.2 AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Como se esta analizando el uso de las aguas residuales, es necesario recabar la información histórica de los gastos de operación anuales de aguas tratadas por las diferentes plantas de tratamiento instaladas en las ciudades de la cuenca. El total de agua tratada en la cuenca es:

$$A_{trat} = \sum_{i=1}^n V_{tratado_i} \quad (4.1)$$

donde A_{trat} , es el volumen anual total de todas las plantas de tratamiento en operación en la cuenca, (km^3)

$V_{tratado_i}$, es el volumen de agua anual tratado en cada planta de tratamiento, (km^3).

n , es el número de plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas en la región.

Evidentemente, las aguas residuales tratadas, integrarán el volumen medio anual de la variable fuentes, es decir:

$$V_3 = A_{trat} \quad (4.2)$$

4.3 SERIE DE TIEMPO FUENTES

Como se mencionó, la serie "fuentes", queda integrada por los volúmenes anuales de aguas residuales tratadas. Es necesario tener cuidado al contabilizar estos volúmenes, existen plantas de tratamiento de aguas industriales que tratan sus caudales y los reutilizan dentro de sus mismas actividades productivas, por lo que no causan descargas (las llamadas industrias de descarga "cero"), éstos volúmenes de agua no deben de integrarse a la serie de fuentes, debido a que ya están siendo utilizados. Se recomienda, sólo cuantificar los volúmenes de aguas residuales tratadas provenientes de las plantas municipales.



CAPÍTULO CINCO

SUMIDEROS

La variable “*sumideros*” está definida por las extracciones de agua, que son los datos históricos de volúmenes utilizados de agua para uso doméstico y agrícola, con estos datos se generará la cuarta y última serie de tiempo.

5.1 VOLUMEN MEDIO ANUAL DE SUMIDEROS

La última serie de tiempo, se integra a partir de los datos anuales de extracción para los diferentes usos, es decir, el uso municipal, el industrial y el agrícola. Es necesario recabar información histórica anual de los datos de extracción para los diferentes rubros.

Se recomienda, no incorporar los datos de extracción de uso industrial, debido a que es difícil encontrar registros históricos anuales de consumo de agua para una industria específica y por la dificultad de identificar la fecha en que se pusieron a operar cada una de ellas; además, muchas industrias manejan esta información como confidencial y no esta disponible para todo el público. La mayoría de las industrias, sobretudo las pequeñas y medianas, se abastecen directamente de la red pública, así que no se tomarán en cuenta éstos volúmenes, a menos de que se tengan bien identificados por industria y se pueda completar toda la serie. La recopilación de está información, requiere un trabajo de campo exhaustivo que se sale de los limites de este trabajo de tesis.

5.2 USO MUNICIPAL

El volumen de agua para uso municipal, es la cantidad de agua anual que se destina para el consumo humano y servicios en las ciudades de la cuenca hidrológica en estudio. Este volumen anual se estima conociendo la población anual de cada localidad y su respectiva dotación de agua.

5.2.1 Población

La población de cada localidad se puede consultar en los Censos de Población y Vivienda del INEGI, con la información de éstos, se estimará la población por año para las localidades. Se recomienda estimar la población anual con varios métodos (Mínimos Cuadrados, Logarítmico, Exponencial, Geométrico, etc.)⁵ Se comparan, y finalmente se escoge el de mayor correlación.

5.2.2 Volumen de agua para uso público

Una vez calculada la población anual de cada localidad y su respectiva dotación, el volumen de agua se estima con la siguiente expresión:

$$V_p = \frac{365}{1E^{12}} \sum_{i=1}^n D_i P_i \quad (5.1)$$

donde V_p , es el volumen de agua público, ($\text{km}^3/\text{año}$).

D_i , es la dotación en cada localidad en ($\text{L}/\text{hab.día}$).

P_i , es la población en cada localidad, (hab).

5.3 USO AGRÍCOLA

El volumen de agua para uso agrícola estará dado por la cantidad de agua anual que se destina para riego en los diferentes distritos de riego que estén en la cuenca. Los datos históricos del volumen de agua de cada año que utilizó el distrito de riego se pueden consultar en la CNA, generalmente no existen datos de muchos años atrás, se puede suponer constante el volumen de agua que se usó para todos los años de la serie.

5.3.1 Volumen de agua para uso agrícola

La suma de agua utilizada en todos los distritos de riego será el volumen de uso agrícola, es decir:

$$V_a = \sum_{i=1}^n V_i \quad (5.2)$$

donde V_a , es el volumen anual de agua utilizado por la agricultura, (km^3).

V_i , es el volumen de cada distrito de riego de la zona en estudio (km^3).

⁵ César E. 1994. **Abastecimiento de Agua Potable**. Volumen I. FI-UNAM. México, D.F.

Evidentemente, la suma del volumen de agua para uso municipal y agrícola, integrarán el volumen medio anual de la variable sumideros, es decir:

$$V_4 = V_m + V_a \quad (5.3)$$

5.4 SERIE DE TIEMPO SUMIDEROS

Como es de suponerse, la serie de tiempo para la variable de sumideros va a estar integrada por el volumen anual de agua gastado dentro de la cuenca debido a los diferentes usos. Como se mencionó, no se incorporan los volúmenes para uso industrial, debido a que muchas industrias se abastecen de la red municipal, y en comparación con volumen de agua utilizado para la agricultura y el consumo humano puede considerarse despreciable. Se debe agregar el agua de uso industrial si se tienen datos confiables y bien identificados de cada industria en la cuenca.

6

CAPÍTULO SEIS

ANÁLISIS DE UNA REGIÓN HIDROLÓGICA EN COAHUILA

En este capítulo se desarrollará un ejemplo de lo expuesto hasta el momento, con la intención de mostrar con claridad la aplicación de la metodología de los capítulos anteriores. Se escogió como zona de estudio la región hidrológica 24 cuenca D subcuenca G del estado de Coahuila, en lo sucesivo, RH24DG.

6.1 ANTECEDENTES DE LA SUBCUENCA RÍO SALADO DE NADADORES

6.1.1 Localización

Nombre: Subcuenca Río Salado de Nadadores RH24DG.

Coordenadas Geográficas extremas: Al norte 27.90°, al sur 26.40° de latitud norte; al este 100.77°, al oeste 102.52° de longitud oeste.

Superficie territorial: 16,497.4578 km².

Se localiza en la región hidrológica Bravo-Conchos en la cuenca Presa Falcón-Río Salado (RH24D).

6.1.2 Aguas Superficiales

El estado de Coahuila queda comprendido en parte por las regiones hidrológicas: "Bravo-Conchos" (No. 24) que abarca gran parte del estado con 95,236.33 km²; "Mapimi" (No. 35) en la porción oeste con 29,456.26 km²; "Nazas-Aguanaval" (No. 36) En la parte sur-suroeste con 21,908.22 km² y finalmente la región "El Salado" (No. 37) con una área muy reducida en la parte sureste con 4,977.56 km².

A continuación sólo se describirá la región hidrológica 24, a la cual pertenece gran parte de Coahuila, y una de sus principales cuencas, la RH24D, a la cual pertenece la subcuenca río Salado de Nadadores.

Región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24)

En su mayoría está constituida por tierras planas, con altitud media SNM de 1000 m a 1800 m. Es una región árida cuya sequedad se agudiza al norte. La mayoría de las corrientes del norte desaguan en el río Bravo, y hay además algunas cuencas endorréicas, como las de las lagunas Tortuguillas y Chancaplio, dentro del área de la cuenca del río Conchos. Dentro del estado le corresponden en parte sus cuencas, que se describen a continuación. Para mayor detalle ver el plano de regiones hidrológicas en el anexo de planos (**Apéndice 1, plano 1**).

Cuenca Presa Falcón-Río Salado (RH24D)

Tiene una superficie, dentro de Coahuila, de 46,001.62 km², el río Salado, corriente principal de esta cuenca, tiene su origen en el estado de Coahuila en la confluencia de los arroyos Aura, Seco y Pájaros Azules que pasa por la Presa Venustiano Carranza (Don Martín) tomando una dirección a partir de este punto de norte-sureste y atraviesa las llanuras nororientales de Coahuila para luego seguir por Nuevo León, hasta su desembocadura en la presa Falcón en el estado de Tamaulipas. Tiene como subcuencas intermedias: Río Salado-Anáhuac (24DC), Presa Venustiano Carranza (24DD), Río Sabinas (24DE), Río Alamos (24DF), Río Salado de Nadadores (24DG), Cuatrociénegas (24DH), Arroyo Chapote (24DI) y Arroyo Huizache (24DJ).

Los escurrimientos superficiales son muy bajos en esta cuenca, siendo tan sólo de unos 10 a 20 mmc anuales. En la figura 6.1.1., se puede observar la localización de la cuenca Presa Falcón-Río Salado (RH24D) dentro del estado, a la cual pertenece la subcuenca RH24DG.

Almacenamientos de la región hidrológica 24

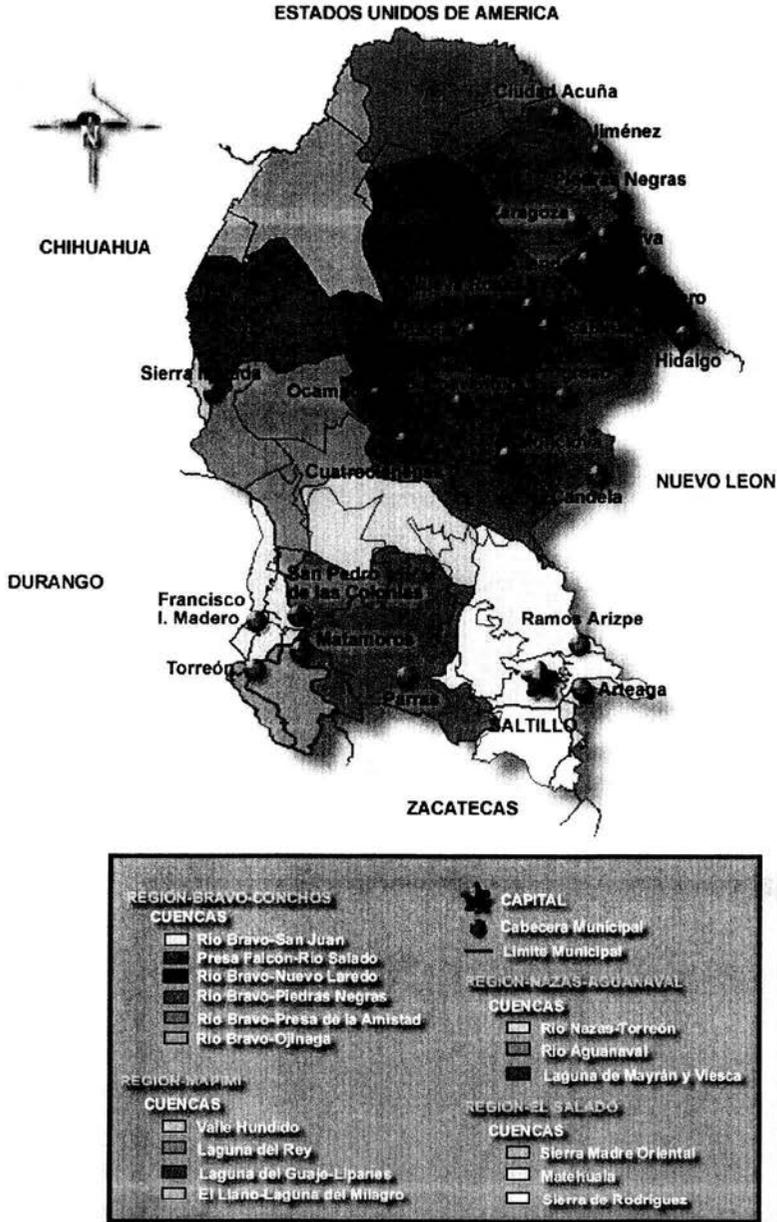
De los doce principales almacenamientos que se localizan dentro del estado, diez corresponden a esta región hidrológica. El más importante de ellos es la presa de la Amistad, con una capacidad total de 7,070,000,000 de metros cúbicos, y cuya finalidad principal es el control de avenidas. Corresponde a nuestro país el veintinueve por ciento del total de almacenamiento. Su mayor beneficio es el recurso pesquero.

En orden de importancia, corresponde el segundo lugar a la presa Venustiano Carranza o Don Martín, que se localiza también dentro de esta región hidrológica con una capacidad total de 1,385,000,000 de metros cúbicos, la cual se usa para la agricultura y en gran proporción para la pesca. Sin embargo, el beneficio total en el área agrícola, se localiza dentro del estado de Nuevo León⁶.

El resto de los almacenamientos (El Entronque, San Miguel, El Centenario, Piedritas, Alto de Norias, El Tulillo, Nacapa, y Las Águilas) sobrepasan los dos millones de metros cúbicos de capacidad y tienen un uso general para la agricultura.

⁶ Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2002. CGSNEGI.

Figura 6.1.1. Cuencas hidrológicas en el estado de Coahuila.



Fuente: INEGI. 2002. CGSNEGI.

6.1.3 Aguas Subterráneas

Las tierras del estado de Coahuila están en su gran mayoría sujetas a climas secos (BS1, con relación precipitación/temperatura mayor a 22.9 mm/°C) y muy secos (BS0, con menos de 22.9 mm/°C), por lo que la entidad dispone de recursos hidráulicos muy escasos. Las precipitaciones medias anuales son, en muchas zonas, menores de 250 mm; y los escurrimientos superficiales muy limitados.

Así, los acuíferos se recargan muy lentamente, lo que restringe en gran medida el aprovechamiento del potencial agrícola y ganadero de sus terrenos. La entidad cuenta, sin embargo, con abundantes afloramientos de calizas potencialmente formadoras de acuíferos.

Una característica geológica relativamente favorable es la gran extensión de algunos llanos y bolsones, que contienen almacenamientos subterráneos susceptibles de ser explotados por mucho tiempo.

Región Hidrológica Bravo-Conchos (RH24)

Esta región, presenta una importante producción acuífera en calizas del Cretácico en Saltillo, Monclova, Ocampo y Palestina. En el área de la Paila y General Cepeda, las areniscas del Cretácico Superior cuentan con una buena producción⁷.

6.1.4 Población y Vivienda

Los municipios que pertenecen a la región hidrológica RH24DG se muestran en la siguiente tabla, se presentan los resultados de población y vivienda. Para mayor referencia sobre la ubicación de los municipios en la región hidrológica RH24DG, consultar el anexo de planos (*Apéndice 1, plano 2*).

Tabla 6.1.1. Resumen de población y vivienda de la RH24DG en Coahuila.

Municipio	Población	Viviendas	% de viviendas con agua entubada	% de viviendas con drenaje
Abasolo	1 126	346	97.06	72.95
Castaños	22 530	5281	91.83	53.45
Cuatrociénegas	12 154	3077	88.09	59.58
Escobedo	2 784	708	95.99	27.79
Frontera	66 579	16089	98.59	78.71
Lamadrid	1 781	483	97.67	51.91
Monclova	193 744	47830	98.49	89.07
Múzquiz	62 773	15217	97.29	70.52
Nadadores	5 946	1494	96.15	45.81
Progreso	3 608	959	88.14	28.37
Sacramento	2 006	509	97.41	42.83
San Buenaventura	20 046	5195	95.89	71.33

Fuente: INEGI. 2000. CGPV2000.

6.1.5 Situación Actual del Agua en la Región

La Comisión Nacional del Agua, tiene dividido el territorio nacional en 13 regiones administrativas, la cuenca RH24DG, pertenece a la región administrativa VI (Río Bravo) de la Comisión Nacional del Agua. En las siguientes tablas se pueden observar algunos datos generales de la región administrativa VI.

Tabla 6.1.2. Datos Generales Región Administrativa Río Bravo.

Región Administrativa VI Río Bravo	
Disponibilidad	
Precipitación media histórica (1941 – 2001) (mm/año)	403
Disponibilidad natural base media (hm ³ /año)	14 267
Disponibilidad natural base media per-cápita (población 2001) (m ³ /hab.año)	1 467
Escorrentamiento superficial virgen medio (hm ³ /año)	9 204
Recarga media de acuíferos (hm ³ /año)	5 063
Extracción total bruta de agua (2001) (hm ³ /año)	7 071
Aguas Subterráneas (Acuíferos)	
Total	97
Sobreexplotados sin intrusión salina	13
Con intrusión salina sin sobreexplotación	0
Sobreexplotados y con intrusión salina	0
Total sobreexplotados	13
Total con intrusión salina	0
Calidad del Agua ICA ^a	
No contaminado (100 – 85)	0
Aceptable (84 – 70)	2
Poco contaminado (69 – 50)	79
Contaminado (49 – 30)	12
Altamente contaminado (29 – 0)	7
Presencia de tóxicos	0

- a) Saneamiento de cuencas. Con la Red Nacional de Monitoreo, la red primaria cuenta con 362 estaciones permanentes, de las cuales 205 se ubican en cuerpos de agua superficial, 44 en zonas costeras y 113 en acuíferos. Asimismo, la Red Secundaria cuenta con 276 estaciones semifijas o móviles, de las cuales 231 se ubican en aguas superficiales, 17 en zonas costeras y 28 en aguas subterráneas. Además se tiene una red de referencia que opera con 104 estaciones únicamente para aguas subterráneas. De acuerdo con los resultados de la evaluación de la calidad del agua en base en el ICA, la cuenca que incluyen al cuerpo de agua más contaminado en la RH24, es la Laguna de Bustillos en la cuenca de la Laguna de Bustillos y de los Mexicanos.

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

6.1.6. Usos del Agua en la Región

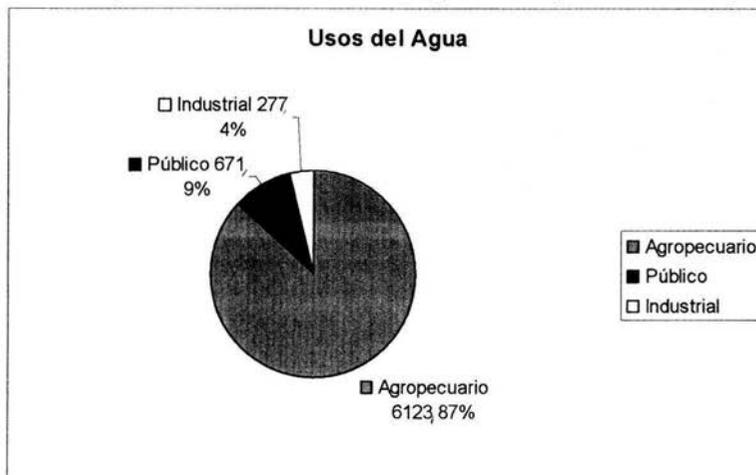
En la Región Administrativa del Río Bravo, los usos del agua para consumo, agrícola e industrial, se muestran en la tabla 6.1.3.

Tabla 6.1.3. Usos del agua. Extracción media anual de agua en la región VI Río Bravo. Datos para 2001.

Uso Agropecuario (hm ³)			Uso Público (hm ³)			Uso Industrial (hm ³)		
Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total	Superficial	Subterránea	Total
1940	4183	6123	185	486	671	61	216	277

Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

Figura 6.1.2. Usos del Agua. Extracción media anual de agua en la Región VI Río Bravo (hm³).



Fuente: CNA. 2003. Estadísticas del Agua en México.

6.2 ENTRADAS

6.2.1 Estaciones Meteorológicas

En la región hidrológica RH24DG de Coahuila, se tienen las siguientes estaciones meteorológicas, en la tabla 6.2.1., se pueden ver el listado de las estaciones y sus coordenadas geográficas, en el anexo de planos se puede observar la localización de las mismas dentro de la región. (**Apéndice 1, plano 3**).

Tabla 6.2.1. Estaciones Meteorológicas de la región hidrológica RH24DG.

Número	Nombre	LN	LE	Periodo
1	Castaños	26.771666	-101.417500	1981 – 1995
2	El Márquez	26.640833	-101.254444	1981 – 1995
3	El Tanquito	26.618888	-101.311388	1981 – 1995
4	1 de Mayo	27.229166	-101.222500	1988 – 1995
5	Los Rodríguez	27.197222	-101.361111	1981 – 1995
6	Lamadrid	27.047222	-101.795277	1981 – 1995
7	Monclova	26.924722	-101.424722	1951 – 1995
8	San Francisco	27.140277	-101.633333	1981 – 1986
9	Sacramento	27.006666	-101.723055	1987 – 1995
10	Cuatrociénegas	26.983888	-102.063888	1943 – 1995
11	Progreso	27.424166	-100.995277	1948 – 1995

Fuente: SMN. CNA. 2003.

6.2.2 Precipitación

Con la información recabada por el Sistema Meteorológico Nacional de las estaciones meteorológicas de la región, se puede generar la tabla 6.2.2., donde se muestran las diferentes mediciones históricas anuales de las 11 estaciones de la región RH24DG⁷.

6.2.3 Polígonos de Thiessen

En base a la tabla 6.2.2., se puede observar que existen 12 grupos de años donde coinciden tener datos de precipitación, por lo tanto, esto quiere decir que se realizarán 12 planos de Polígonos de Thiessen para los siguientes años: 1943-1951, 1952-1955, 1956-1980, 1981-1982/1985, 1983, 1984, 1986, 1987-1988, 1989-1990, 1991-1992, 1993-1994 y 1995. Estos planos se pueden ver en el anexo de planos, donde aparecen las estaciones meteorológicas que los generaron. (**Apéndice 1, planos 4 al 15**).

Con las áreas de aportación calculadas por los polígonos de Thiessen se puede calcular el volumen medio anual debido a la precipitación, esto es, la suma de todas las áreas de aportación de la cuenca por su respectiva altura de precipitación, según la ecuación 2.4.

Tabla 6.2.2. Precipitación anual de las Estaciones Meteorológicas de la RH24DG.

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre	Castaños	El Márquez	El Tanquito	1 de Mayo	Los Rodríguez	Lamadrid	Monclova	San Francisco	Sacramento	Guatrociénegas	Progreso
1943										249.7	
1944										299.9	
1945										197.8	
1946										206	
1947										223.8	
1948										273.4	
1949										265.5	
1950										237.6	
1951										166.5	
1952							263.9			78.4	
1953							193.15			163.8	
1954							217.53			117.2	
1955							354.36			271	
1956							114.5			70.2	182.8
1957							319.8			221	352.7
1958							399.5			416.5	276.8
1959							256.2			94.5	350.6
1960							338.6			316	400.7
1961							296.1			255.6	355.9

Fuente: GE-SFA. 1995. Información Meteorológica de Coahuila.

⁷ Gobierno del Estado de Coahuila. Secretaría de Fomento Agropecuario. 1995. **Información meteorológica de Coahuila**. Saltillo, Coahuila.

Tabla 6.2.2. Precipitación anual de las Estaciones Meteorológicas de la RH24DG (continuación).

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nombre	Castaños	El Márquez	El Tanquito	1 de Mayo	Los Rodriguez	Lamadrid	Monclova	San Francisco	Sacramento	Cuatrociénegas	Progreso
1962							175.4			166.7	199.7
1963							489.8			188.4	301.5
1964							322.8			172.6	260.5
1965							328.1			199	402
1966							413.4			209.6	382.4
1967							506.1			149.7	506.5
1968							490			164.6	452.5
1969							239.7			138	296.8
1970							257.5			266.9	462.7
1971							371.6			354	381.1
1972							584.1			166	310
1973							433.2			214.7	453.9
1974							225.7			149	334.9
1975							266.72			120.5	498.5
1976							333			347	310.2
1977							200.6			236	175
1978							324.8			317	579.3
1979							354.1			273.4	387.6
1980							249.8			194.3	194.5
1981			327.1			480.4				324.8	310.1
1982			241			375.5				287.4	428
1983	338.5	355	286								432.5
1984			289		164			206			256.7
1985			253.4			225.73				421	447.4
1986		389.6								322	
1987					224					267	469.8
1988					141					170.8	389
1989		147	103		206				255	191	253
1990		355.5	294.8		419				301.7	222.2	390.3
1991		470	298	287.4	290		373.8			353.5	381
1992		428	260	265	188		380.5			316.5	547.5
1993		354			232	370	430			132	264.8
1994		468.2			228	214.5	206			89.1	251.9
1995		111.1					219.9				

Fuente: GE-SFA. 1995. Información Meteorológica de Coahuila.

De la tabla 6.2.3. a la 6.2.14., se muestran las áreas de aportación de los polígonos de Thiessen para cada año y el cálculo del volumen total anual.

Para los años de 1943 – 1951, como la estación de Cuatrociénegas es la única que funcionaba, se tiene sólo un área, es decir, el área total de la cuenca será la que se utilizará para calcular el volumen.

Tabla 6.2.3. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1943 – 1951.

Número	10	LN	26.983888	
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	TOTAL
Año	Hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1943	0.0002497	16497.4578	4.11941521	4.119415212
1944	0.0002999	16497.4578	4.94758759	4.947587593
1945	0.0001978	16497.4578	3.26319715	3.263197152
1946	0.0002060	16497.4578	3.39847631	3.398476306
1947	0.0002238	16497.4578	3.69213105	3.692131055
1948	0.0002734	16497.4578	4.51040496	4.510404961
1949	0.0002655	16497.4578	4.38007504	4.380075045
1950	0.0002376	16497.4578	3.91979597	3.919795972
1951	0.0001665	16497.4578	2.74682672	2.746826723

Para los años de 1952 – 1955, se tuvieron dos estaciones, la de Cuatrociénegas y la de Monclova, por lo tanto se tienen dos polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.4. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1952 – 1955.

Número	10	LN	26.983888	7	LN	26.924722	
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	Monclova	LE	-101.424722	TOTAL
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1952	0.0000784	6262.99456	0.49101877	0.00026390	10234.4632	2.70087485	3.19189362
1953	0.0001638	6262.99456	1.02587851	0.00019315	10234.4632	1.97678658	3.00266508
1954	0.0001172	6262.99456	0.73402296	0.00021753	10234.4632	2.22630279	2.96032575
1955	0.0002710	6262.99456	1.69727152	0.00035436	10234.4632	3.62668439	5.32395592

Para los años de 1956 – 1980, se tuvieron tres estaciones, la de Cuatrociénegas, Monclova y Progreso, por lo tanto se tienen tres polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.5. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1956 – 1980.

Número	10	LN	26.983888	7	LN	26.924722
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	Monclova	LE	-101.424722
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1956	0.0000702	5816.95485	0.40835023	0.0001145	6120.35873	0.70078108
1957	0.0002210	5816.95485	1.28554702	0.0003198	6120.35873	1.95729072
1958	0.0004165	5816.95485	2.42276170	0.0003995	6120.35873	2.44508331
1959	0.0000945	5816.95485	0.54970223	0.0002562	6120.35873	1.56803591
1960	0.0003160	5816.95485	1.83815773	0.0003386	6120.35873	2.07235347
1961	0.0002556	5816.95485	1.48681366	0.0002961	6120.35873	1.81223822
1962	0.0001667	5816.95485	0.96968637	0.0001754	6120.35873	1.07351092
1963	0.0001884	5816.95485	1.09591429	0.0004898	6120.35873	2.99775171
1964	0.0001726	5816.95485	1.00400641	0.0003228	6120.35873	1.97565180
1965	0.0001990	5816.95485	1.15757402	0.0003281	6120.35873	2.00808970

Tabla 6.2.5. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1956 – 1980. (continuación).

1966	0.0002096	5816.95485	1.21923374	0.0004134	6120.35873	2.53015630
1967	0.0001497	5816.95485	0.87079814	0.0005061	6120.35873	3.09751356
1968	0.0001646	5816.95485	0.95747077	0.0004900	6120.35873	2.99897578
1969	0.0001380	5816.95485	0.80273977	0.0002397	6120.35873	1.46704999
1970	0.0002669	5816.95485	1.55254525	0.0002575	6120.35873	1.57599237
1971	0.0003540	5816.95485	2.05920202	0.0003716	6120.35873	2.27432531
1972	0.0001660	5816.95485	0.96561451	0.0005841	6120.35873	3.57490154
1973	0.0002147	5816.95485	1.24890021	0.0004332	6120.35873	2.65133940
1974	0.0001490	5816.95485	0.86672627	0.0002257	6120.35873	1.38136497
1975	0.0001205	5816.95485	0.70094306	0.0002667	6120.35873	1.63242208
1976	0.0003470	5816.95485	2.01848333	0.0003330	6120.35873	2.03807946
1977	0.0002360	5816.95485	1.37280135	0.0002006	6120.35873	1.22774396
1978	0.0003170	5816.95485	1.84397469	0.0003248	6120.35873	1.98789252
1979	0.0002734	5816.95485	1.59035546	0.0003541	6120.35873	2.16721903
1980	0.0001943	5816.95485	1.13023433	0.0002498	6120.35873	1.52886561

Número	11	LN	27.424166	
Nombre	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1956	0.0001828	4560.14421	0.83359436	1.94272567
1957	0.0003527	4560.14421	1.60836286	4.85120061
1958	0.0002768	4560.14421	1.26224792	6.13009293
1959	0.0003506	4560.14421	1.59878656	3.71652470
1960	0.0004007	4560.14421	1.82724978	5.73776099
1961	0.0003559	4560.14421	1.62295532	4.92200721
1962	0.0001997	4560.14421	0.91066080	2.95385809
1963	0.0003015	4560.14421	1.37488348	5.46854948
1964	0.0002605	4560.14421	1.18791757	4.16757577
1965	0.0004020	4560.14421	1.83317797	4.99884169
1966	0.0003824	4560.14421	1.74379915	5.49318918
1967	0.0005065	4560.14421	2.30971304	6.27802474
1968	0.0004525	4560.14421	2.06346525	6.01991180
1969	0.0002968	4560.14421	1.35345080	3.62324056
1970	0.0004627	4560.14421	2.10997873	5.23851635
1971	0.0003811	4560.14421	1.73787096	6.07139828
1972	0.0003100	4560.14421	1.41364470	5.95416075
1973	0.0004539	4560.14421	2.06984946	5.97008907
1974	0.0003349	4560.14421	1.52719230	3.77528354
1975	0.0004985	4560.14421	2.27323189	4.60659703
1976	0.0003102	4560.14421	1.41455673	5.47111953
1977	0.0001750	4560.14421	0.79802524	3.39857054
1978	0.0005793	4560.14421	2.64169154	6.47355875
1979	0.0003876	4560.14421	1.76751190	5.52508638
1980	0.0001945	4560.14421	0.88694805	3.54604799

Para los años de 1981 – 1982, 1985, se tuvieron cuatro estaciones, El Tanquito, Lamadrid, Cuatrociénegas y Progreso, por lo tanto se tienen cuatro polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.6. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1981 – 1982, 1985.

Número	3	LN	26.618888	6	LN	27.047222
Nombre	El Tanquito	LE	-101.311388	Lamadrid	LE	-101.795277
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1981	0.0003271	3356.99847	1.0980742	0.0004804	5926.408442	2.847046615
1982	0.0002410	3356.99847	0.80903663	0.0003755	5926.408442	2.225366370
1985	0.0002534	3356.99847	0.85066341	0.0002257	5926.408442	1.337768178

Número	10	LN	26.983888	11	LN	27.424166	
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1981	0.0003248	2680.256764	0.870547397	0.0003101	4533.79412	1.40592956	6.221597769
1982	0.0002874	2680.256764	0.770305794	0.0004280	4533.79412	1.94046388	5.745172678
1985	0.0004210	2680.256764	1.128388098	0.0004474	4533.79412	2.02841949	5.345239176

Para el año de 1983, se tuvieron cuatro estaciones, Castaños, El Márquez, El Tanquito y Progreso, por lo tanto se tienen cuatro polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.7. Áreas de los polígonos de Thiessen para el año 1983.

Número	1	LN	26.771666	2	LN	26.640833
Nombre	Castaños	LE	-101.4175	El Marquez	LE	-101.254444
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1983	0.0003385	7756.30599	2.62550958	0.000355	965.407835	0.34271978

Número	3	LN	26.618888	11	LN	27.424166	
Nombre	El Tanquito	LE	-101.311388	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	Hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1983	0.000286	623.28424	0.17825929	0.0004325	7152.45973	3.09343883	6.23992749

Para el año de 1984, se tuvieron cuatro estaciones, El Tanquito, Los Rodríguez, San Francisco y Progreso, por lo tanto se tienen cuatro polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.8. Áreas de los polígonos de Thiessen para el año 1984.

Número	3	LN	26.618888	5	LN	27.197222
Nombre	El Tanquito	LE	-101.311388	Los Rodríguez	LE	-101.361111
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1984	0.000289	3182.50118	0.91974284	0.000164	3185.97897	0.522500551

Tabla 6.2.8. Áreas de los polígonos de Thiessen para el año 1984. (continuación).

Número	8	LN	27.140277	11	LN	27.424166	
Nombre	San Francisco	LE	-101.633333	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1984	0.000206	7775.18832	1.60168879	0.0002567	2353.789323	0.604217719	3.648149906

Para el año de 1986, se tuvieron dos estaciones, El Márquez y Cuatrociénegas, por lo tanto se tienen dos polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.9. Áreas de los polígonos de Thiessen para el año 1986.

Número	2	LN	26.640833	10	LN	26.983888	
Nombre	El Marquez	LE	-101.254444	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	TOTAL
Año	hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1986	0.0003896	7157.75259	2.78866041	0.000322	9339.70521	3.007385078	5.79604549

Para los años de 1987 – 1988, se tuvieron tres estaciones, Los Rodríguez, Cuatrociénegas y Progreso, por lo tanto se tienen tres polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.10. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1987 – 1988.

Número	5	LN	27.197222	10	LN	26.983888	
Nombre	Los Rodríguez	LE	-101.361111	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	
Año	hp	Área	V	hp	Área	V	
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	
1987	0.000224	8069.1059	1.80747972	0.0002670	6071.36137	1.621053486	
1988	0.000141	8069.1059	1.13774393	0.0001708	6071.36137	1.036988522	

Número	11	LN	27.424166	
Nombre	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1987	0.000469	2356.99053	1.10731415	4.535847358
1988	0.000389	2356.99053	0.91686932	3.09160177

Para los años de 1989 – 1990, se tuvieron seis estaciones, El Márquez, El Tanquito, Los Rodríguez, Sacramento, Cuatrociénegas y Progreso, por lo tanto se tienen seis polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.11. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1989 – 1990.

Número	2	LN	26.640833	3	LN	26.618888
Nombre	El Marquez	LE	-101.254444	El Tanquito	LE	-101.311388
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1989	0.0001470	1271.67553	0.18693630	0.0001030	1526.29699	0.15720859
1990	0.0003555	1271.67553	0.45208065	0.0002948	1526.29699	0.44995235

Tabla 6.2.11. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1989 – 1990. (continuación).

Número	5	LN	27.197222	9	LN	27.006666
Nombre	Los Rodríguez	LE	-101.361111	Sacramento	LE	-101.723055
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1989	0.000206	4874.73568	1.00419555	0.0002550	3097.71819	0.78991814
1990	0.000419	4874.73568	2.04251425	0.0003017	3097.71819	0.93458158

Número	10	LN	26.983888	11	LN	27.424166	
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1989	0.0001910	3392.08909	0.6478890	0.000253	2334.94231	0.59074041	3.3768880
1990	0.0002222	3392.08909	0.7537222	0.000390	2334.94231	0.91132799	5.5441790

Para los años de 1991 – 1992, se tuvieron siete estaciones, El Márquez, El Tanquito, 1º de Mayo, Los Rodríguez, Monclova, Cuatrociénegas y Progreso, por lo tanto se tienen siete polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.12. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1991 – 1992.

Número	2	LN	26.640833	3	LN	26.618888
Nombre	El Marquez	LE	-101.254444	El Tanquito	LE	-101.311388
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1991	0.000470	843.062868	0.39623955	0.000298	1336.82663	0.39837434
1992	0.000428	843.062868	0.36083091	0.000260	1336.82663	0.34757492

Número	4	LN	27.229166	5	LN	27.197222
Nombre	1 de Mayo	LE	-101.2225	Los Rodríguez	LE	-101.361111
Año	hp	Área	V	Hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1991	0.0002874	1605.9653	0.46155443	0.0002900	3989.78982	1.15703905
1992	0.0002650	1605.9653	0.42558080	0.0001880	3989.78982	0.75008049

Número	7	LN	26.924722	10	LN	26.983888
Nombre	Monclova	LE	-101.424722	Cuatrociénegas	LE	-102.063888
Año	hp	Área	V	Hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1991	0.0003738	2143.90021	0.8013899	0.0003535	4707.19984	1.66399514
1992	0.0003805	2143.90021	0.81575403	0.0003165	4707.19984	1.48982875

Tabla 6.2.12. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1991 – 1992. (continuación).

Número	11	LN	27.424166	
Nombre	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1991	0.0003810	1870.71313	0.71274170	5.591334103
1992	0.0005475	1870.71313	1.02421544	5.213865339

Para los años de 1993 – 1994, se tuvieron seis estaciones, El Márquez, Los Rodríguez, Lamadrid, Monclova, Cuatrociénegas y Progreso, por lo tanto se tienen seis polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.13. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1993 – 1994.

Número	2	LN	26.640833	5	LN	27.197222
Nombre	El Marquez	LE	-101.254444	Los Rodríguez	LE	-101.361111
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1993	0.0003540	2017.01737	0.71402415	0.000232	3880.85492	0.900358341
1994	0.0004682	2017.01737	0.94436753	0.000228	3880.85492	0.884834921

Número	6	LN	27.047222	7	LN	26.924722
Nombre	Lamadrid	LE	-101.795277	Monclova	LE	-101.424722
Año	hp	Área	V	hp	Área	V
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)
1993	0.0003700	3613.43964	1.33697267	0.00043	1932.47052	0.830962324
1994	0.0002145	3613.43964	0.7750828	0.000206	1932.47052	0.398088927

Número	10	LN	26.983888	11	LN	27.424166	
Nombre	Cuatrociénegas	LE	-102.063888	Progreso	LE	-100.995277	TOTAL
Año	hp	Área	V	Hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1993	0.0001320	2718.73303	0.35887276	0.0002648	2334.94231	0.618292725	4.75948297
1994	0.0000891	2718.73303	0.24223911	0.0002519	2334.94231	0.588171969	3.83278527

Para el año de 1995, se tuvieron dos estaciones, El Márquez y Monclova, por lo tanto se tienen dos polígonos de Thiessen.

Tabla 6.2.14. Áreas de los polígonos de Thiessen para los años 1995.

Número	2	LN	26.640833	7	LN	26.924722	
Nombre	El Marquez	LE	-101.254444	Monclova	LE	-101.424722	TOTAL
Año	hp	Área	V	Hp	Área	V	V entradas
	(km)	(km ²)	(km ³)	(km)	(km ²)	(km ³)	(km ³)
1995	0.0001111	2055.09814	0.2283214	0.0002199	14442.3597	3.17587489	3.40419629

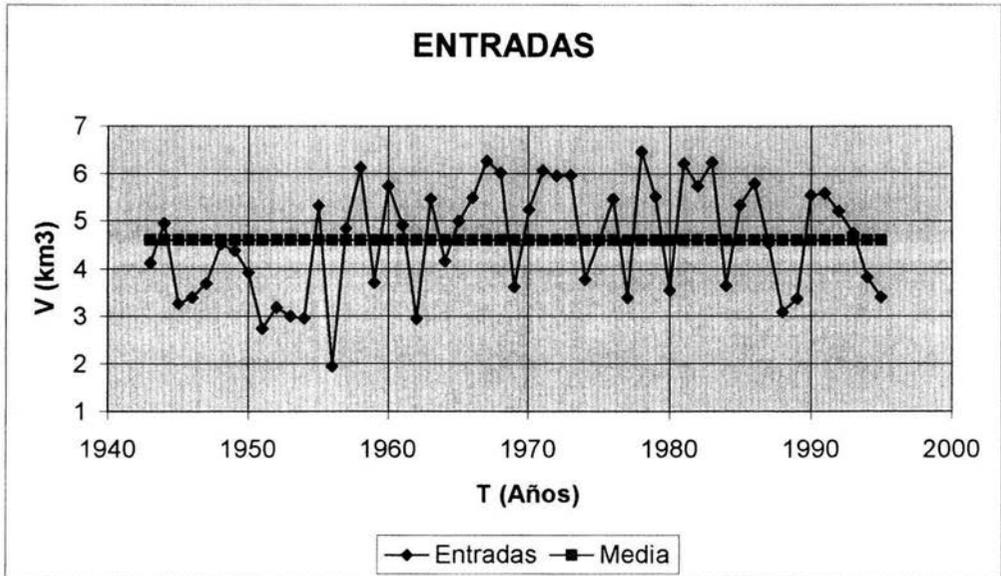
6.2.4 Serie de Tiempo Entradas

La serie de tiempo para las entradas queda definida por el volumen medio anual debido a la precipitación en la cuenca, en la tabla 6.2.15. y en la figura 6.2.1., se puede ver la serie final para la variable entradas.

Tabla 6.2.15. Serie de Tiempo Entradas

Año	V (km ³)	Año	V (km ³)
1943	4.11941521	1970	5.23851635
1944	4.94758759	1971	6.07139000
1945	3.26319715	1972	5.95416075
1946	3.39847631	1973	5.97008907
1947	3.69213105	1974	3.77528354
1948	4.51040496	1975	4.60659703
1949	4.38007504	1976	5.47111953
1950	3.91979597	1977	3.39857054
1951	2.74682672	1978	6.47355875
1952	3.19189362	1979	5.52508638
1953	3.00266508	1980	3.54604799
1954	2.96032575	1981	6.22159777
1955	5.32395592	1982	5.74517268
1956	1.94272567	1983	6.23992749
1957	4.85120061	1984	3.64814991
1958	6.13009200	1985	5.34523918
1959	3.71652470	1986	5.79604549
1960	5.73776099	1987	4.53584736
1961	4.92200721	1988	3.09160177
1962	2.95385809	1989	3.37688800
1963	5.46854948	1990	5.54417901
1964	4.16757577	1991	5.59133410
1965	4.99884169	1992	5.21386534
1966	5.49318918	1993	4.75948297
1967	6.27802474	1994	3.83278527
1968	6.01991180	1995	3.40419629
1969	3.62324056		

Figura 6.2.1. Serie Entradas.



Media: 4.6063

6.3 SALIDAS

6.3.1 Evaporación

En la región hidrológica RH24DG, se tienen 5 corrientes, pertenecientes al río Salado, en la tabla 6.3.1, se muestran los nombres, su longitud dentro de la cuenca y su área media total. La RH24DG, no tiene ningún cuerpo de agua de tamaño considerable, por lo tanto, solo se aplicará la evaporación a las corrientes de agua existentes. (*Apéndice 1, plano 16*).

Tabla 6.3.1. Corrientes de la RH24DG.

Nombre	Longitud (km)	Ancho promedio (km)	Área (km ²)
Mimbres	99.63770	3.23	321.82977
R. Capulín	168.4242	2.29	385.69142
A. de Aura	98.16190	2.60	255.22094
Monclova	83.23680	4.27	355.42114
R. Salado-Nadadores	114.8910	5.08	583.64628

Debido a que estas corrientes son pequeñas, no se tienen para todas instaladas estaciones hidrométricas que midan sus gastos y sus evaporaciones, por lo tanto, se utilizará como dato de evaporación la media anual de las estaciones meteorológicas más cercanas a la corriente dentro de la región y se aplicará la misma para todos los

cuerpos de agua. Es importante recalcar, que si se tuvieran datos históricos desde 1943 (1943, por ser el año donde se empezó la serie de tiempo para las entradas) de evaporación para cada una de las corrientes, se aplicaría dicho dato a cada una de las corrientes y luego se sumaría el volumen total de salida por año, como lo indica la ecuación 3.1.

Para los ríos Capulín y Mimbres, se cuenta con los datos medios de la llamada estación 1. Para los ríos Monclova, Aura y Salado, se tiene los datos medios de la estación 2. En la siguiente tabla, tabla 6.3.2, se muestran los datos medios de evaporación para la región hidrológica RH24DG

Tabla 6.3.2. Evaporación media anual en la región hidrológica RH24DG.

Año	Mimbres y Capulín				Aura, Monclova y Salado				TOTAL (km ³)
	Ev (mm)	Ev (km)	Área (km ²)	V (km ³)	Ev (mm)	Ev (km)	Área (km ²)	V (km ³)	
1943	1831.594	0.00183	707.5212	1.2959	1360.170	0.00136	1194.288	1.624435	2.920327
1944	1521.206	0.00152	707.5212	1.0763	1446.530	0.001447	1194.288	1.727574	2.803859
1945	1900.428	0.00190	707.5212	1.3446	1437.386	0.001437	1194.288	1.716653	3.061246
1946	1856.994	0.00186	707.5212	1.3139	1401.826	0.001402	1194.288	1.674184	2.988047
1947	1699.260	0.00170	707.5212	1.2023	1567.688	0.001568	1194.288	1.872272	3.074534
1948	1688.846	0.00169	707.5212	1.1949	2044.954	0.002045	1194.288	2.442265	3.637159
1949	1589.532	0.00159	707.5212	1.1246	1883.664	0.001884	1194.288	2.249638	3.374266
1950	1802.130	0.00180	707.5212	1.2750	1772.920	0.001773	1194.288	2.117378	3.392423
1951	1664.970	0.00166	707.5212	1.1780	1706.372	0.001706	1194.288	2.037900	3.215902
1952	1831.340	0.00183	707.5212	1.2957	2023.110	0.002023	1194.288	2.416177	3.711889
1953	1588.008	0.00159	707.5212	1.1235	1616.964	0.001617	1194.288	1.931121	3.054671
1954	1696.974	0.00170	707.5212	1.2006	1825.244	0.001825	1194.288	2.179868	3.380513
1955	1575.054	0.00158	707.5212	1.1144	1729.994	0.00173	1194.288	2.066112	3.180496
1956	1863.090	0.00186	707.5212	1.3182	2072.894	0.002073	1194.288	2.475633	3.793809
1957	1592.326	0.00159	707.5212	1.1266	1663.192	0.001663	1194.288	1.986331	3.112935
1958	1205.230	0.00121	707.5212	0.8527	1337.310	0.001337	1194.288	1.597134	2.449860
1959	1284.478	0.00128	707.5212	0.9088	1422.654	0.001423	1194.288	1.699059	2.607855
1960	1280.668	0.00128	707.5212	0.9061	1414.526	0.001415	1194.288	1.689352	2.595452
1961	1367.028	0.00137	707.5212	0.9672	1440.688	0.001441	1194.288	1.720597	2.687798
1962	1558.290	0.00156	707.5212	1.1025	1724.660	0.001725	1194.288	2.059741	3.162265
1963	2100.580	0.00210	707.5212	1.4862	2109.724	0.002110	1194.288	2.519619	4.005824
1964	2023.110	0.00202	707.5212	1.4314	1907.286	0.001907	1194.288	2.277849	3.709243
1965	1779.524	0.00178	707.5212	1.2591	1779.524	0.001780	1194.288	2.125265	3.384316
1966	1707.134	0.00171	707.5212	1.2078	1699.514	0.001700	1194.288	2.029710	3.237543
1967	2030.984	0.00203	707.5212	1.4370	2030.984	0.002031	1194.288	2.425581	3.862545
1968	1622.298	0.00162	707.5212	1.1478	1624.076	0.001624	1194.288	1.939615	3.087425
1969	1839.722	0.00184	707.5212	1.3016	1818.132	0.001818	1194.288	2.171374	3.473016
1970	1628.394	0.00163	707.5212	1.1521	1597.152	0.001597	1194.288	1.907460	3.059583
1971	1633.728	0.00163	707.5212	1.1559	1626.616	0.001627	1194.288	1.942649	3.098546
1972	1648.714	0.00165	707.5212	1.1665	1663.700	0.001664	1194.288	1.986938	3.153438
1973	1642.364	0.00164	707.5212	1.1620	1652.778	0.001653	1194.288	1.973894	3.135901
1974	1840.230	0.00184	707.5212	1.3020	1859.788	0.001860	1194.288	2.221123	3.523125
1975	1652.524	0.00165	707.5212	1.1692	1672.082	0.001672	1194.288	1.996948	3.166144

Tabla 6.3.2. Evaporación media anual en la región hidrológica RH24DG. (continuación).

1976	1524.254	0.00152	707.5212	1.0784	1537.208	0.001537	1194.288	1.835870	2.914312
1977	1742.948	0.00174	707.5212	1.2332	1754.632	0.001755	1194.288	2.095537	3.328709
1978	1644.904	0.00164	707.5212	1.1638	1649.984	0.001650	1194.288	1.970557	3.134361
1979	1664.208	0.00166	707.5212	1.1775	1685.544	0.001686	1194.288	2.013026	3.190488
1980	1759.458	0.00176	707.5212	1.2449	1774.190	0.001774	1194.288	2.118894	3.363748
1981	1489.456	0.00149	707.5212	1.0538	1502.410	0.001502	1194.288	1.794311	2.848132
1982	1658.874	0.00166	707.5212	1.1737	1671.574	0.001672	1194.288	1.996341	3.170030
1983	1760.982	0.00176	707.5212	1.2459	1759.966	0.001760	1194.288	2.101907	3.347839
1984	1935.734	0.00194	707.5212	1.3696	1941.830	0.001942	1194.288	2.319105	3.688678
1985	1607.058	0.00161	707.5212	1.1370	1625.092	0.001625	1194.288	1.940828	3.077856
1986	1641.602	0.00164	707.5212	1.1615	1641.602	0.001642	1194.288	1.960546	3.122014
1987	1416.812	0.00142	707.5212	1.0024	1416.812	0.001417	1194.288	1.692082	2.694507
1988	1719.072	0.00172	707.5212	1.2163	1719.072	0.001719	1194.288	2.053068	3.269348
1989	1997.456	0.00200	707.5212	1.4132	1850.898	0.001851	1194.288	2.210506	3.623748
1990	1664.970	0.00166	707.5212	1.1780	1559.814	0.001560	1194.288	1.862868	3.040869
1991	1882.140	0.00188	707.5212	1.3317	1882.140	0.001882	1194.288	2.247818	3.579472
1992	1557.528	0.00156	707.5212	1.1020	1557.528	0.001558	1194.288	1.860138	2.962122
1993	2006.346	0.00201	707.5212	1.4195	2006.346	0.002006	1194.288	2.396156	3.815688
1994	2033.270	0.00203	707.5212	1.4386	2033.270	0.002033	1194.288	2.428311	3.866892
1995	1833.880	0.00183	707.5212	1.2975	1833.880	0.001834	1194.288	2.190182	3.487690

6.3.2 Serie de Tiempo Salidas

La serie de tiempo de salidas queda definida por el volumen medio anual debido a la evaporación de la zona, en la tabla 6.3.3. y en la figura 6.3.1, se presenta dicha serie.

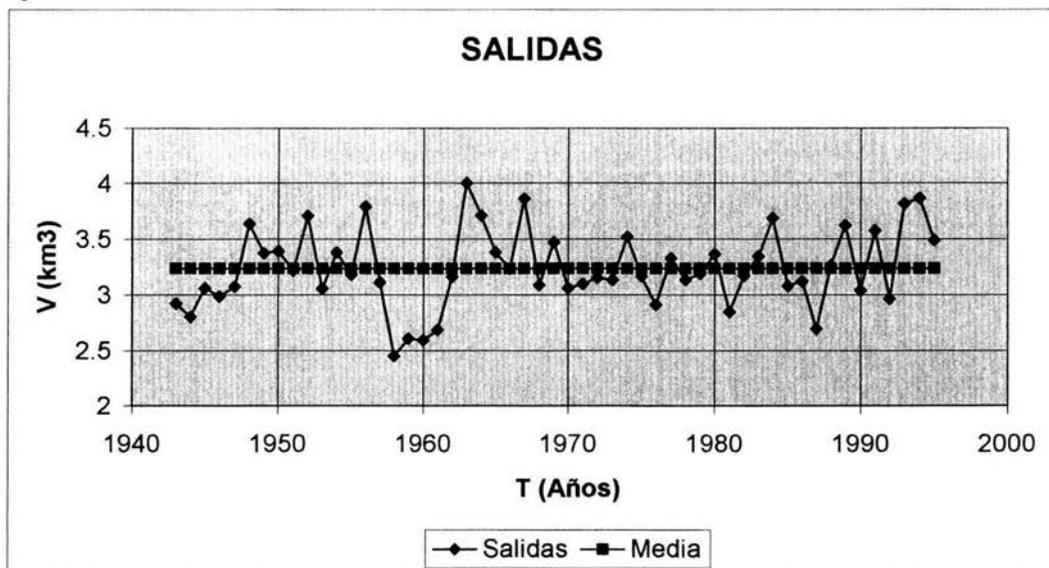
Tabla 6.3.3. Serie de Tiempo Salidas

Año	V (km ³)	Año	V (km ³)
1943	2.920327	1970	3.059583
1944	2.803859	1971	3.098546
1945	3.061246	1972	3.153438
1946	2.988047	1973	3.135901
1947	3.074534	1974	3.523125
1948	3.637159	1975	3.166144
1949	3.374266	1976	2.914312
1950	3.392423	1977	3.328709
1951	3.215902	1978	3.134361
1952	3.711889	1979	3.190488
1953	3.054671	1980	3.363748
1954	3.380513	1981	2.848132
1955	3.180496	1982	3.170030
1956	3.793809	1983	3.347839
1957	3.112935	1984	3.688678

Tabla 6.3.3. Serie de Tiempo Salidas. (continuación).

Año	V (km ³)	Año	V (km ³)
1958	2.449860	1985	3.077856
1959	2.607855	1986	3.122014
1960	2.595452	1987	2.694507
1961	2.687798	1988	3.269348
1962	3.162265	1989	3.623748
1963	4.005824	1990	3.040869
1964	3.709243	1991	3.579472
1965	3.384316	1992	2.962122
1966	3.237543	1993	3.815688
1967	3.862545	1994	3.866892
1968	3.087425	1995	3.487690
1969	3.473016		

Figura 6.3.1. Serie Salidas.



Media: 3.2382.

6.4 FUENTES

6.4.1 Aguas residuales tratadas

Las aguas residuales, provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales instaladas dentro de la cuenca, serán las encargadas de proporcionar la cantidad de agua complementaria de la variable fuentes, dicha cantidad de agua es la más importante a considerar, ya que será la que liberará volúmenes de agua de primer uso (provenientes de aguas superficiales o subterráneas) para que puedan ser reutilizados. En la siguiente tabla se muestra el inventario de plantas de tratamiento para la cuenca RH24DG.

Tabla 6.4.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales de la RH24DG.

Localidad	Planta	Proceso	Capacidad instalada (L/s)	Gasto de operación (L/s)
Castaños	Castaños	Laguna de estabilización	18.0	0.0
Cuatrociénegas	Cuatrociénegas	Filtros biológicos	12.5	0.0
Monclova - Frontera	AHMSA	Lodos activados	500.0	450.0
Nadadores	Nadadores	Lagunas de estabilización	10.0	0.0

Fuente: CNA. 2003.

Como se puede observar en la tabla 6.4.1., la única planta en operación es la de AHMSA en Monclova-Frontera, la cual trata las aguas residuales de la ciudad. Las demás plantas están en construcción o serán puestas en operación en un futuro. En este caso se utilizará como fuente complementaria el gasto de agua de dicha planta, ya que es la cantidad de agua tratada que ya se tiene en la cuenca.

La planta de tratamiento empezó a funcionar en 1982, con una capacidad instalada de 500 L/s y un gasto de operación de 450 L/s, este gasto de 450 L/s (0.0142006 km³/año), es el que se utilizará para sumar al volumen de la variable fuentes.

6.4.2 Serie de Tiempo Fuentes

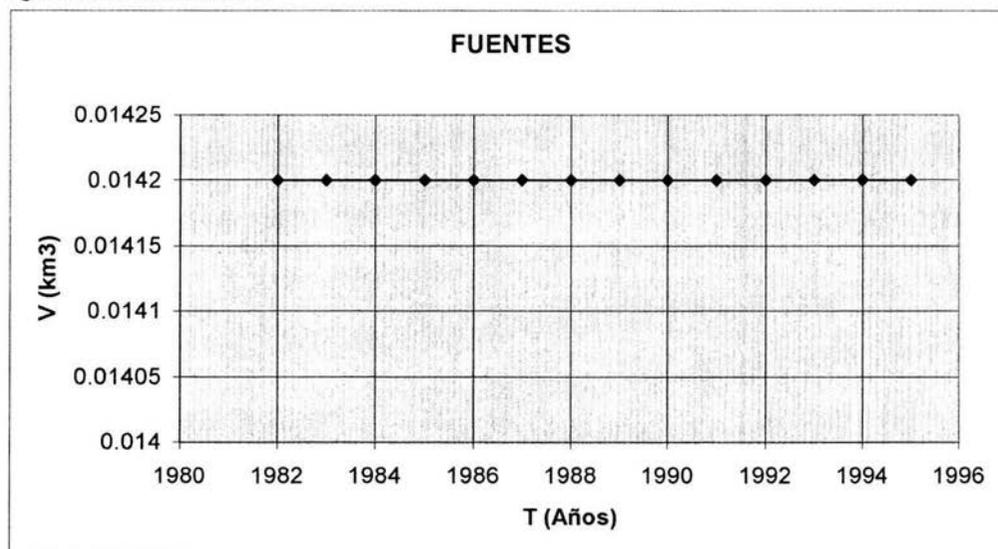
Como se mencionó en el capítulo cuatro, la serie de tiempo de la variable fuentes, está definida por el agua residual tratada, como lo indica la ecuación 4.2. En la tabla 6.4.2. y en la figura 6.4.1., se puede observar la serie final.

Por tratarse de una sola planta de tratamiento, y contar sólo con su gasto de operación, la serie fuentes, se reduce a un valor constante para todos los años, esta serie empieza en 1982, fecha en que se puso en operación la planta.

Tabla 6.4.2. Serie de Tiempo Fuentes.

Año	V (km ³)
1982	0.014200
1983	0.014200
1984	0.014200
1985	0.014200
1986	0.014200
1987	0.014200
1988	0.014200
1989	0.014200
1990	0.014200
1991	0.014200
1992	0.014200
1993	0.014200
1994	0.014200
1995	0.014200

Figura 6.4.1. Serie Fuentes.



6.5 SUMIDEROS

6.5.1 *Uso público*

La región hidrológica RH24DG del estado de Coahuila, abarca 12 municipios y varias localidades, en la tabla 6.5.1., se pueden ver el listado de los municipios y sus

localidades, en el apéndice de planos se puede observar la localización dentro de la región. (**Apéndice 1, plano 2**).

Para calcular el volumen de agua para uso público, es necesario conocer, además de la población de cada localidad, las dotaciones de agua potable para cada una de ellas. En la tabla 6.5.1., se puede observar la dotación de agua potable por clima.

Tabla 6.5.1. Dotación de Agua Potable.

Habitantes	Clima		
	Cálido	Templado	Frío
2500 a 15000	150	125	100
15000 a 30000	200	150	125
30000 a 70000	250	200	175
70000 a 150000	300	250	200
Mayor a 150000	350	300	250

Fuente: SRH. 1974. Normas de Proyecto para Obras de Aprovisionamiento de Agua Potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana, Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado.

De acuerdo a la tabla 6.5.1., se puede observar en la tabla 6.5.2., las correspondientes dotaciones para cada localidad, así como el promedio de la dotación para toda la región.

Tabla 6.5.2. Municipios y Poblados de la región hidrológica RH24DG.

	Municipio	Localidad	1990	1995	2000	Dotación
1	Abasolo	Todas	1409	1285	1126	150
2	Castaños	Todas	21356	21913	22530	200
3	Cuatrociénegas	Todas	12302	12887	12154	150
4	Escobedo	Todas	2966	2849	2784	150
5	Frontera	Todas	61450	63820	66579	250
6	Lamadrid	Todas	2006	1830	1781	150
7	Monclova	Todas	178606	189700	193744	350
8	Múzquiz	Barroterán	1564	1589	1641	150
9	Nadadores	Todas	5515	6188	5946	150
10	Progreso	Todas	4041	6314	3608	150
11	Sacramento	Todas	1990	1948	2006	150
12	San Buenaventura	Todas	20216	20029	20046	200
	TOTAL		313421	330352	333945	183.333333

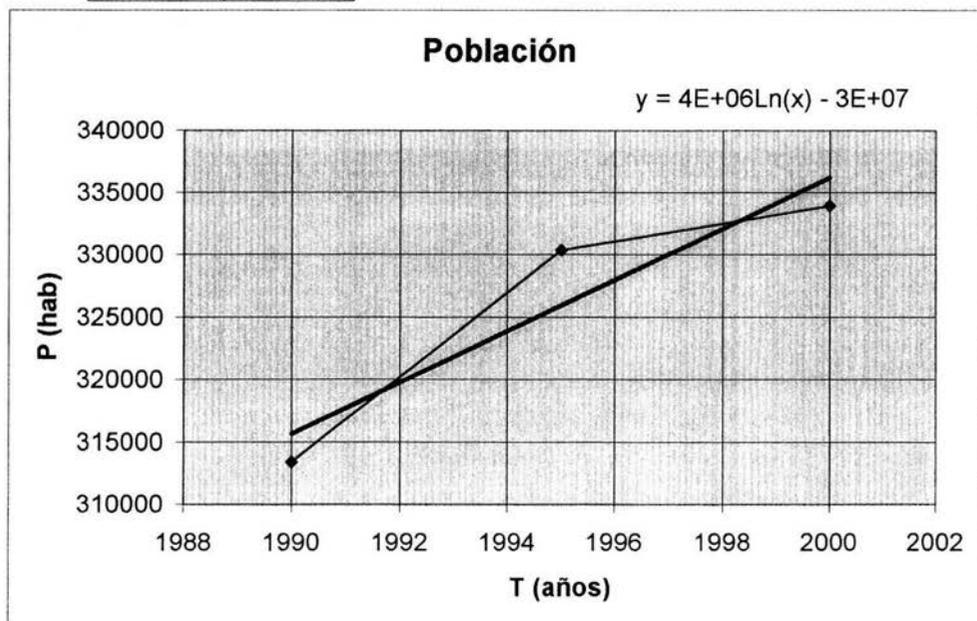
Fuente: INEGI. CGPV2000. SIMBAD2004.

Con los totales de la población de la región RH24DG, se calcula la población para cada año, se ajustó una curva logarítmica, por ser la de mayor correlación (0.9365). En la figura 6.5.1. muestra la gráfica de dicha ecuación.

$$y = -30794384.3979 + 4095638.78187 \ln(x) \quad (6.1)$$

Figura 6.5.1. Comportamiento de la Población.

Año	Población
1990	313421
1995	330352
2000	333945



Para calcular el volumen de agua para uso público por año, se utilizará, la curva logarítmica de población y la media de la dotación en la región, de acuerdo a la ecuación 5.1. En la tabla 6.5.3., se puede ver el resultado final del volumen de agua anual para uso público.

Tabla 6.5.3. Volumen de Agua para Uso Público.

Año	Población (hab)	Dotación (L/hab.día)	V (km ³)	Año	Población (hab)	Dotación (L/hab.día)	V (km ³)
1943	217745.151	183.3333	0.014570777	1970	274266.491	183.3333	0.018352996
1944	219852.503	183.3333	0.014711794	1971	276344.968	183.3333	0.018492081
1945	221958.772	183.3333	0.014852738	1972	278422.391	183.3333	0.018631095
1946	224063.958	183.3333	0.01499361	1973	280498.761	183.3333	0.018770039
1947	226168.062	183.3333	0.01513441	1974	282574.078	183.3333	0.018908912
1948	228271.086	183.3333	0.015275137	1975	284648.344	183.3333	0.019047715
1949	230373.03	183.3333	0.015415792	1976	286721.561	183.3333	0.019186448
1950	232473.896	183.3333	0.015556375	1977	288793.728	183.3333	0.01932511
1951	234573.686	183.3333	0.015696886	1978	290864.848	183.3333	0.019463703
1952	236672.399	183.3333	0.015837325	1979	292934.92	183.3333	0.019602225
1953	238770.037	183.3333	0.015977692	1980	295003.947	183.3333	0.019740677

Tabla 6.5.3. Volumen de Agua para Uso Público. (continuación).

1954	240866.602	183.3333	0.016117987	1981	297071.93	183.3333	0.01987906
1955	242962.094	183.3333	0.01625821	1982	299138.868	183.3333	0.020017372
1956	245056.514	183.3333	0.016398362	1983	301204.764	183.3333	0.020155615
1957	247149.864	183.3333	0.016538442	1984	303269.619	183.3333	0.020293788
1958	249242.144	183.3333	0.01667845	1985	305333.433	183.3333	0.020431892
1959	251333.356	183.3333	0.016818387	1986	307396.207	183.3333	0.020569926
1960	253423.501	183.3333	0.016958253	1987	309457.943	183.3333	0.02070789
1961	255512.58	183.3333	0.017098047	1988	311518.642	183.3333	0.020845785
1962	257600.593	183.3333	0.01723777	1989	313578.305	183.3333	0.020983611
1963	259687.543	183.3333	0.017377422	1990	315636.932	183.3333	0.021121368
1964	261773.43	183.3333	0.017517002	1991	317694.525	183.3333	0.021259055
1965	263858.255	183.3333	0.017656512	1992	319751.085	183.3333	0.021396673
1966	265942.02	183.3333	0.01779595	1993	321806.612	183.3333	0.021534222
1967	268024.724	183.3333	0.017935318	1994	323861.109	183.3333	0.021671702
1968	270106.37	183.3333	0.018074615	1995	325914.575	183.3333	0.021809113
1969	272186.959	183.3333	0.018213841				

6.5.2 Uso Agrícola

En la RH24DG, no existen distritos de riego tipificados, existen zonas de cultivo muy aisladas de tipo rural y muchas veces de temporal, por lo tanto no hay datos de extracción ni se contabilizan estos volúmenes de consumo en caso de que existan. Por lo tanto, no se considerarán volúmenes de extracción para uso agrícola en dicha zona.

6.5.3 Serie de Tiempo Sumideros

Finalmente, la serie de tiempo de la variable sumideros estará definida sólo por el volumen de uso público, debido a que no existen distritos de riego y registros de consumo de agua para industria. En la Tabla 6.5.4., se puede observar dicha serie.

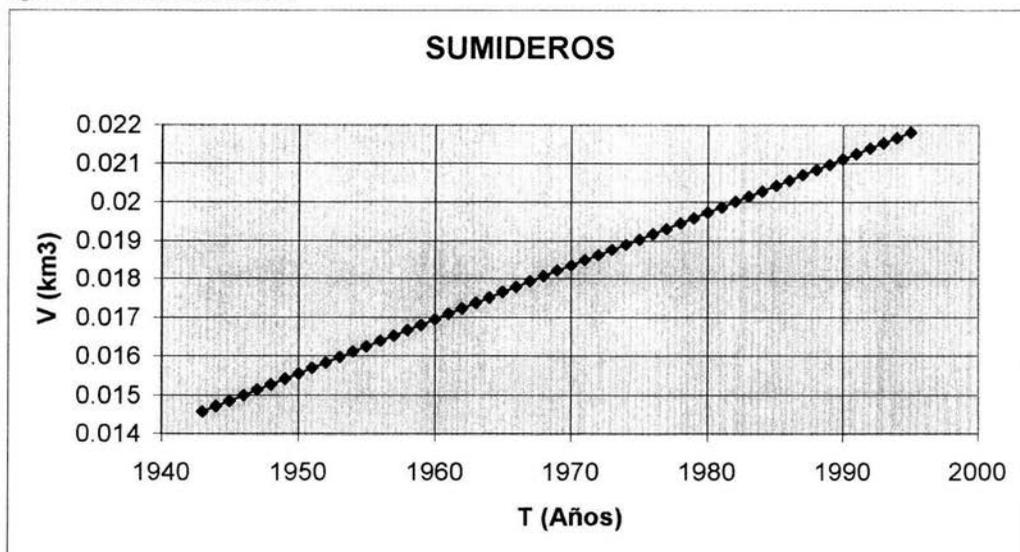
Tabla 6.5.4. Serie de Tiempo Sumideros.

Año	V (km ³)	Año	V (km ³)
1943	0.014570777	1970	0.018352996
1944	0.014711794	1971	0.018492081
1945	0.014852738	1972	0.018631095
1946	0.01499361	1973	0.018770039
1947	0.01513441	1974	0.018908912
1948	0.015275137	1975	0.019047715
1949	0.015415792	1976	0.019186448
1950	0.015556375	1977	0.01932511
1951	0.015696886	1978	0.019463703

Tabla 6.5.4. Serie de Tiempo Sumideros. (continuación).

Año	V (km ³)	Año	V (km ³)
1952	0.015837325	1979	0.019602225
1953	0.015977692	1980	0.019740677
1954	0.016117987	1981	0.01987906
1955	0.01625821	1982	0.020017372
1956	0.016398362	1983	0.020155615
1957	0.016538442	1984	0.020293788
1958	0.01667845	1985	0.020431892
1959	0.016818387	1986	0.020569926
1960	0.016958253	1987	0.02070789
1961	0.017098047	1988	0.020845785
1962	0.01723777	1989	0.020983611
1963	0.017377422	1990	0.021121368
1964	0.017517002	1991	0.021259055
1965	0.017656512	1992	0.021396673
1966	0.01779595	1993	0.021534222
1967	0.017935318	1994	0.021671702
1968	0.018074615	1995	0.021809113
1969	0.018213841		

Figura 6.6.4. Serie Sumideros.



6.6 PRONÓSTICO

6.6.1 Situación del Agua en el Tiempo

Una vez generadas las 4 series de tiempo para las 4 variables: Entradas, Salidas, Fuentes y Sumideros, se procederá a hacer el pronóstico del agua en la región RH24DG. En la tabla 6.6.1, se pueden observar las series finales para cada una de las variables y el balance hidráulico de la región RH24DG hasta el año 1995.

Tabla 6.6.1. Series de Tiempo.

Año	Entradas (km ³)	Salidas (km ³)	Fuentes (km ³)	Sumideros (km ³)	Balance (km ³)
1943	4.11941521	2.92032676		0.014570777	1.18451768
1944	4.94758759	2.80385941		0.014711794	2.12901638
1945	3.26319715	3.06124644		0.014852738	0.18709797
1946	3.39847631	2.98804707		0.014993610	0.39543563
1947	3.69213105	3.07453398		0.015134410	0.60246266
1948	4.51040496	3.63715908		0.015275137	0.85797074
1949	4.38007504	3.37426555		0.015415792	0.99039370
1950	3.91979597	3.39242287		0.015556375	0.51181672
1951	2.74682672	3.21590176		0.015696886	-0.48477193
1952	3.19189362	3.71188857		0.015837325	-0.53583228
1953	3.00266508	3.05467059		0.015977692	-0.06798320
1954	2.96032575	3.38051272		0.016117987	-0.43630496
1955	5.32395592	3.18049577		0.016258210	2.12720194
1956	1.94272567	3.79380882		0.016398362	-1.86748151
1957	4.85120061	3.11293522		0.016538442	1.72172694
1958	6.13009200	2.44985952		0.016678450	3.66355403
1959	3.71652470	2.60785451		0.016818387	1.09185180
1960	5.73776099	2.59545168		0.016958253	3.12535106
1961	4.92200721	2.68779818		0.017098047	2.21711098
1962	2.95385809	3.16226455		0.017237770	-0.22564423
1963	5.46854948	4.00582367		0.017377422	1.44534839
1964	4.16757577	3.70924265		0.017517002	0.44081611
1965	4.99884169	3.38431573		0.017656512	1.59686945
1966	5.49318918	3.23754326		0.017795950	2.23784997
1967	6.27802474	3.86254476		0.017935318	2.39754467
1968	6.01991180	3.08742527		0.018074615	2.91441192
1969	3.62324056	3.47301617		0.018213841	0.13201055
1970	5.23851635	3.05958330		0.018352996	2.16058006
1971	6.07139000	3.09854573		0.018492081	2.95435219
1972	5.95416075	3.15343763		0.018631095	2.78209203
1973	5.97008907	3.13590085		0.018770039	2.81541818
1974	3.77528354	3.52312487		0.018908912	0.23324976
1975	4.60659703	3.16614381		0.019047715	1.42140551
1976	5.47111953	2.91431162		0.019186448	2.53762146
1977	3.39857054	3.32870921		0.019325110	0.05053622
1978	6.47355875	3.13436111		0.019463703	3.31973393

Tabla 6.6.1. Series de Tiempo. (continuación)

Año	Entradas (km ³)	Salidas (km ³)	Fuentes (km ³)	Sumideros (km ³)	Balance (km ³)
1979	5.52508638	3.190488		0.019602225	2.31499616
1980	3.54604799	3.36374827		0.019740677	0.16255904
1981	6.22159776	2.84813245		0.019879060	3.35358626
1982	5.74517267	3.17002987	0.0142006	0.020017372	2.56932604
1983	6.23992749	3.34783898	0.0142006	0.020155615	2.88613350
1984	3.64814990	3.68867778	0.0142006	0.020293788	-0.04662106
1985	5.34523917	3.07785604	0.0142006	0.020431892	2.26115184
1986	5.79604549	3.12201435	0.0142006	0.020569926	2.66766181
1987	4.53584735	2.69450659	0.0142006	0.020707890	1.83483348
1988	3.09160177	3.26934754	0.0142006	0.020845785	-0.18439095
1989	3.37688800	3.62374837	0.0142006	0.020983611	-0.25364338
1990	5.54417901	3.04086925	0.0142006	0.021121368	2.49638899
1991	5.59133410	3.57947182	0.0142006	0.021259055	2.00480383
1992	5.21386533	2.96212162	0.0142006	0.021396673	2.24454765
1993	4.75948297	3.81568797	0.0142006	0.021534222	0.93646137
1994	3.83278527	3.86689229	0.0142006	0.021671702	-0.04157813
1995	3.40419629	3.48769049	0.0142006	0.021809113	-0.09110271

6.6.2 Pronóstico del Balance Hidráulico

Una vez integradas las cuatro series de tiempo, se procede a realizar el pronóstico, se recomienda utilizar algún software de análisis de series de tiempo, para este trabajo se utilizó WinRATS (www.stima.com). De acuerdo al criterio de máxima verosimilitud, se realizarán corridas para determinar el número de retrasos del vector autorregresivo (ecuación 1.6). Una vez determinado el número de retrasos, se realiza la corrida del pronóstico.

Para esta cuenca en específico, por sus datos, el vector autorregresivo se redujo a dos variables: "entradas" y "salidas". Las "fuentes", por ser una línea constante con el valor de 0.0142 km³, correspondientes a la producción de agua residual tratada, no se incorpora al vector y se pronostica por separado, es decir, se mantiene constante la producción de agua en esa planta. La variable "sumideros" dada exclusivamente por el volumen de agua para uso municipal (no existen datos para uso agrícola), también se pronóstico por separado, con la misma ecuación de ajuste logarítmica (ecuación 6.1).

El pronóstico se hizo para 1997. Debido al comportamiento de la variable "fuentes" que tiene un comportamiento constante y al comportamiento de la variable "sumideros" que tiene un comportamiento logarítmico, el vector autorregresivo se conformo sólo con las variables "entradas, "salidas". El pronóstico de estas dos variables se hizo con un sólo retraso debido a no existir relaciones entre las variables. La siguiente ecuación es con la que se estimó el pronóstico, (**Apéndice 2**).

$$\begin{bmatrix} \hat{E}_t \\ \hat{S}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1825 & 0.4118 \\ 0.0212 & 0.3007 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{t-1} \\ S_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2.4394 \\ 2.1739 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

En las figuras 6.6.1. y 6.6.2., se pueden observar los resultados de las series observadas y las series estimadas con la ecuación anterior, para las entradas y las salidas, respectivamente.

Figura 6.6.1. Serie Entradas.

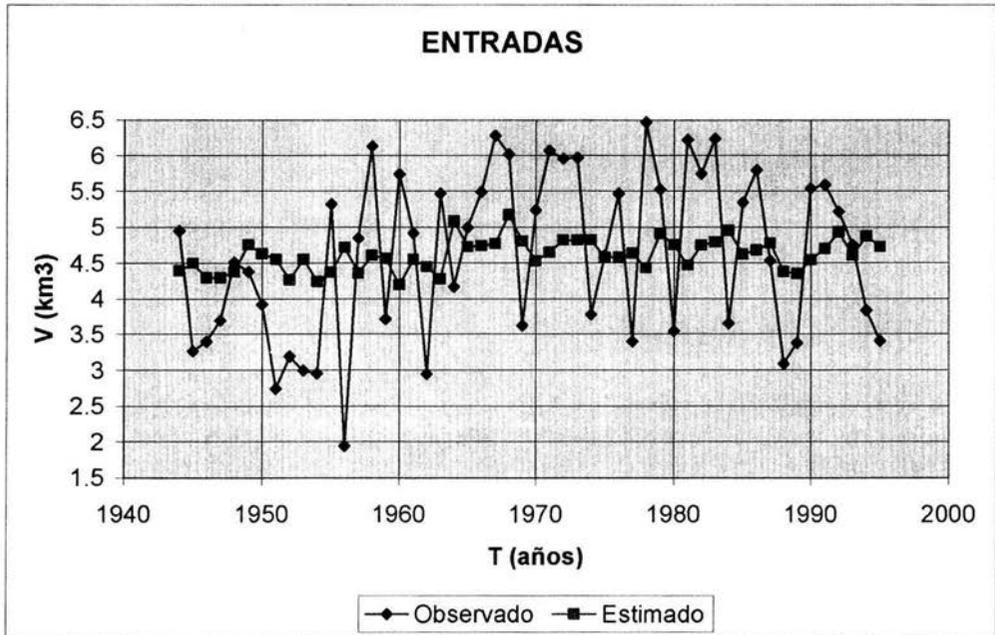
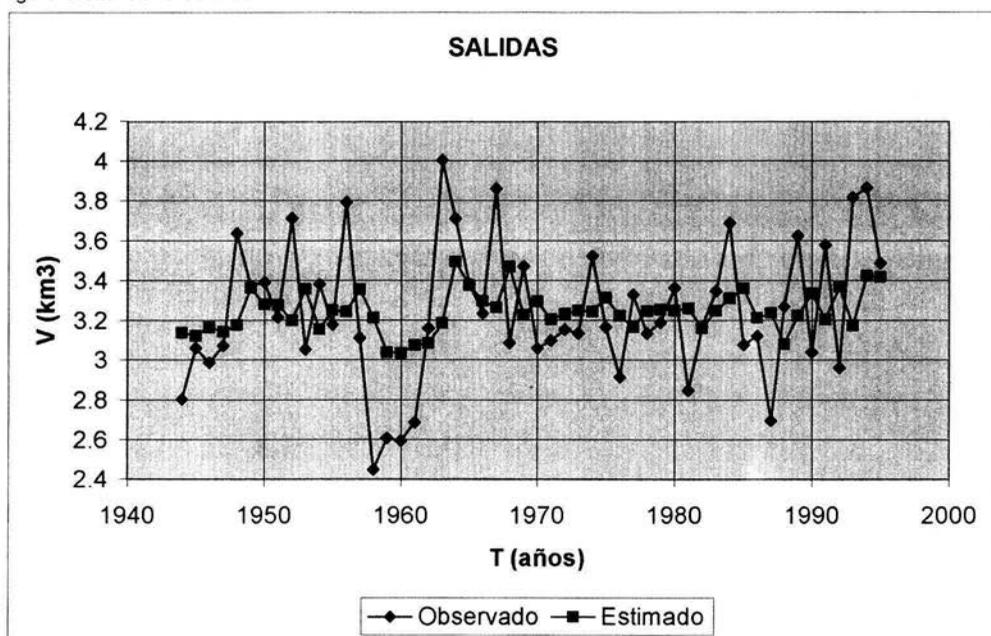


Figura 6.6.2. Serie Salidas.



En la tabla 6.6.2., se puede observar el resultado del pronóstico de cada una de las variables y su respectivo balance hidráulico. Las fuentes y los sumideros, se pronosticaron con sus ecuaciones respectivas:

Fuentes: $y = 0.0142006;$

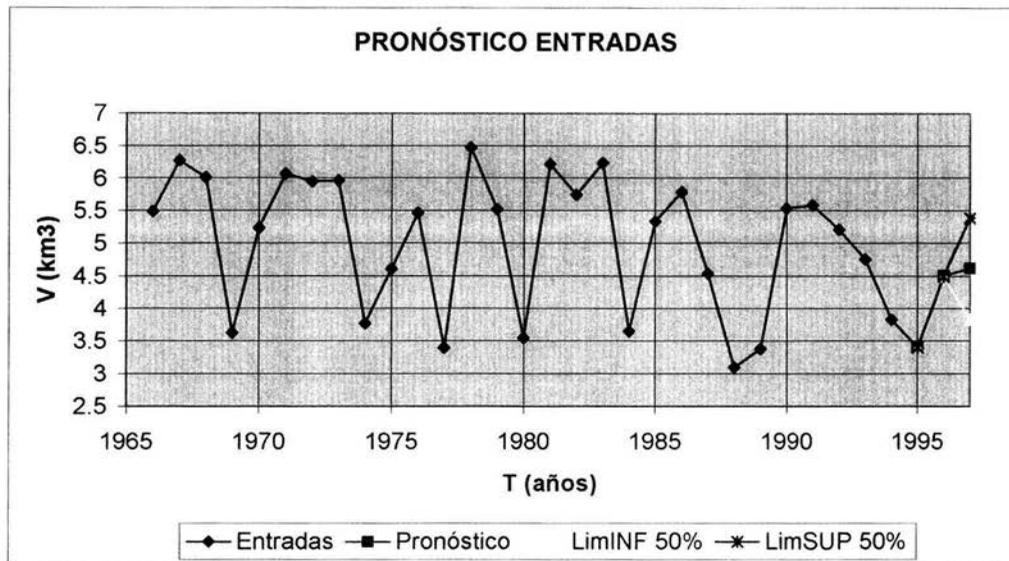
Sumideros: $y = -30794384.3979 + 4095638.78187 \ln(x)$

Tabla 6.6.2. Resultados del pronóstico.

Año	Entradas (km ³)	Salidas (km ³)	Fuentes (km ³)	Sumideros (km ³)	Balance (km ³)
1995	3.40419629	3.48769049	0.0142006	0.02180911	-0.09110271
1996	4.49677685	3.29483308	0.0142006	0.02194646	1.19419792
1997	4.61676830	3.26002145	0.0142006	0.02208373	1.34886372

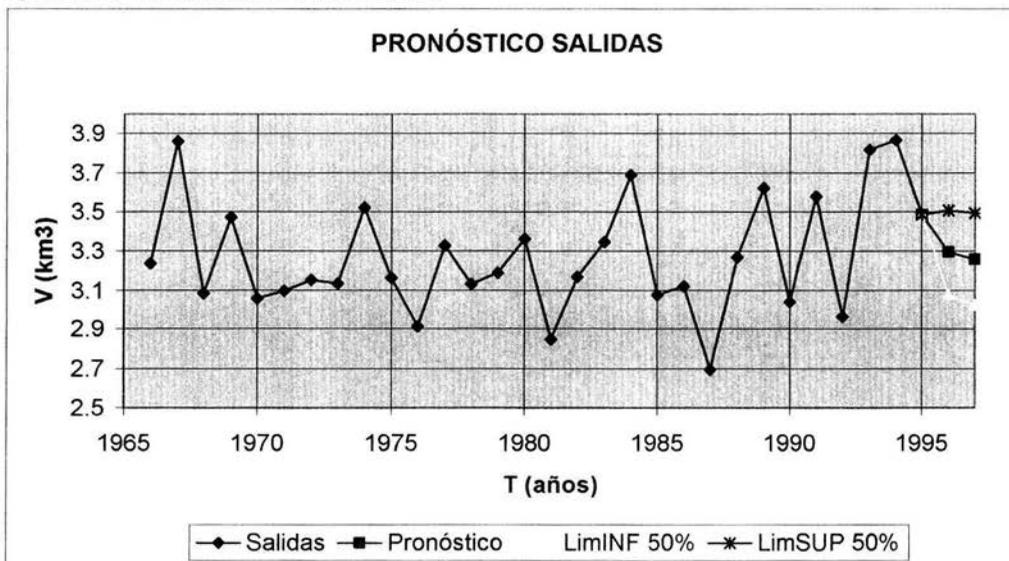
En las figuras 6.6.3. y 6.6.4., se puede observar el resultado del pronóstico para 1997 con bandas del 50 % de confianza para las entradas y las salidas, respectivamente. En la figura 6.6.5., se puede ver el resultado final del balance hidráulico para toda la serie.

Figura 6.6.3. Pronóstico de la variable entradas.



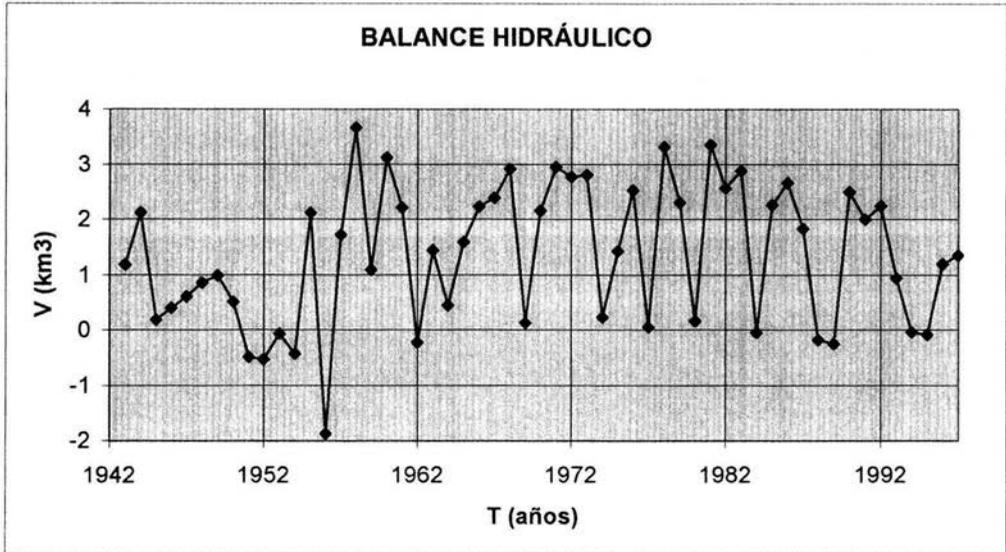
Pronóstico 1997 = 4.6167 ± 0.774 con 50 % de confianza.

Figura 6.6.4. Pronóstico de la variable salidas.



Pronóstico 1997 = 3.26 ± 0.235 con 50 % de confianza.

Figura 6.6.5. Balance Hidráulico.



6.6.3. Simulación del Balance Hidráulico.

Una de las principales aplicaciones de los vectores autorregresivos, es que permite realizar simulaciones una vez teniendo estimadas las series, se pueden realizar simulaciones de cualquier variable involucrada, por ejemplo, en la variable "fuentes", se podrían simular los volúmenes de aguas residuales que están por generarse provenientes de las futuras plantas de tratamiento que se pondrán en operación en un futuro dentro de la cuenca. Se puede observar el comportamiento del balance hidráulico y conocer si disminuirá la extracción de agua de primer uso aprovechando las aguas residuales tratadas.

6.7 EVALUACIÓN AMBIENTAL

6.7.1 Calidad del Agua

Una vez realizado el pronóstico de la cantidad de agua, se cuenta con el volumen anual de agua residual que van a producir las ciudades de la región hidrológica RH24DG, su calidad, va estar determinada por la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, y que tiene las siguientes especificaciones:

1. La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las Tablas 2 y 3 de esta Norma Oficial Mexicana. El rango permisible del potencial hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.
2. Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1,000 y 2,000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente.
3. Para determinar la contaminación por parásitos se tomará como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola), es de un huevo de helminto por litro para riego restringido, y de cinco huevos por litro para riego no restringido, lo cual se llevará a cabo de acuerdo a la técnica establecida en el anexo 1 de esta Norma⁸.

Los responsables de las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales deben cumplir con la presente Norma Oficial Mexicana de acuerdo con lo siguiente:

- a) Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 6.7.1 El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población. El número de habitantes corresponde al determinado en el XI Censo Nacional de Población y Vivienda, correspondiente a 1990, publicado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- b) Las descargas no municipales tendrán como plazo límite hasta las fechas de cumplimiento establecidas en la tabla 6.7.2 El cumplimiento es gradual y progresivo, dependiendo de la mayor carga contaminante, expresada como demanda bioquímica de oxígenos (DBO₅) o sólidos suspendidos totales (SST), según las cargas del agua residual, manifestadas en la solicitud de permiso de descarga, presentada a la Comisión Nacional del Agua.

Las fechas de cumplimiento establecidas por esta Norma Oficial Mexicana podrán ser adelantadas por la Comisión Nacional del Agua para un cuerpo receptor en específico, siempre y cuando exista el estudio correspondiente que valide tal modificación

Tabla 6.7.1. Descargas Municipales.

Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población (hab)
1 de enero de 2000	mayor de 50,000 habitantes
1 de enero de 2005	de 20,001 a 50,000 habitantes
1 de enero de 2010	de 2,501 a 20,000 habitantes

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996.

⁸ CNA. 1996. Norma Oficial Mexicana. **NOM-001-SEMARNAT-1996**. México, D.F.

Tabla 6.7.2. Descargas no Municipales.

Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga	Contaminante
	Demanda Bioquímica de Oxígenos, t/d (tonelada/día)	Sólidos Suspendedos Totales t/d (tonelada/día)
1de enero de 2000	mayor de 3.0	mayor de 3.0
1de enero de 2005	de 1.2 a 3.0	de 1.2 a 3.0
1de enero de 2010	menor de 1.2	menor de 1.2

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, podemos determinar la calidad del agua mínima necesaria para poder verterla en bienes nacionales, según lo indica la norma cumpliendo con los límites máximos permisibles y las fechas para cumplimiento de la misma, es decir, las fechas límites para cuando el municipio debe contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales según su tamaño de población.

Por tratarse de aguas residuales municipales, la calidad media de las aguas residuales en el país, se muestra en la tabla 6.7.3, donde la variación en características de calidad de las aguas residuales generadas por ciudades, se debe principalmente al agua abastecida, influencia industrial, tamaño de población y clima prevaleciente. De acuerdo con esto, y manejando estadísticamente la mayoría de datos reportados sobre las características de las aguas residuales de ciudades mexicanas, se ha estimado la media (Fuente: SARH 1983) de los principales parámetros indicadores de la calidad del agua residual así como su intervalo de confianza donde se espera que la mayoría de valores reales se encuentre. En los resultados que se presentan se puede observar la caracterización de 33 parámetros de calidad del agua residual, representados con un intervalo de confianza del 95%, estos parámetros son característicos de las poblaciones mexicanas. En donde no se define intervalo de confianza significa que se presentan condiciones que son muy particulares de cada población.

Tabla 6.7.3. Características de calidad media del agua residual en poblaciones mexicanas.

Parámetro	Media	Intervalo de confianza	
		Limite inferior	Limite superior
(Concentración de mg/L, excepto donde se indique)			
pH (Potencial Hidrógeno)	7.5	6.8	8.2
T °C (temperatura)	21.6	17.7	25.6
DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	243.7	191.1	296.4
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	508.0	425.4	590.6
SSe (Sólidos Sedimentables)	5.0	2.7	7.3
GyA (Grasas y Aceites)	81.5	55.4	107.6
ST (Sólidos Totales)	1191.0	914.5	1467.5
SST (Sólidos Suspendedos Totales)	210.8	163.7	258.0
SDT (Sólidos Disueltos Totales)	981.4	755.4	1207.3
SSV (Sólidos Suspendedos Volátiles)	139.4	107.5	172.2
SSF (Sólidos Suspendedos Fijos)	96.8	39.4	154.1

Tabla 6.7.3. Características de calidad media del agua residual en poblaciones mexicanas. (continuación)

Parámetro	Media	Intervalo de confianza	
		Limite inferior	Limite superior
		(Concentración de mg/L, excepto donde se indique)	
SDV (Sólidos Disueltos Volátiles)	340.2	193.3	487.1
SDF (Sólidos Disueltos Fijos)	654.5	291.8	1017.2
Color (Unidades Pt-Co)	214.7	110.2	539.7
Coliformes (NMP/100 mL)	3.6×10^8	-	11.6×10^8
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	1.6×10^8	-	6.6×10^8
N-NO ₃ (Nitratos)	0.5	-	0.9
Fenoles	0.1	-	-
N- NH ₃ (Amoniaco)	19.3	14.5	24.2
N _{Total} (Nitrógeno Total)	39.3	29.4	49.2
N _{orgánico} (Nitrógeno Orgánico)	17.2	12.0	22.4
N-NO ₂ (Nitritos)	0.5	-	-
Cloro Cl ⁻	140.8	58.5	223.1
PO ₄ (Fosfatos Totales)	23.0	8.8	37.2
P _{Total} (Fósforo Total)	17.0	1.5	32.5
P _{orgánico} (Fósforo Orgánico)	3.0	-	-
P _{inorgánico} (Fósforo Inorgánico)	8.8	-	-
Alcalinidad (Como CaCO ₃)	323.2	145.3	501.2
C.E. (Cond. Eléctrica mhos/cm)	1558.1	1162.3	1954.0
SAAM (Detergentes)	13.5	4.4	22.6
SO ₄ (Sulfatos)	241.8	-	501.0
RAS (Radio de Absorción de Sodio s/u)	5.1	0.6	9.5
Boro	3.1	-	8.5

Fuente: Athié. 1983

En la región RH24DG, según el pronóstico, se van a producir en el año 2020, 0.025222189 km^3 (799.25 L/s) de aguas residuales provenientes de todas las ciudades de la región, las cuales, para cumplir con la norma, deben ser tratadas. En base a este volumen y a su calidad media mostrada en la tabla de Athié, se pueden escoger los sistemas y esquemas de tratamiento más convenientes dependiendo de la población de cada localidad. El tratar las aguas residuales, va ser de gran importancia, en primer lugar, para liberar los volúmenes de aguas de primer uso (agua potable), reutilizando las aguas tratadas en otros usos (agricultura, principalmente), y en segundo lugar, para definir la calidad con que se van a entregar las aguas residuales para su futuro aprovechamiento. Es aquí donde reside el principal objetivo de hacer un pronóstico de la cantidad de agua, ya que se puede planear con mayor eficiencia los sistemas de tratamiento a implementar y las fechas de cuando se deben de construir las plantas de tratamiento de aguas residuales en las ciudades de la región.

En la tabla 6.7.4, se puede observar, según el pronóstico de la población al 2020 y la NOM-001-SEMARNAT-1996, los municipios de la región RH24DG y su fecha límite para contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 6.7.4. Fecha de cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la construcción de planta de tratamiento de aguas residuales según pronóstico de la población.

	Municipio	Ecuación de Pronóstico	Población 2020 (hab)	Fecha límite
1	Abasolo	430244.158918-56455.435572 Ln X	570.1495619	Sin fecha
2	Castaños	-1757667.76205+234207.387016 Ln X	24850.18295	1 de enero de 2005
3	Cuatrociénegas	235962.8+-29416.0895627 Ln X	12081.27267	1 de enero de 2010
4	Escobedo	278788.742824-36313.23829 Ln X	2414.031856	Sin fecha
5	Frontera	-7710733.4646+1023200.40533 Ln X	76694.19544	1 de enero de 2000
6	Lamadrid	343024.912818-44897.965835 Ln X	1313.10426	Sin fecha
7	Monclova	-22764449.1942+3020610.59493 Ln X	224973.3809	1 de enero de 2000
8	Múzquiz (Barroteran)	-115107.377275+15359.2097988 Ln X	1789.30748	Sin fecha
9	Nadadores	-648039.05401+86060.524838 Ln X	6954.931596	1 de enero de 2010
10	Progreso	657876.06633-85968.357899 Ln X	3583.549729	1 de enero de 2010
11	Sacramento	-22209.367286+3183.658325 Ln X	2020.98756	Sin fecha
12	San Buenaventura	277925.14033-33931.9112 Ln X	19674.35929	1 de enero de 2010

De la tabla anterior se puede observar que para el 2000 (Actualmente), los municipios de Frontera y Monclova ya deben contar con planta de tratamiento de aguas residuales (de hecho, los municipios de Monclova y Frontera ya cuentan con una planta de tratamiento común, que es la de AHMSA). Para el año 2005, se deberá construir la de Castaños (ya esta construida y próximamente se pondrá en operación). Finalmente, para el 2010, deben entrar en operación Cuatrociénegas (ya tiene planta, pero esta sin operar), Nadadores (ya tiene planta, pero esta sin operar), Progreso y San Buenaventura. Los demás municipios hasta que alcancen mayor población será obligatorio construir sus plantas de tratamiento.

6.7.2 Aprovechamiento de las aguas residuales tratadas

En México, el abastecimiento de agua para el consumo humano, la agricultura y las actividades industriales esenciales para el desarrollo del país, cada vez es más difícil y costoso de llevar a cabo, sobretudo en las regiones áridas, debido a la gran escasez del vital líquido. Por lo tanto, el uso de aguas residuales tratadas se debe contemplar como una alternativa para solucionar la gran demanda de agua, presentando mayores atractivos al considerar el agua residual como un recurso aprovechable.

Dada la tendencia de maximizar el aprovechamiento de los recursos, y las fuertes demandas que existen entre los diversos usos competitivos del agua, ya no es posible considerar que sólo la agricultura sea la que utilice las aguas residuales. Gran cantidad de industrias pueden utilizar agua de menor calidad que la potable en algunos de sus procesos y recircular al máximo dentro de la misma industria, y posteriormente sus efluentes (convenientemente tratados) pueden ser utilizados para alguna otra actividad.

Para definir un proyecto de reuso, es necesario establecer cuales son los grupos de usuarios interesados y cuál es el nivel de tratamiento requerido. Cabe mencionar que,

para propiciar el uso eficiente del agua, su precio para el usuario debe ser "justo"; es decir, que incluya, además de los cargos señalados en la Ley Federal de Derechos en Materia de Agua por aprovechamiento y descarga, los costos de disponibilidad, extracción, potabilización, transporte, distribución, alcantarillado, tratamiento y disposición final sin perjuicio actual o futuro para el medio ambiente. Con ello, la actitud del público pasaría de la indiferencia a la concientización de su responsabilidad en la preservación del recurso⁹.

La primera ventaja que obtendrían los municipios al efectuar el reuso es económica. En efecto, compartir los costos de tratamiento del agua con usuarios interesados en los efluentes, así como liberar a los organismos operadores del pago de derechos por descargas, puede lograr un alivio importante, en la economía de la población. Para tener una idea de la magnitud que ello implica, considérese lo que ocurre en uno de los estados de la República, donde se emplean 9 m³/s para abastecimiento municipal y se descargan 6 m³/s; por lo que los derechos correspondientes, solamente en 1994, fueron de \$ 165 millones, 13% por el aprovechamiento del agua y 87% por la descarga de agua residual contaminada. Lo que llama la atención es que el costo anual de operación por el tratamiento del agua residual con lodos activados equivaldría a 50 millones de pesos, es decir, un tercio del derecho por arrojar agua sin tratar a un cuerpo de agua nacional. Con el tratamiento para reuso, se aprovecharía la ventaja económica de eliminar el pago por los derechos de descarga y se prepararía agua para otro fin, además de tener los beneficios innegables de controlar la contaminación y preservar la calidad de las fuentes de abastecimiento.

6.7.3 Reusos del agua

La respuesta a la pregunta, ¿por qué reusar el agua?, es trivial, a simple vista se puede deducir que es necesario aprovechar las aguas residuales generadas por los diferentes usos de las actividades humanas, con el fin de liberar volúmenes de agua de primer uso y reservarlos para consumo humano. Lo que no es trivial, es saber que tipo de reuso se le puede dar al agua una vez tratada. Es posible pensar en infinidad de opciones para el manejo y aprovechamiento de las aguas residuales, y todas las alternativas que se seleccionen tendrán validez en función de los beneficios que se obtengan y los riesgos en que se incurra. A continuación, se analizarán posibles reusos del agua y las características de las mismas para cada fin.

Municipal

Un municipio, puede aprovechar sus propias aguas residuales tratadas en diferentes usos, los principales son el riego de áreas verdes y parques, limpieza de avenidas y calles, lavado de autos, usos recreativos, lagos artificiales, fuentes de ornato.

⁹ Jiménez B. y Ramos J. 1999. **Reuso Posible del Agua Residual en México**. Instituto de Ingeniería. UNAM. México, D.F.

Agricultura

Las aguas residuales tratadas se pueden utilizar para riego agrícola, esto va relacionado con la calidad del agua residual a usar, y desde el punto de vista de contaminación y protección a la salud, es importante considerar para este uso, el contacto directo que tienen con el hombre. Se consideran tres grupos para el agua destinada a riego:

1. Excelente a buena para todo cultivo (recomendable).
2. Buena a perjudicial o para ciertos cultivos y bajo condiciones especiales.
3. Perjudicial a insatisfactoria o nociva a la mayoría de los cultivos.

Los principales parámetros característicos de calidad del agua que determinan la conveniencia o limitación del agua con sus fines de utilización en riego agrícola, junto con su concentración limitante para su uso son: pH (Potencial Hidrógeno), salinidad, cloruros, sodio, boro, metales pesados, biológicos. Los límites máximos permisibles en suelos de algunos de los parámetros mencionados anteriormente, para poder ser usados en riego agrícola, son los mostrados en la tabla 6.7.5.

Tabla 6.7.5. Parámetros a cumplir para riego agrícola con aguas residuales.

PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	SUELO	
	Uso en riego agrícola (A)	
	P.M.	P.D.
Materia Flotante	ausente	ausente
Grasas y Aceites	15	25
Arsénico	0.2	0.4
Cadmio	0.5	0.1
Cianuro	2	3
Cobre	4	6
Cromo	0.5	1
Mercurio	0.005	0.01
Níquel	2	4
Plomo	5	10
Zinc	10	20

P.D. = Promedio diario, P.M. = Promedio mensual
Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996

Industrial

El reuso de las aguas tratadas en la industria puede tener varias aplicaciones dependiendo el tipo de industria y de proceso que requiera, los reusos industriales más comunes son para procesos de enfriamiento, calderas, procesos productivos, transporte de materiales, extracción de minerales, metalurgia, petroquímica, curtiduría, industria del papel, entre otros.

El reuso del agua residual para este giro, va a depender principalmente, del tipo de industrias instaladas en la región de estudio y la demanda de aguas según el proceso de las mismas. Será necesario hacer un estudio de las industrias instaladas en la región para definir el mejor aprovechamiento de las aguas.

Desarrollo y protección de fauna

Las aguas residuales se pueden reusar para la cría de animales, tiene el inconveniente de la calidad bacteriológica y de sustancias tóxicas que podrían matar a los animales. Esta limitado según la salinidad para efectos de bebida de acuerdo a la tolerancia de algunos animales.

Piscicultura

Las aguas residuales se pueden utilizar para la cría de peces. Interviene para este uso una gran cantidad de limitantes entre los cuales destacan las siguientes:

- a) Oxígeno disuelto no menor a 5 mg/L.
- b) pH de 6.7 a 8.6 con límites extremos de 6.3 a 9.0.
- c) Conductividad eléctrica a 25°C de 150 a 500 \square mhos por centímetro con un máximo de 1000 a 2000 en escurrimientos sobre áreas alcalinas.
- d) CO₂ libre 5.9 mg/L
- e) Amoniaco no más de 1.5 mg/L.
- f) Sólidos suspendidos tales que permitan la penetración de la luz a no menos de 5 m.
- g) Coliformes, NMP no mayor de 70/100 mL. No más del 10 % de las muestras pueden sobrepasar un NMP de 230/100 mL.

En áreas restringidas el NMP puede ser hasta 10 veces mayor, pero debe desecharse si lo provocan descargas industriales. Existen otros límites más amplios pero si se aceptan debe ser solamente bajo vigilancia tanto para el desarrollo por ingestión o por el manejo al hacer la limpieza antes de cocinarlo.

Agua para actividades de natación

Queda limitado por tres condiciones principales:

1. Agradable aspecto sin materia flotante ni color y olor ofensivos.
2. Sin sustancias tóxicas a la ingestión o a la irritación de la piel.
3. Libre razonablemente de organismos patógenos.

La más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 mL y se enferman de diarrea una de cada 50 personas bajo esa misma cantidad de colis.

Canotaje y disfrute estético

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden contener valores del NMP hasta de 5000/100 mL durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes; el contenido de ABS (detergentes) no debe exceder de 1.0 mg/L a fin de evitar la formación de espuma.

Energía y navegación

Para este uso el agua debe estar libre de sustancias tales como: ácidos, álcalis y salinidad excesiva que acelere la corrosión y deterioro de ductos y vehículos; de sólidos flotantes; sedimentos y sólidos suspendidos; materia orgánica putrescible que genere malos olores; algas.

7

CAPÍTULO SIETE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se discutirá el uso y la aplicación de la metodología que se desarrolló. También, se harán las recomendaciones necesarias con el fin de que el lector pueda aprovechar al máximo la utilización de este trabajo para hacer pronósticos de balances hidráulicos con énfasis en utilizar como fuente complementaria el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas.

7.1 CONCLUSIONES

Como se mencionó a lo largo de éste trabajo, es de gran importancia hacer conjeturas de la cantidad de agua existente en un determinado tiempo, pronosticar un balance hidráulico puede ser de gran utilidad, sobre todo en zonas donde escasea el agua, como lo son los estados del norte de México, se puede reducir la incertidumbre y conocer un valor específico del volumen de agua en la región para poder planear y diseñar sistemas de tratamiento y de aprovechamiento.

Una adecuada planeación de un sistema, o de un conjunto de sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales, depende de muchas variables, desde luego, una es la cantidad de agua que se va a tratar, si bien no es la única consideración a hacer, antes de pensar en la calidad del agua, primero hay que pensar en la cantidad de agua a tratar para conocer el volumen de agua que se puede reutilizar o que se puede dejar de extraer.

En segundo término, y no por eso menos importante, esta la calidad del agua, determinada por las normas vigentes para este rubro, es obligatorio cumplir con los límites máximos permisibles en las descargas que marcan estas normas. Como se mencionó al principio, este trabajo no abarca detalles sobre la calidad del agua, en el capítulo seis, se describieron de manera muy general, las condiciones necesarias para cumplir con descargas a bienes nacionales y los posibles reusos. En base a la carga de contaminantes se escogerá el mejor esquema de tratamiento para poder cumplir con las

normas de descarga y asegurar que se contará con el volumen pronosticado de aguas tratadas, que es el objetivo de esta investigación con fines de una mejor planeación y reuso.

Una de las principales aplicaciones de esta metodología, es la ventaja de poder realizar simulaciones de los volúmenes de agua y obtener pronósticos a partir de estos. Se pueden simular distintos escenarios a varios años, considerando en la variable fuentes el aumento del volumen de agua procedente de las plantas de tratamiento que se pondrán en operación en los siguientes años y en las diferentes comunidades. Con los gastos de operación de las plantas supuestos en la variable fuentes, se realiza la simulación del pronóstico del balance hidráulico para inferir la conveniencia de la instalación de las plantas de tratamiento en las diferentes ciudades y en que años deben ser construidas.

En los primeros cinco capítulos, se planteó la metodología a seguir para realizar el pronóstico del balance hidráulico en una región hidrológica, posteriormente, en el capítulo seis, se ilustró la metodología con un ejemplo de aplicación en el estado de Coahuila.

7.2 RECOMENDACIONES

Unos de los puntos más importantes para poder realizar un buen pronóstico, es contar con datos confiables, como se observó en este trabajo, el principal problema para realizar el pronóstico, no radica ni en la aplicación del modelo, ni en la aplicación de la metodología para generar las series de tiempo; sino en la obtención de los datos a utilizar, desafortunadamente en México, los registros tanto meteorológicos como hidrométricos no son muy confiables, debido a que tienen gran cantidad de datos faltantes, sin mencionar que no existen suficientes estaciones para monitorear corrientes de agua ni la meteorología.

Como se pudo observar, para la obtención de la serie de tiempo "entradas", el no contar con todos los datos de precipitación de una estación, repercute en tener que desarrollar más planos de polígonos de Thiessen, lo que se vuelve tedioso y muy complicado, si se contaran con datos suficientes, sólo sería necesario hacer un plano de polígonos de Thiessen. Se recomienda realizar el número de planos de polígonos que sean necesarios, no se recomienda completar datos faltantes de estaciones con el fin de no hacer muchos planos, a menos de que se haga con algún método matemático adecuado, y tomando las consideraciones necesarias, estas alternativas tendrán validez en función de los beneficios que se obtengan y los riesgos en que se incurra.

Para la serie de tiempo "salidas", es decir, para la evaporación, en el caso de datos faltantes, se recomienda tomar la media de todos los registros de las estaciones que estén sobre el cauce y completar con ese valor el año faltante para poder determinar el volumen de agua que se evaporó en la corriente en ese año.

Para la serie de tiempo “fuentes”, en el caso de aguas superficiales, es donde hay más registros en las estaciones hidrométricas, al igual que la evaporación, si existe algún dato faltante en alguna estación hidrométrica, se puede completar con el dato de ese año de alguna otra estación, aguas arriba o aguas abajo en la corriente.

Para la serie “sumideros”, el consumo de agua anual para uso doméstico, se puede estimar a través de la población, como se ilustró en el capítulo cinco. El volumen de agua anual para uso agrícola, no se puede estimar y no existen datos históricos muy antiguos que permitan completar toda la serie de tiempo, se puede tomar como constante para toda la serie, el valor del último año que se tenga registrado en los diferentes distritos de riego de la región hidrológica. Si en la cuenca estudiada, se tienen identificados los consumos de agua para uso industrial por año y se completa toda la serie, se deben agregar éstos volúmenes para integrar la serie.

Quizás una de las principales recomendaciones de este trabajo, es hacer conciencia de la importancia de tener registros meteorológicos e hidrométricos confiables, debido a la gran escasez de datos es difícil poder hacer una adecuada planeación y mucho más un pronóstico, desafortunadamente, éstas limitaciones existen todavía en México para la investigación y aplicación de nuevas metodologías. Para poder realizar estudios e investigaciones con metodologías de vanguardia, será necesario contar con datos para poder alimentar los modelos y obtener resultados satisfactorios.

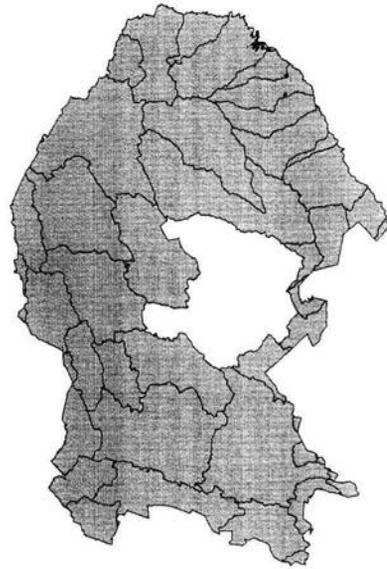


APÉNDICE UNO

PLANOS

- Plano 1: Región Hidrológica RH24DG
- Plano 2: Municipios de la RH24DG
- Plano 3: Estaciones Meteorológicas de la RH24DG
- Plano 4: Polígonos de Thiessen años 43 – 51
- Plano 5: Polígonos de Thiessen años 52 – 55
- Plano 6: Polígonos de Thiessen años 56 – 80
- Plano 7: Polígonos de Thiessen años 81 – 82, 85
- Plano 8: Polígonos de Thiessen año 83
- Plano 9: Polígonos de Thiessen año 84
- Plano 10: Polígonos de Thiessen año 86
- Plano 11: Polígonos de Thiessen años 87 – 88
- Plano 12: Polígonos de Thiessen años 89 – 90
- Plano 13: Polígonos de Thiessen años 91 – 92
- Plano 14: Polígonos de Thiessen años 93 – 94
- Plano 15: Polígonos de Thiessen año 95
- Plano 16: Ríos de la RH24DG

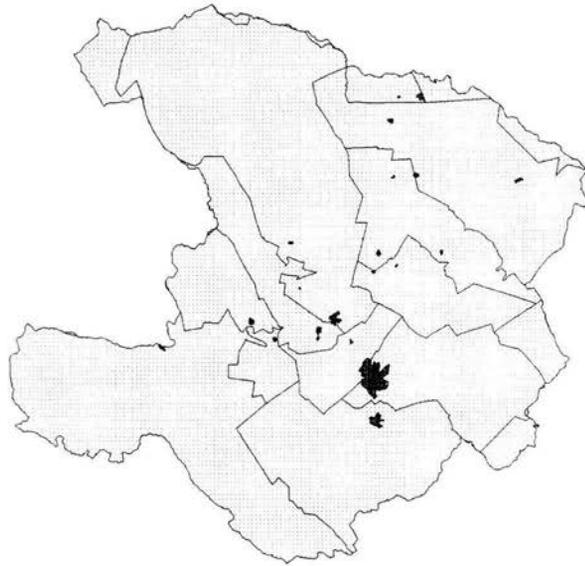
Región Hidrológica RH24DG



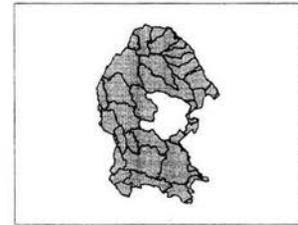
 Coahuila



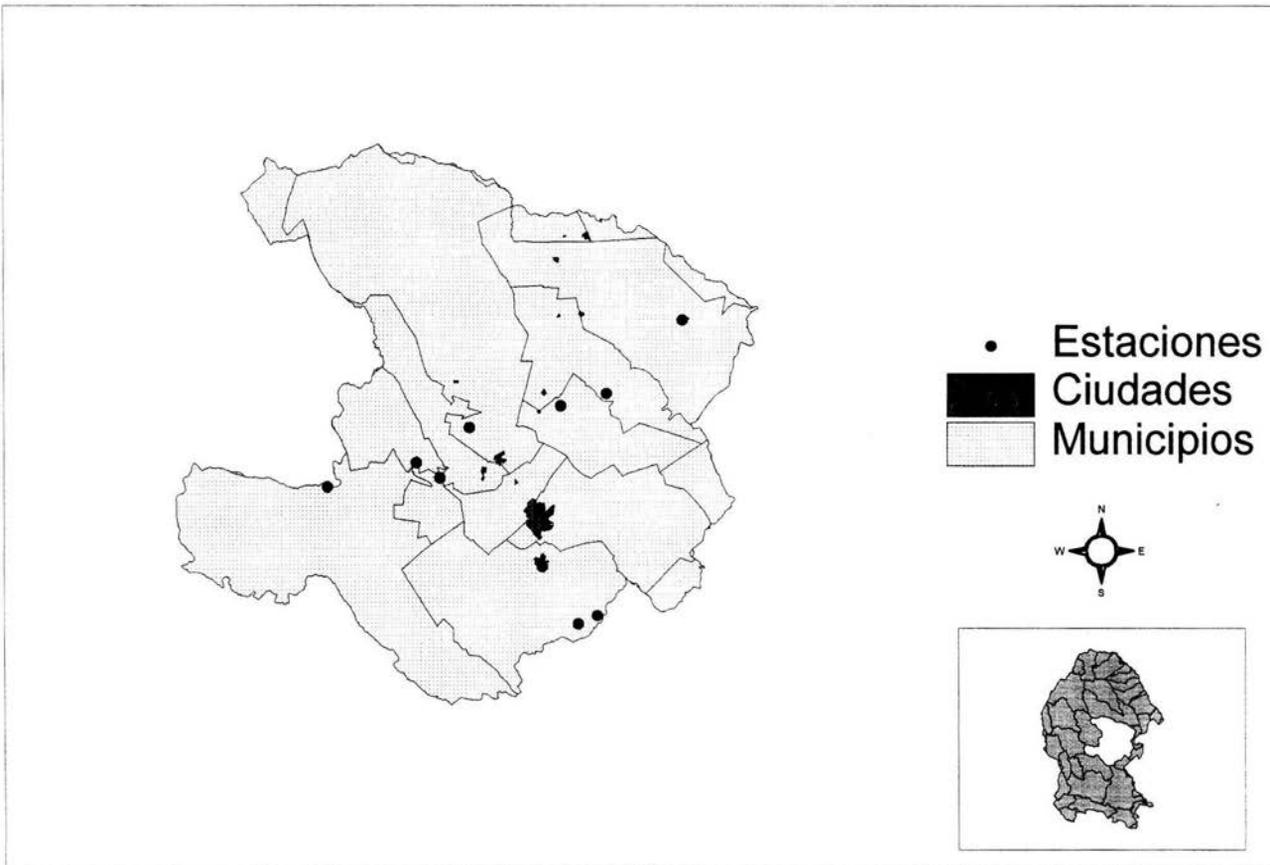
Municipios de la RH24DG



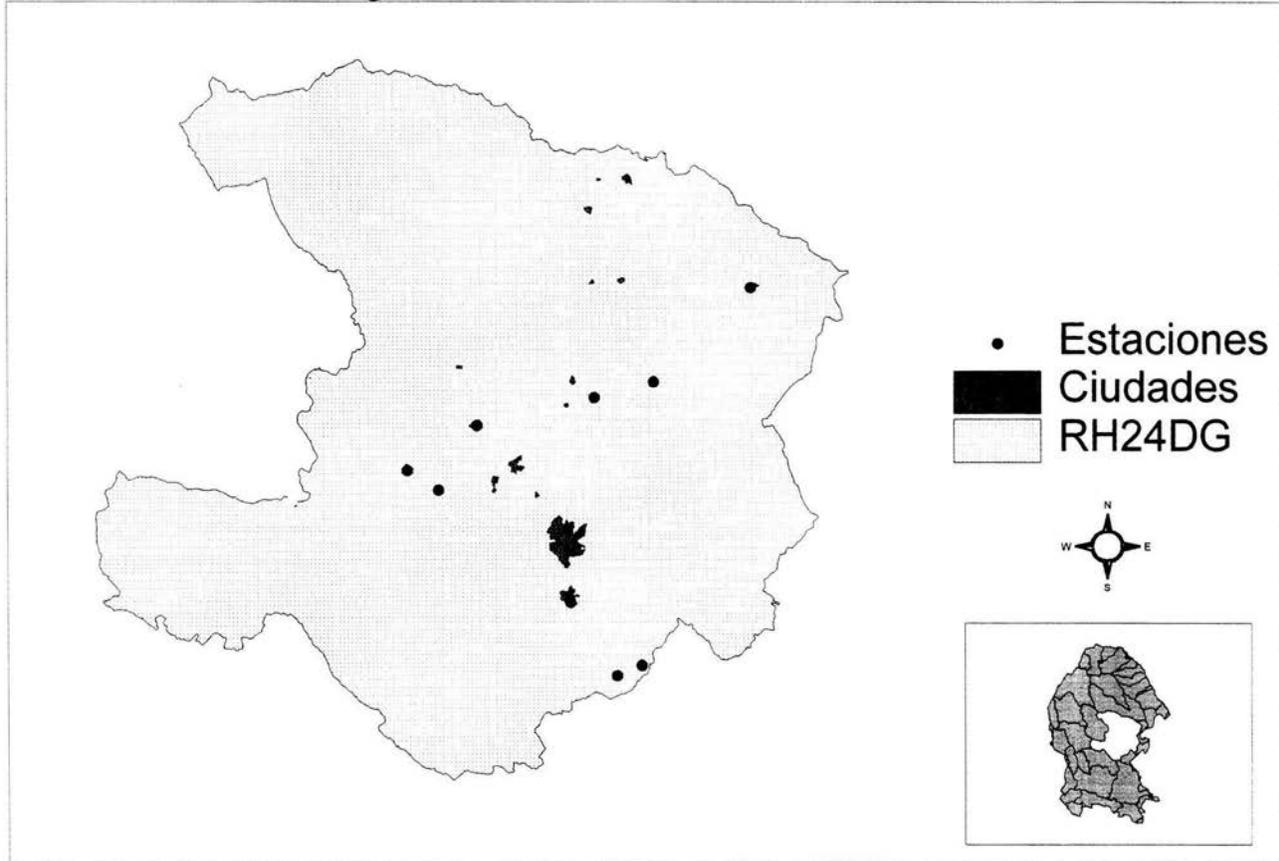
 Ciudades
 Municipios



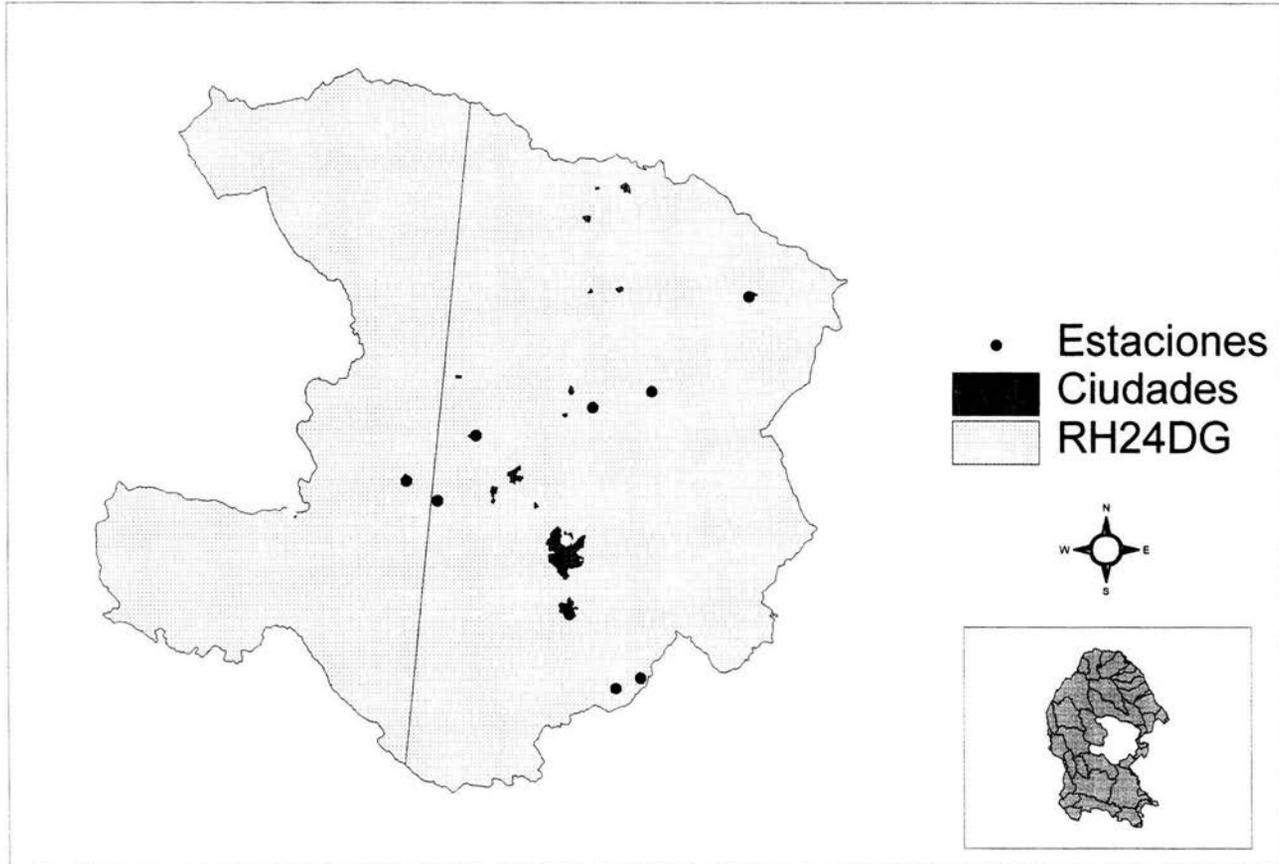
Estaciones Meteorológicas



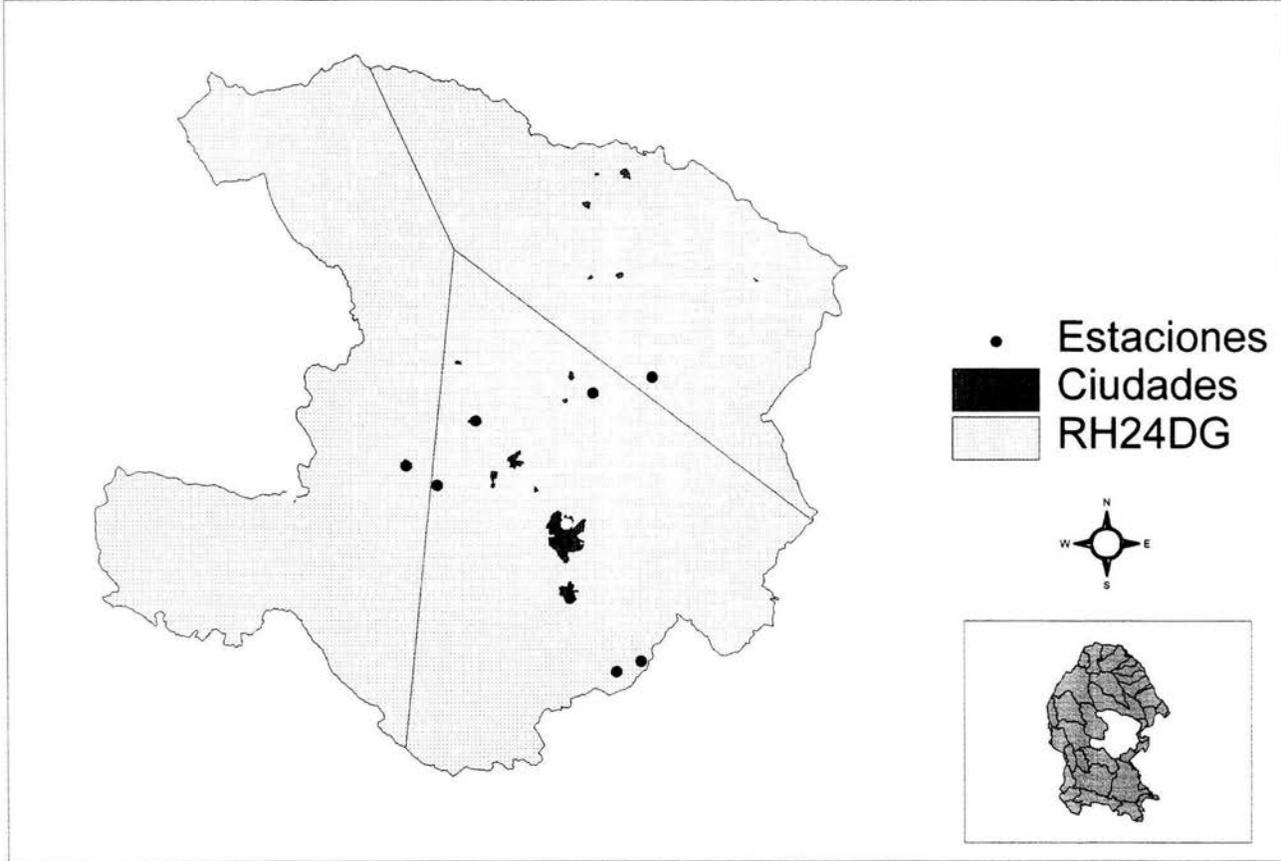
Polígonos de Thiessen 43-51



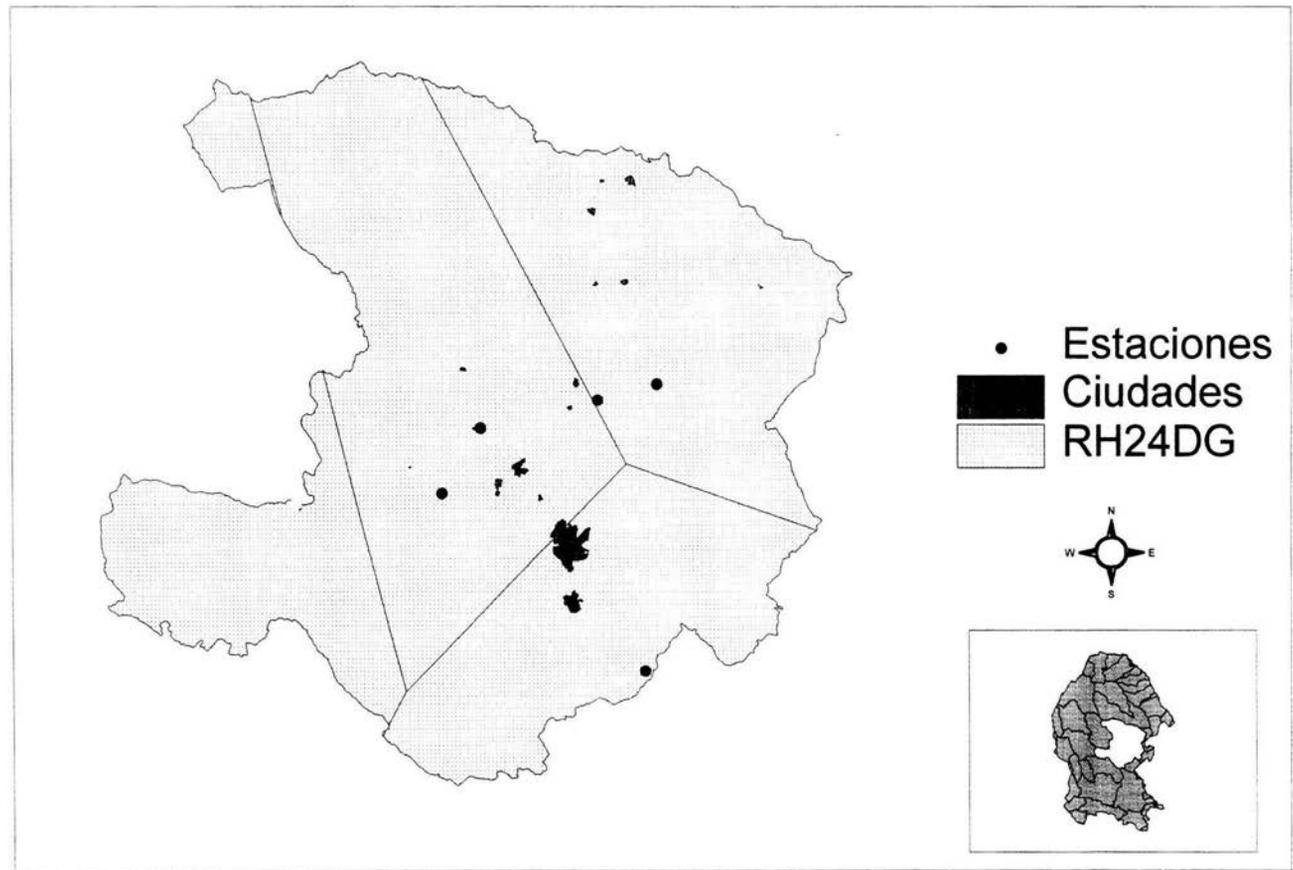
Polígonos de Thiessen 52-55



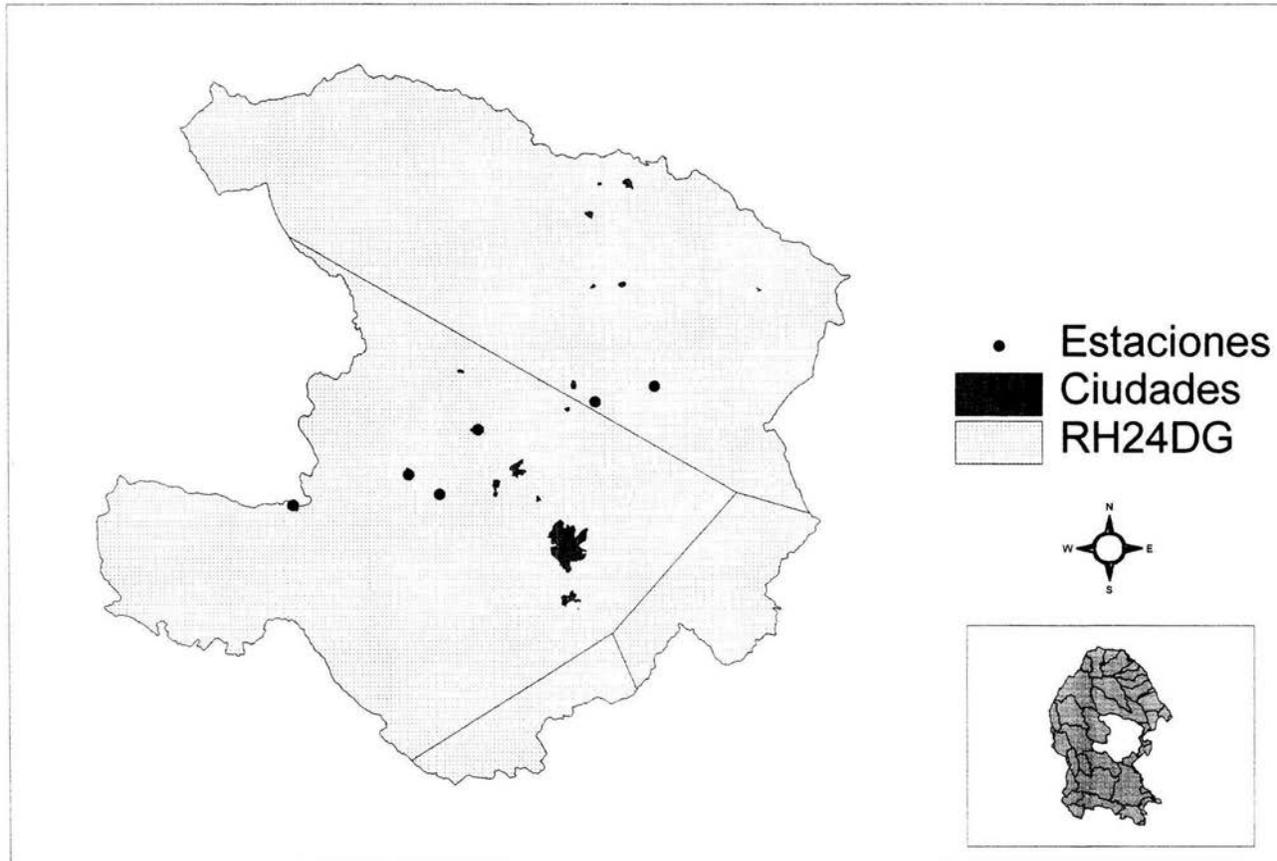
Polígonos de Thiessen 56-80



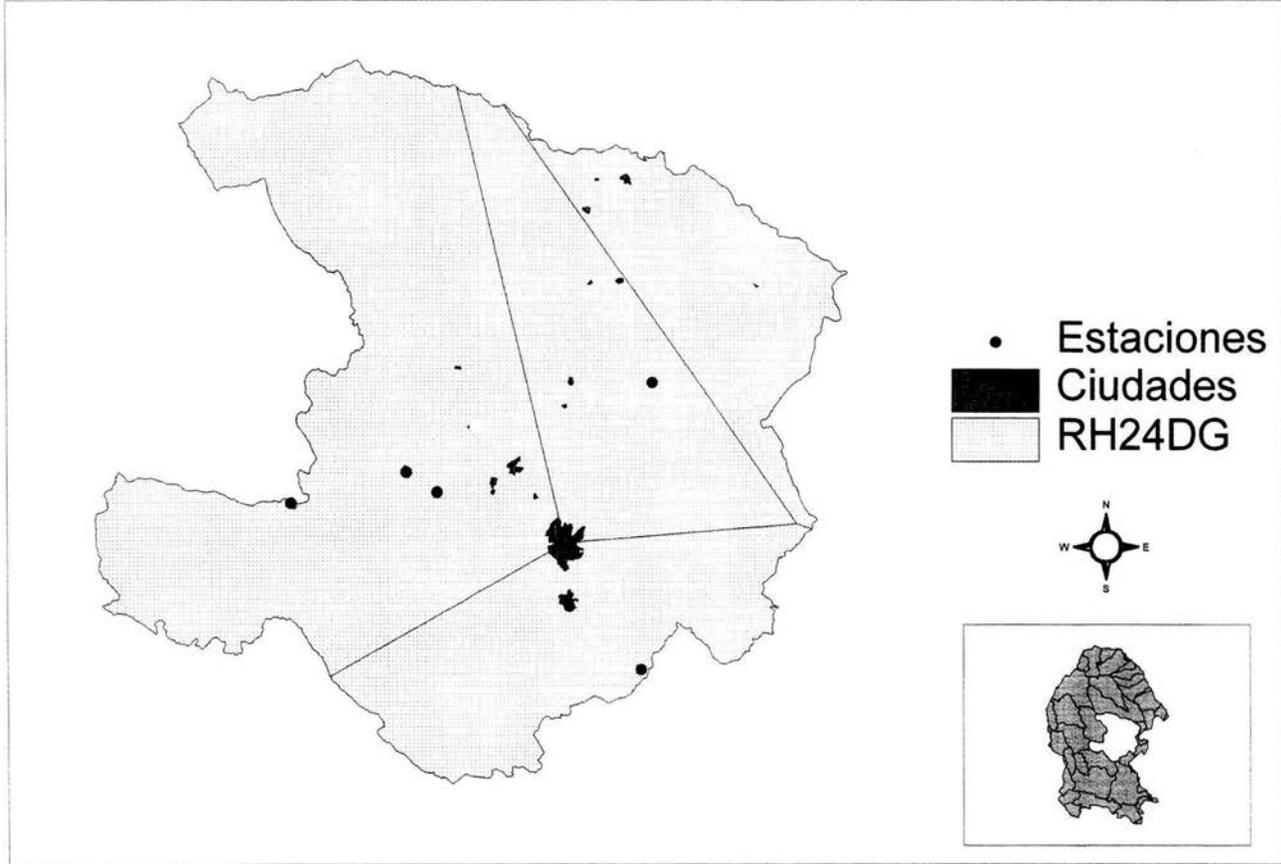
Polígonos de Thiessen 81-82,85



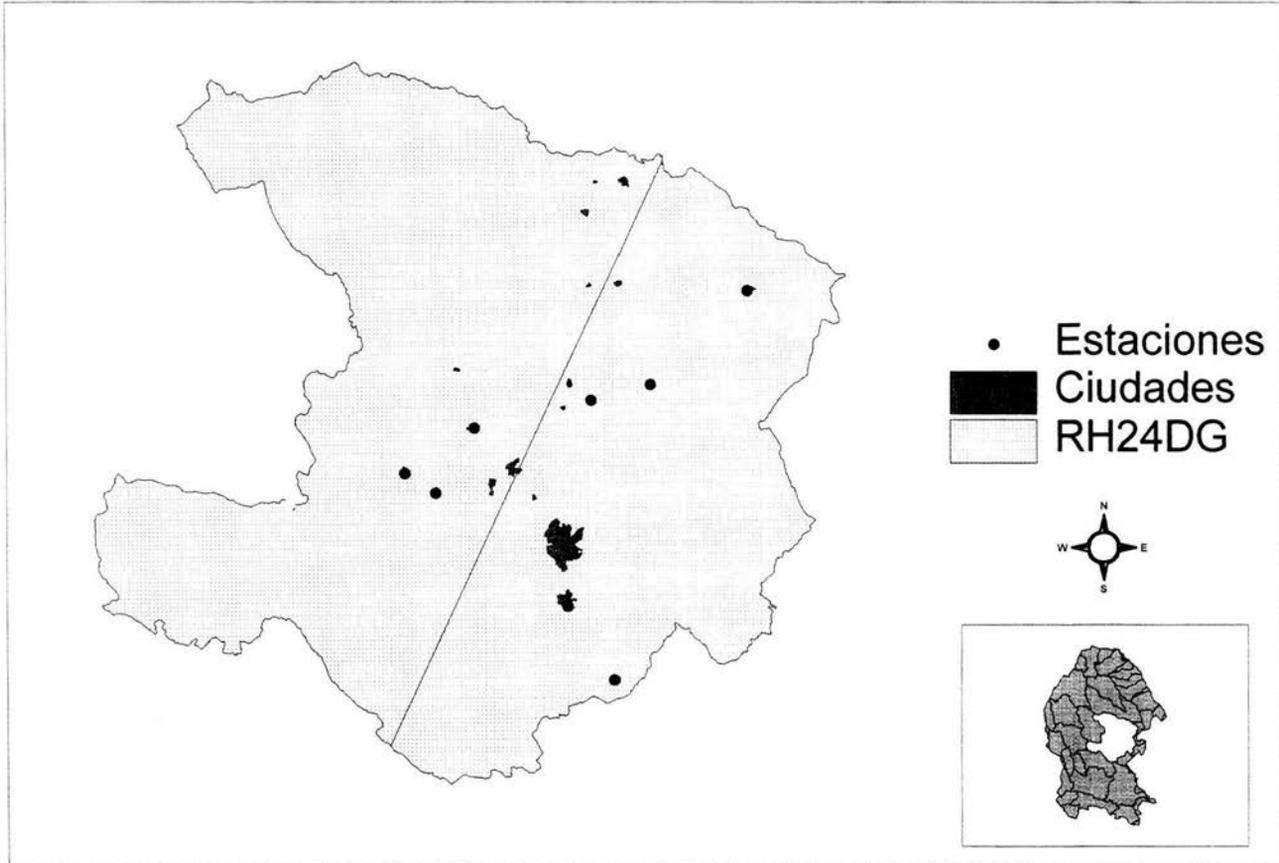
Polígonos de Thiessen 83



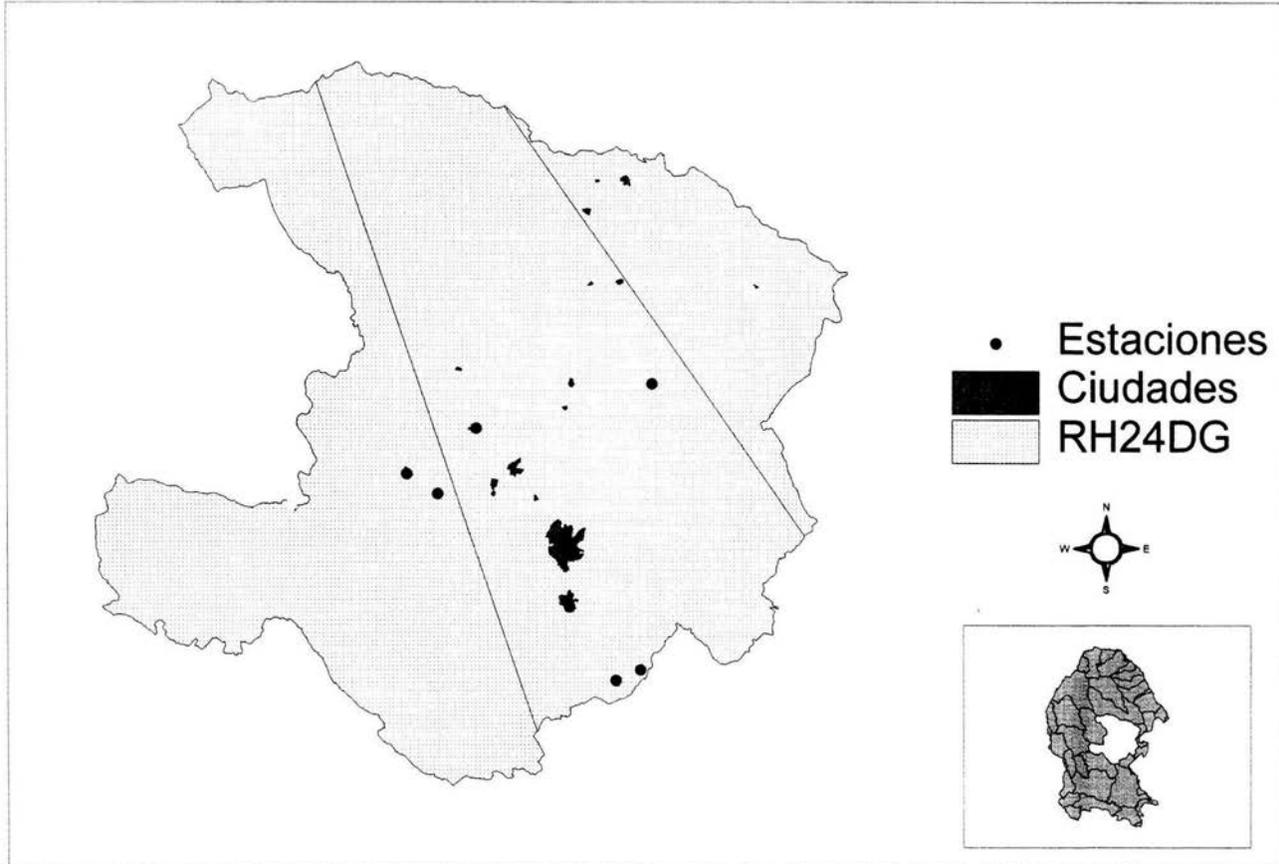
Polígonos de Thiessen 84



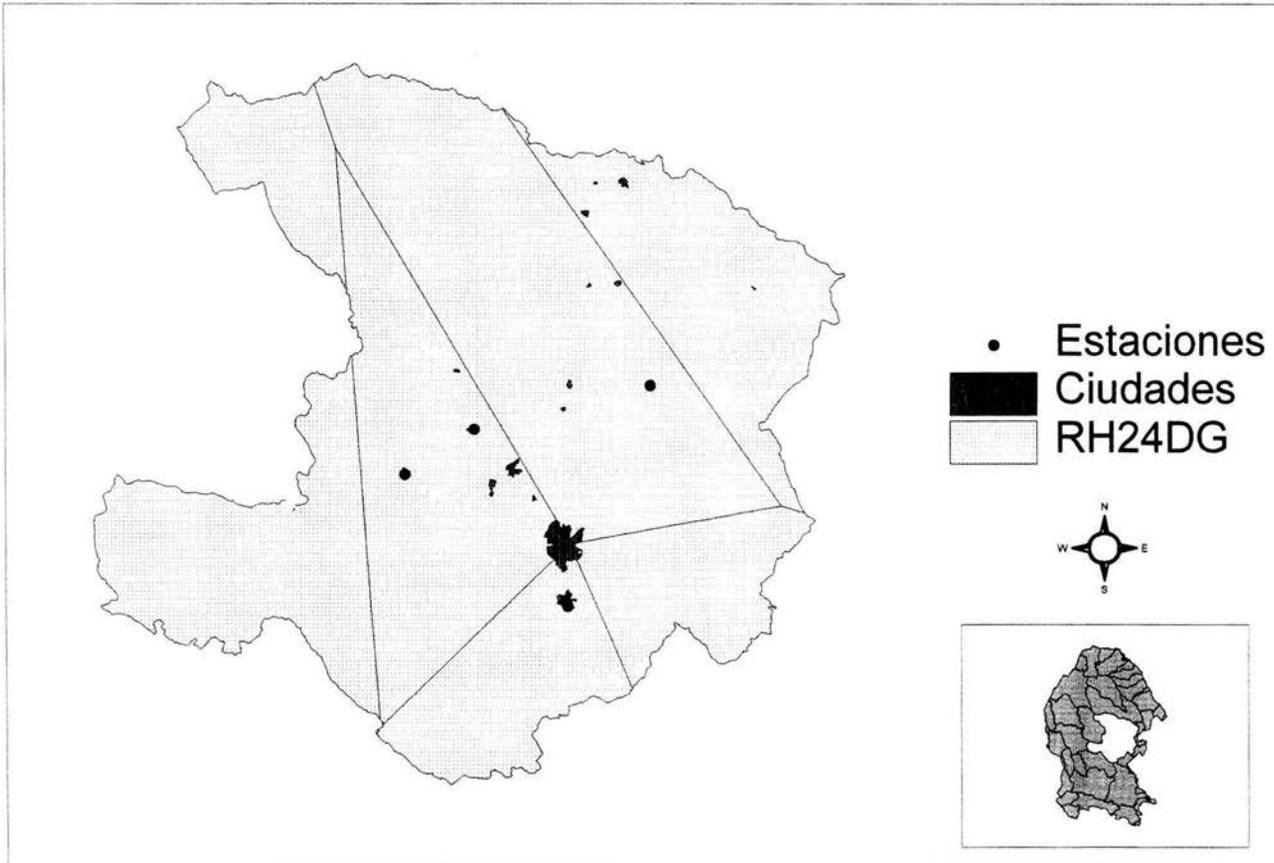
Polígonos de Thiessen 86



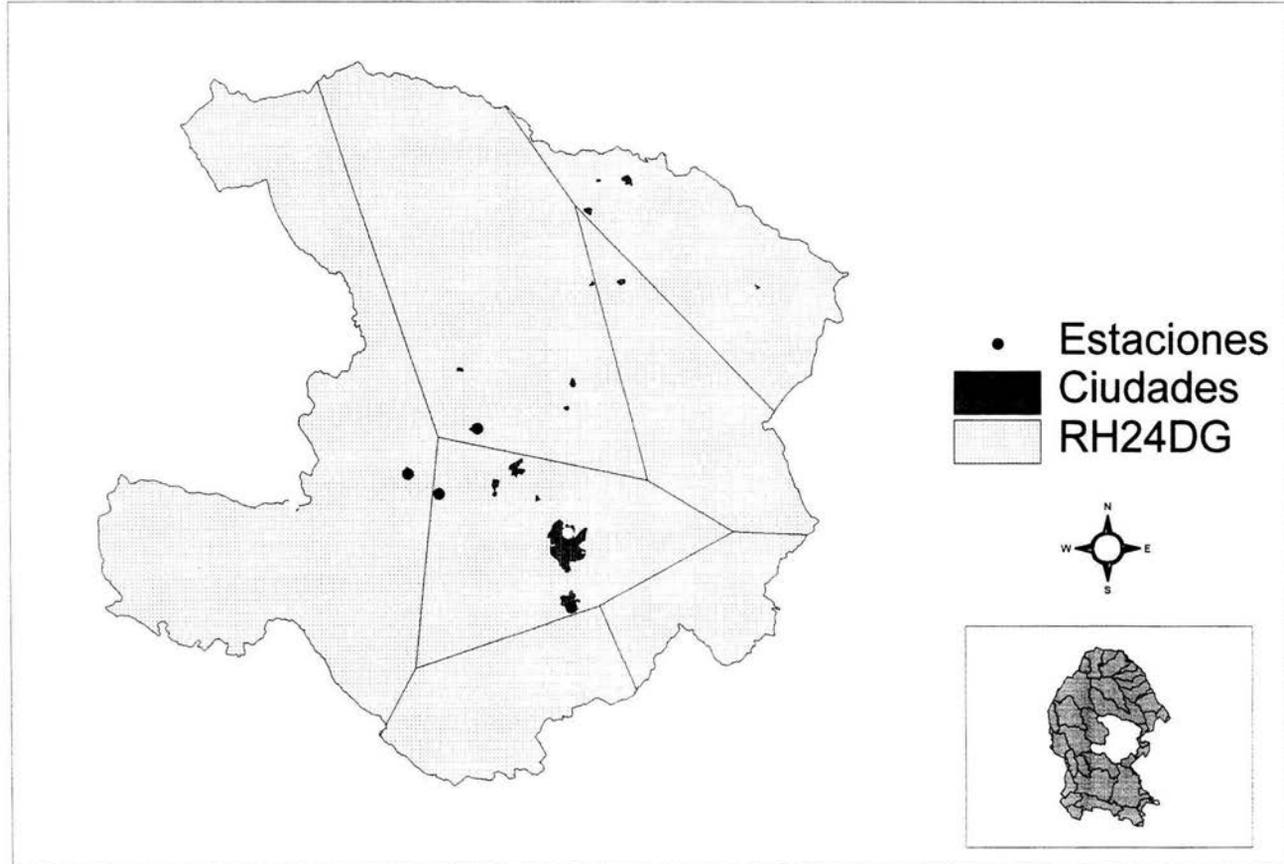
Polígonos de Thiessen 87-88



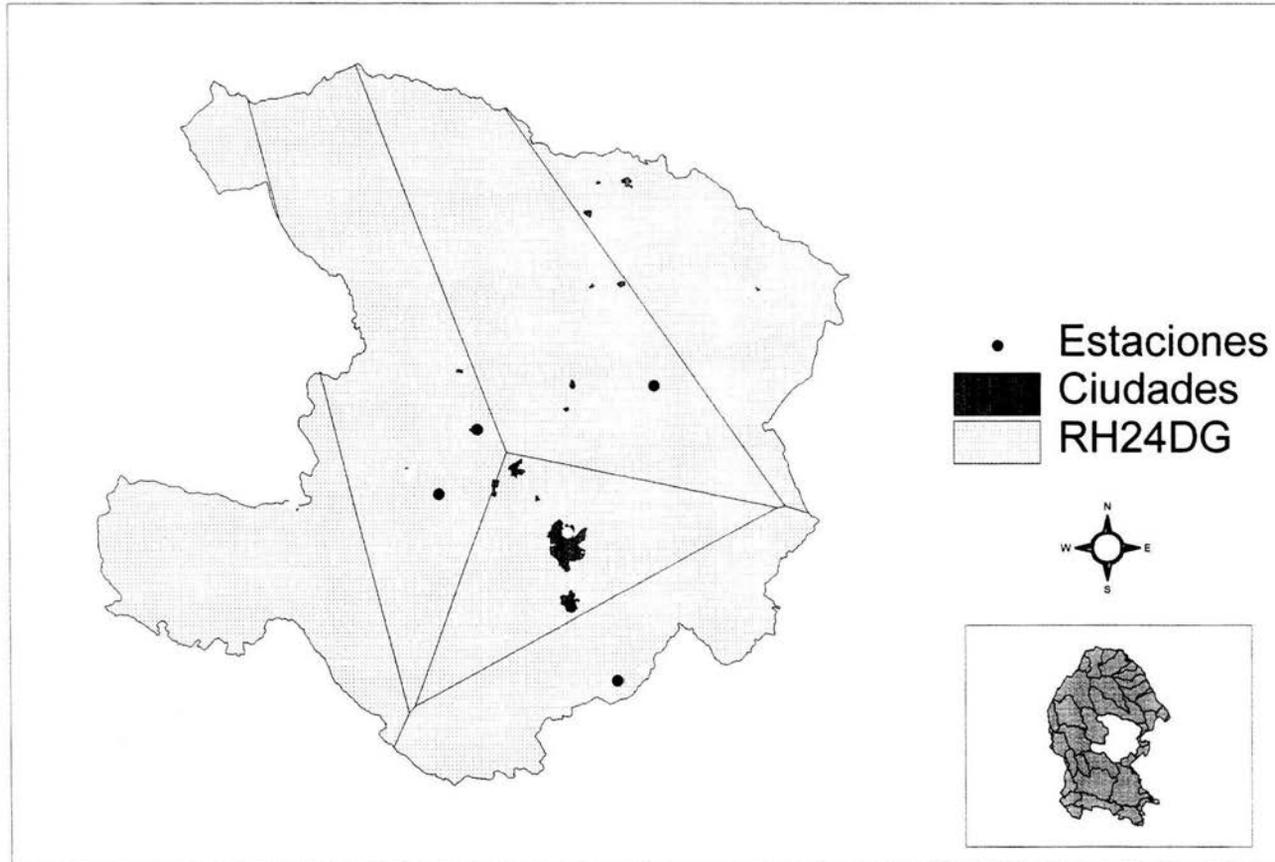
Polígonos de Thiessen 89-90



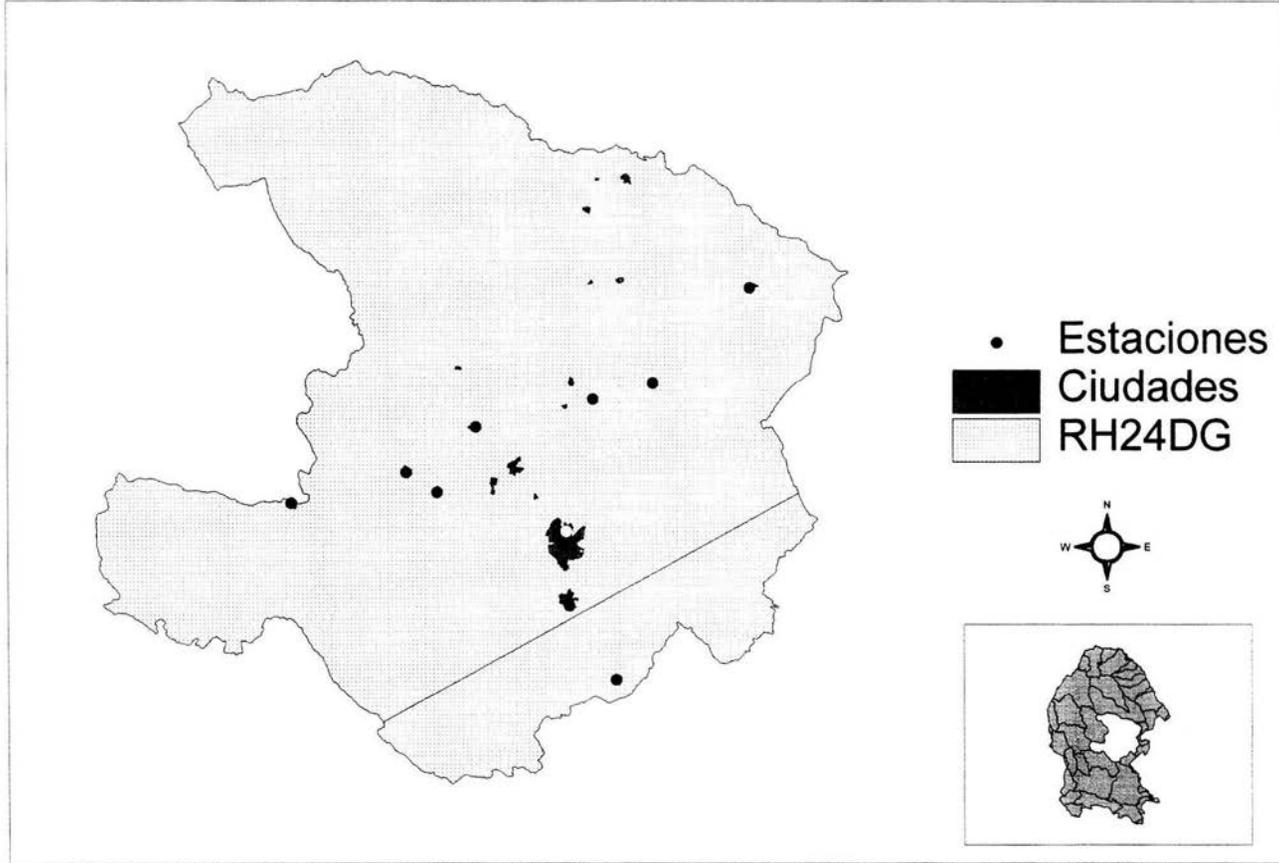
Polígonos de Thiessen 91-92



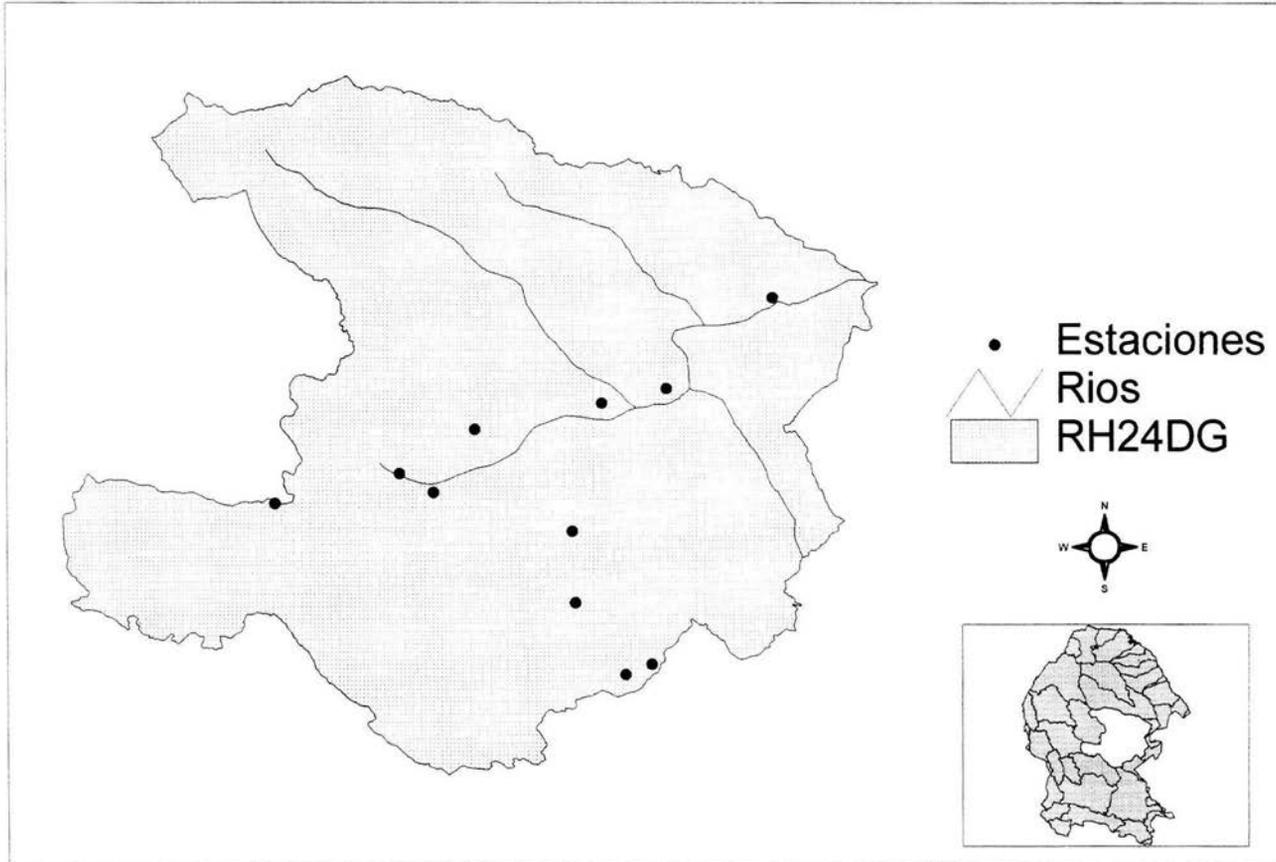
Polígonos de Thiessen 93-94



Polígonos de Thiessen 95



Ríos de la RH24DG





APÉNDICE DOS

CORRIDA DEL PRONÓSTICO

CORRIDA DEL PRONÓSTICO

VAR/System - Estimation by Least Squares

Dependent Variable ENTRADAS

Annual Data From 1944:01 To 1995:01
 Usable Observations 52 Degrees of Freedom 49
 Centered R**2 0.036168 R Bar **2 -0.003172
 Uncentered R**2 0.942614 T x R**2 49.016
 Mean of Dependent Variable 4.6157225038
 Std Error of Dependent Variable 1.1727026437
 Standard Error of Estimate 1.1745609445
 Sum of Squared Residuals 67.600077210
 Durbin-Watson Statistic 1.973539

Variable	Coeff	Std Error	T-Stat	Signif
1. ENTRADAS{1}	0.1825059411	0.1467994239	1.24323	0.21969768
2. SALIDAS{1}	0.4117601720	0.4827431847	0.85296	0.39783228
3. Constant	2.4393987717	1.8681465333	1.30579	0.19772292

F-Tests, Dependent Variable ENTRADAS

Variable	F-Statistic	Signif
ENTRADAS	1.5456	0.2196977
SALIDAS	0.7275	0.3978323

Dependent Variable SALIDAS

Annual Data From 1944:01 To 1995:01
 Usable Observations 52 Degrees of Freedom 49
 Centered R**2 0.084637 R Bar **2 0.047275
 Uncentered R**2 0.989531 T x R**2 51.456
 Mean of Dependent Variable 3.2443870692
 Std Error of Dependent Variable 0.3523670918
 Standard Error of Estimate 0.3439371988
 Sum of Squared Residuals 5.7963470390
 Durbin-Watson Statistic 2.051578

Variable	Coeff	Std Error	T-Stat	Signif
1. ENTRADAS{1}	0.0212153777	0.0429860901	0.49354	0.62383567
2. SALIDAS{1}	0.3006943629	0.1413577894	2.12719	0.03846330
3. Constant	2.1738828977	0.5470342672	3.97394	0.00023190

F-Tests, Dependent Variable SALIDAS

Variable	F-Statistic	Signif
ENTRADAS	0.2436	0.6238357
SALIDAS	4.5249	0.0384633

VARIABLE: ENTRADAS

ENTRY	IRRESTRICTO	DESV. ESTANDAR	RESTRINGIDO	DESV. ESTANDAR
1996:01	4.49677685448	1.140176076232	4.50000000000	0.000000014901
1997:01	4.61676829780	1.158752414116	4.61722412575	1.147478280718
1998:01	4.62433340755	1.160710019376	4.62440493860	1.160434170578
1999:01	4.62245212250	1.160972410185	4.62246565312	1.160962543544
2000:01	4.62119400919	1.161006463085	4.62119724655	1.161005898279
2001:01	4.62067289633	1.161010766673	4.62067383628	1.161010719060
2002:01	4.62047914739	1.161011304318	4.62047945219	1.161011299311
2003:01	4.62040957347	1.161011371184	4.62040967738	1.161011370602
2004:01	4.62038489547	1.161011379485	4.62038493161	1.161011379415
2005:01	4.62037618139	1.161011380516	4.62037619406	1.161011380507

VARIABLE: SALIDAS

ENTRY	IRRESTRICTO	DESV. ESTANDAR	RESTRINGIDO	DESV. ESTANDAR
1996:01	3.294833077235	0.333868555406	3.294511493778	0.313890276234
1997:01	3.260021450210	0.347098107348	3.259993132127	0.346953523444
1998:01	3.252099453992	0.348490903053	3.252100609466	0.348490663344
1999:01	3.249877851047	0.348655247595	3.249879716050	0.348654623404
2000:01	3.249169915392	0.348675287155	3.249170763245	0.348675158159
2001:01	3.248930351782	0.348677757492	3.248930675408	0.348677738698
2002:01	3.248847260749	0.348678063200	3.248847378003	0.348678060733
2003:01	3.248818165286	0.348678101085	3.248818207010	0.348678100773
2004:01	3.248807940408	0.348678105783	3.248807955159	0.348678105744
2005:01	3.248804342292	0.348678106365	3.248804347494	0.348678106360

SERIE TRANSFORMADA

Media residual -4.95330e-14

Desviacion estandar residual 1.14018

Cociente -3.13274e-13

ENTRY	ENTRADAS	EST-ENTR	RENTRADAS	Resids estandar
1944:01	4.94758759000	4.393690769264	0.553896820736	0.485799371064
1945:01	3.26319715000	4.496880535081	-1.233683385081	-1.082011288255
1946:01	3.39847631000	4.295450999469	-0.896974689469	-0.786698395245
1947:01	3.69213105000	4.289999664994	-0.597868614994	-0.524365163817
1948:01	4.51040496000	4.379205263809	0.131199696191	0.115069679960
1949:01	4.38007504000	4.760211722093	-0.380136682093	-0.333401735063
1950:01	3.91979597000	4.628176652966	-0.708380682966	-0.621290603910
1951:01	2.74682672000	4.551649449368	-1.804822729368	-1.582933344236
1952:01	3.19189362000	4.264891230853	-1.072997610853	-0.941080621862
1953:01	3.00266508000	4.550346196617	-1.547681116617	-1.357405359470
1954:01	2.96032575000	4.245194673476	-1.284868923476	-1.126903949539
1955:01	5.32395592000	4.371636306799	0.952319613201	0.835239076711
1956:01	1.94272567000	4.720653841865	-2.777928171865	-2.436402788808
1957:01	4.85120061000	4.356097120285	0.495103489715	0.434234238058
1958:01	6.13009200000	4.606554447582	1.523537552418	1.336230064967
1959:01	3.71652470000	4.566931559871	-0.850406859871	-0.745855730179
1960:01	5.73776099000	4.191497230517	1.546263759483	1.356162255739
1961:01	4.92200721000	4.555277869706	0.366729340294	0.321642725136
1962:01	2.95385809000	4.444422569897	-1.490564479897	-1.307310783807
1963:01	5.46854948000	4.280590016996	1.187959463004	1.041908778625
1964:01	4.16757577000	5.086880182748	-0.919304412748	-0.806282846932
1965:01	4.99884169000	4.727324502699	0.271517187301	0.238136190507
1966:01	5.49318918000	4.745243505063	0.747945674937	0.655991377585
1967:01	6.27802474000	4.775029801350	1.502994938650	1.318213011114

1968:01	6.01991180000	5.175617678290	0.844294121710	0.740494507217
1969:01	3.62324056000	4.809347198344	-1.186106638344	-1.040283744826
1970:01	5.23851635000	4.530711436953	0.707804913047	0.620785620573
1971:01	6.07139000000	4.655273671827	1.416116328173	1.242015472604
1972:01	5.95416075000	4.823321238043	1.130839511957	0.991811296106
1973:01	5.97008907000	4.824528502432	1.145560567568	1.004722508609
1974:01	3.77528354000	4.820214569160	-1.044931029160	-0.916464615371
1975:01	4.60659703000	4.579092949598	0.027504080402	0.024122660504
1976:01	5.47111953000	4.583822016735	0.887297513265	0.778210955099
1977:01	3.39857054000	4.637908043036	-1.239337503036	-1.086970274917
1978:01	6.47355875000	4.430287962323	2.043270787677	1.792066006532
1979:01	5.52508638000	4.911466774184	0.613619605816	0.538179688741
1980:01	3.54604799000	4.761475746711	-1.215427756711	-1.066000052139
1981:01	6.22159776891	4.471631165168	1.749966603743	1.534821366824
1982:01	5.74517267800	4.747624834452	0.997547843548	0.874906836183
1983:01	6.23992749000	4.793218962016	1.446708527984	1.268846591453
1984:01	3.64814990600	4.956729364261	-1.308579458261	-1.147699452338
1985:01	5.34523917600	4.624058400341	0.721180775659	0.632517021443
1986:01	5.79604549000	4.682275210069	1.113770279931	0.976840597824
1987:01	4.53584735800	4.782732675078	-0.246885317078	-0.216532623535
1988:01	3.09160177000	4.376708357151	-1.285106587151	-1.127112394252
1989:01	3.37688800000	4.349821566692	-0.972933566692	-0.853318699605
1990:01	5.54417901000	4.547816147547	0.996362862453	0.873867539604
1991:01	5.59133410300	4.703353225415	0.887980877585	0.778810304913
1992:01	5.21386533900	4.933734394940	0.280130944060	0.245690950634
1993:01	4.75948297000	4.610643878406	0.148839091594	0.130540444319
1994:01	3.83278527000	4.879181026253	-1.046395756253	-0.917749265281
1995:01	3.40419629000	4.731137090122	-1.326940800122	-1.163803405266

SERIE TRANSFORMADA

Media residual -4.32987e-14

Desviacion estandar residual 0.33387

Cociente -9.35192e-13

ENTRY	SALIDAS	EST-SAL	RSALIDAS	Resids estandar
1944:01	2.803859413439	3.139403641266	-0.335544227827	-1.005018958490
1945:01	3.061246441046	3.121952557196	-0.060706116149	-0.181826395947
1946:01	2.988047071784	3.163612406088	-0.175565334305	-0.525851660666
1947:01	3.074533979861	3.144471766858	-0.069937786997	-0.209477010831
1948:01	3.637159080714	3.176707888809	0.460451191905	1.379139138589
1949:01	3.374265552410	3.363246075142	0.011019477267	0.033005436089
1950:01	3.392422872452	3.281430474654	0.110992397798	0.332443400256
1951:01	3.215901764654	3.277125284114	-0.061223519460	-0.183376117544
1952:01	3.711888570170	3.199161396381	0.512727173789	1.535715674588
1953:01	3.054670585573	3.357744095272	-0.303073509699	-0.907762964770
1954:01	3.380512718241	3.156107797145	0.224404921096	0.672135537959
1955:01	3.180495768969	3.253188444762	-0.072692675793	-0.217728428196
1956:01	3.793808819436	3.243189782453	0.550619036983	1.649209031720
1957:01	3.112935224188	3.355875482551	-0.242940258363	-0.727652408200
1958:01	2.449859523981	3.212845025015	-0.762985501034	-2.285287094816
1959:01	2.607854508621	3.040594063665	-0.432739555044	-1.296137500932
1960:01	2.595451677134	3.036897523016	-0.441445845882	-1.322214502487
1961:01	2.687798178985	3.076049352838	-0.388251173853	-1.162886314289
1962:01	3.162264549666	3.086510900819	0.075753648847	0.226896626293
1963:01	4.005823666763	3.187425236904	0.818398429859	2.451259385190
1964:01	3.709242654040	3.494428835868	0.214813818171	0.643408355452
1965:01	3.384315728757	3.377647948544	0.006667780212	0.019971273437
1966:01	3.237543258521	3.297579874223	-0.060036615701	-0.179821114415
1967:01	3.862544756942	3.263933988512	0.598610768430	1.792953420552
1968:01	3.087425265931	3.468518998749	-0.381093732817	-1.141448413295

1969:01	3.473016174140	3.229968973700	0.243047200441	0.727972720117
1970:01	3.059583295403	3.295067700585	-0.235484405183	-0.705320705918
1971:01	3.098545725546	3.205019450496	-0.106473724950	-0.318909113261
1972:01	3.153437627478	3.234404962676	-0.080967335198	-0.242512611286
1973:01	3.135900850504	3.248423585339	-0.112522734836	-0.337027051555
1974:01	3.523124870662	3.243488300684	0.279636569978	0.837564860331
1975:01	3.166143808208	3.313360752412	-0.147216944203	-0.440942825611
1976:01	2.914311617568	3.223655188950	-0.309343571382	-0.926542995358
1977:01	3.328709207990	3.166271840200	0.162437367790	0.486530897144
1978:01	3.134361112657	3.246908950000	-0.112547837343	-0.337102238351
1979:01	3.190487995629	3.253706609621	-0.063218613992	-0.189351806177
1980:01	3.363748274487	3.250461447361	0.113286827127	0.339315653697
1981:01	2.848132449021	3.260573789583	-0.412441340562	-1.235340477213
1982:01	3.170029869274	3.162293816578	0.007736052696	0.023170953271
1983:01	3.347838979203	3.248979018031	0.098859961173	0.296104438624
1984:01	3.688677779599	3.312941625273	0.375736154326	1.125401443898
1985:01	3.077856039981	3.360444390829	-0.282588350848	-0.846406007011
1986:01	3.122014352691	3.212778126850	-0.090763774159	-0.271854814384
1987:01	2.694506585071	3.235620308784	-0.541113723713	-1.620738805590
1988:01	3.269347538142	3.080335553596	0.189011984546	0.566126942732
1989:01	3.623748373639	3.222546772102	0.401201601537	1.201675315151
1990:01	3.040869251775	3.335165560674	-0.294296308899	-0.881473574357
1991:01	3.579471817026	3.205876991854	0.373594825172	1.118987754681
1992:01	2.962121617005	3.368832160187	-0.406710543182	-1.218175646064
1993:01	3.815687973373	3.175190292692	0.640497680681	1.918412711558
1994:01	3.866892293562	3.422212990845	0.444679302718	1.331899322404
1995:01	3.487690488385	3.417949599553	0.069740888831	0.208887263271

Variable: ENTRADAS

ENTRY	ENTRADAS	PROI-ENTR	LimINF 50%	PROR-ENTR	LimSUP 50%
1966:01	5.493189	NA	NA	NA	NA
1967:01	6.278025	NA	NA	NA	NA
1968:01	6.019912	NA	NA	NA	NA
1969:01	3.623241	NA	NA	NA	NA
1970:01	5.238516	NA	NA	NA	NA
1971:01	6.071390	NA	NA	NA	NA
1972:01	5.954161	NA	NA	NA	NA
1973:01	5.970089	NA	NA	NA	NA
1974:01	3.775284	NA	NA	NA	NA
1975:01	4.606597	NA	NA	NA	NA
1976:01	5.471120	NA	NA	NA	NA
1977:01	3.398571	NA	NA	NA	NA
1978:01	6.473559	NA	NA	NA	NA
1979:01	5.525086	NA	NA	NA	NA
1980:01	3.546048	NA	NA	NA	NA
1981:01	6.221598	NA	NA	NA	NA
1982:01	5.745173	NA	NA	NA	NA
1983:01	6.239927	NA	NA	NA	NA
1984:01	3.648150	NA	NA	NA	NA
1985:01	5.345239	NA	NA	NA	NA
1986:01	5.796045	NA	NA	NA	NA
1987:01	4.535847	NA	NA	NA	NA
1988:01	3.091602	NA	NA	NA	NA
1989:01	3.376888	NA	NA	NA	NA
1990:01	5.544179	NA	NA	NA	NA
1991:01	5.591334	NA	NA	NA	NA
1992:01	5.213865	NA	NA	NA	NA
1993:01	4.759483	NA	NA	NA	NA

1994:01	3.832785	NA	NA	NA	NA
1995:01	3.404196	3.404196	3.404196	3.404196	3.404196
1996:01	NA	4.496777	4.500000	4.500000	4.500000
1997:01	NA	4.616768	3.842676	4.617224	5.391772
1998:01	NA	4.624333	3.841112	4.624405	5.407698
1999:01	NA	4.622452	3.838816	4.622466	5.406115
2000:01	NA	4.621194	3.837518	4.621197	5.404876
2001:01	NA	4.620673	3.836992	4.620674	5.404356
2002:01	NA	4.620479	3.836797	4.620479	5.404162
2003:01	NA	4.620410	3.836727	4.620410	5.404092
2004:01	NA	4.620385	3.836702	4.620385	5.404068
2005:01	NA	4.620376	3.836694	4.620376	5.404059

Variable: SALIDAS

ENTRY	SALIDAS	PROI-SAL	LimINF 50%	PROR-SAL	LimSUP 50%
1966:01	3.237543	NA	NA	NA	NA
1967:01	3.862545	NA	NA	NA	NA
1968:01	3.087425	NA	NA	NA	NA
1969:01	3.473016	NA	NA	NA	NA
1970:01	3.059583	NA	NA	NA	NA
1971:01	3.098546	NA	NA	NA	NA
1972:01	3.153438	NA	NA	NA	NA
1973:01	3.135901	NA	NA	NA	NA
1974:01	3.523125	NA	NA	NA	NA
1975:01	3.166144	NA	NA	NA	NA
1976:01	2.914312	NA	NA	NA	NA
1977:01	3.328709	NA	NA	NA	NA
1978:01	3.134361	NA	NA	NA	NA
1979:01	3.190488	NA	NA	NA	NA
1980:01	3.363748	NA	NA	NA	NA
1981:01	2.848132	NA	NA	NA	NA
1982:01	3.170030	NA	NA	NA	NA
1983:01	3.347839	NA	NA	NA	NA
1984:01	3.688678	NA	NA	NA	NA
1985:01	3.077856	NA	NA	NA	NA
1986:01	3.122014	NA	NA	NA	NA
1987:01	2.694507	NA	NA	NA	NA
1988:01	3.269348	NA	NA	NA	NA
1989:01	3.623748	NA	NA	NA	NA
1990:01	3.040869	NA	NA	NA	NA
1991:01	3.579472	NA	NA	NA	NA
1992:01	2.962122	NA	NA	NA	NA
1993:01	3.815688	NA	NA	NA	NA
1994:01	3.866892	NA	NA	NA	NA
1995:01	3.487690	3.487690	3.487690	3.487690	3.487690
1996:01	NA	3.294833	3.082636	3.294511	3.506387
1997:01	NA	3.260021	3.025800	3.259993	3.494187
1998:01	NA	3.252099	3.016869	3.252101	3.487332
1999:01	NA	3.249878	3.014538	3.249880	3.485222
2000:01	NA	3.249170	3.013815	3.249171	3.484526
2001:01	NA	3.248930	3.013573	3.248931	3.484288
2002:01	NA	3.248847	3.013490	3.248847	3.484205
2003:01	NA	3.248818	3.013460	3.248818	3.484176
2004:01	NA	3.248808	3.013450	3.248808	3.484166
2005:01	NA	3.248804	3.013447	3.248804	3.484162

REFERENCIAS

- 2.4 Aparicio F. 1997. **Fundamentos de Hidrología de Superficie**. Limusa. México, D.F.
- Athié. 1983. **Contaminación del Agua en México**. México, D.F.
- 5 César E. 1994. **Abastecimiento de Agua Potable**. Volumen I. Facultad de Ingeniería UNAM. México, D.F
- 7 Gobierno del Estado de Coahuila. Secretaría de Fomento Agropecuario. 1995. **Información Meteorológica de Coahuila**. Saltillo, Coahuila.
- Guerrero V. 2003. **Análisis Estadístico de Series de Tiempo Económicas**. Thomson. México, D.F.
 - INEGI. 2000. **Anuario Estadístico del Estado de Coahuila**. Aguascalientes.
 - INEGI. 2000. **Datos Preliminares, Censo de Población y Vivienda 2000**. Aguascalientes..
- 6 INEGI. 2001. **Marco Geoestadístico del estado de Coahuila**. Aguascalientes.
- 9 Jiménez B. y Ramos J. 1999. **Reuso Posible del Agua Residual en México**. Instituto de Ingeniería. UNAM. México, D.F.
- Masters G. 2000. **Introduction to Environmental Engineering**. USA.
 - ONU. 1997. **Evaluación General de los Recursos de Agua Dulce del Mundo**. Comisión para el Desarrollo Sustentable.
 - SEMARNAP. CNA. 1988 - 1999. **Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego**.
 - SEMARNAP. CNA. 1988 – 1999. **Superficies Regadas y Volúmenes de Agua Distribuidos en Distritos de Riego**.
 - SEMARNAP. CNA. IMTA. 1994. **Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Potabilización y Tratamiento**. México, D.F.
- 8 SEMARNAT. CNA. 1996. Norma Oficial Mexicana. **NOM-001-SEMARNAT-1996**. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.
- SEMARNAT. CNA. 1999. **Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales**. BANDAS. México, D.F.
 - SEMARNAT. CNA. 2001. **Programa Nacional Hidráulico 2001 - 2006**. México, D.F.
 - SEMARNAT. CNA. 2002. **Ley de Aguas Nacionales**. México, D.F.
 - SEMARNAT. CNA. 2002. **Ley Federal de Derechos en Materia de Agua**. México, D.F.

- SEMARNAT. CNA. 2003. Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de 188 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, los resultados de los estudios realizados para determinar su disponibilidad media anual de agua y sus planos de localización.
- SEMARNAT. CNA. 2003. **Compendio Básico del Agua en México**. México, D.F.
- SEMARNAT. CNA. 2003. **Estaciones Meteorológicos de Coahuila**. Sistema Meteorológico Nacional.
- ¹ SEMARNAT. CNA. 2003. **Estadísticas del Agua en México**. México, D.F.
- Sotelo G. 1994. **Hidráulica General**. Tomo I. Limusa, México, D.F.
- SRH. 1977. **Boletines Hidrológicos de la Región Río Bravo RH24**. México, D.F.
- ³ Thiessen A.H. 1911. **Precipitation for large areas**. Monthly Weather rev. Vol 39.
- Thomas A. D. 1995. **RATS User's Manual**. Estima. Evanston, Illinois. USA.
- Walpole y Myers. 1992. **Probabilidad y Estadística**. Mc Graw Hill. México, D.F.