IWMI, Serie Latinoamericana: No. 9

SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN, MÉXICO

Francisco J. Flores López
y
Christopher A. Scott

IIMI
631.7.1
G404
LOP
C3

IWMI
INSTITUTO INTERNACIONAL DEL MANEJO DEL AGUA

IWMI, Serie Latinoamericana: No. 9

SIMULACION DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN, MEXICO

IWMI, Serie Latinoamericana: No. 9

SIMULACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL MANEJO DEL AGUA EN LA CUENCA DEL RIO SAN JUAN, MÉXICO

The Library 26

Francisco J. Flores López
y
Christopher A. Scott

IWMI
INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE

Los autores: Francisco J. Flores-López es auxiliar de investigación en el Instituto Internacional de! Manejo del Agua para el programa en Mtxico y Christopher A. Scott es investigador y jefe de la oficina Irapuato en Guanajuato para el programa IWMI-México.

Los autores agradecen a las gerencias estatales de la Comisión Naciona! de! Agua en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, por la información proporcionada; asi como, al personal de! Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan por su amplia disponibilidad mostrada en la recopilación de la información.

Flores L., F.J. y Scott, C.A. 1999. Simulación de Alternativas de! Manejo del Agua en la Cuenca del Rio San Juan, México. IWMI, Serie Latinoamericana No. 9. Mtxico, D.F., Mexico: Instituto Internacional del Manejo de! Agua.

IWMI, 1999. Todos los derechos reservados.

El Instituto Internacional de! Manejo de la Irrigación, es uno de los 16 centros apoyados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agricola Internacional (CGIAR), fue creado por un acta de! Parlamento de Sri Lanka. El Acta está actualmente siendo revisada para que se lea Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI, por su sigla en inglés).

Los autores asumen toda responsabilidad por el contenido de esta publicación.

PRESENTACIÓN DE LA SERIE

El Instituto Internacional del Manejo del Agua (IWMI, por su sigla en Inglés) fue establecido en el aiio de 1984 con sede en Colombo, Sri Lanka.

El IWMI empezó actividades en Latinoamkrica cuando en Mayo de 1990 co-patrocinó con la Comisión Internacional de Riego y Drenaje una sesión especial sobre el Manejo del Agua en Latinoamérica en el marco del Décimo cuarto Congreso Internacional de la Comisión.

Posteriormente, en Noviembre de 1991, el Instituto organizó en compaiiia del Instituto Nacional de Ciencia y Tkcnicas Hidricas de la Argentina, un Seminario Internacional sobre Sistemas de Riego Manejados por sus Usuarios.

Los 2 eventos anteriores abrieron campo al IWMI para buscar establecer un programa regular en Latinoamérica. Fue así como en el aiio 94 abrió sus Programa de México, seguido en el 95 por el Programa Regional Andino con sede en Cali, Colombia. Este último culminó en Septiembre del 97.

El programa del IWMI en México continúa ininterrumpido hasta la fecha y es asi como éste dá origen a la idea de ésta "IWMI, Serie Latinoamericana" que aqui se presenta.

El Instituto aspira, por medio de esta publicación, dar a conocer mas ampliamente en la región, los resultados de los trabajos de investigación ejecutados por nuestros investigadores y/o sus colaboradores.

Aunque la idea inicial es dar cabida únicamente a aquellos trabajos directamente relacionados con el Instituto, no pensamos descartar, en manera alguna, la posibilidad de dar espacio a otras contribuciones consideradas pertinentes a las metas globales del Instituto.

Como puede esperarse, el futuro de la serie dependerá de la aceptación y retro-alimentación recibida de parte de la comunidad a la cual esta dirigida: forjadores de politicas relativas al recurso agua, investigadores afines a la problemática del recurso, organizaciones e individuos involucrados, en una u otra forma, en aspectos técnicos, institucionales, económicos y sociales del manejo del agua, particularmente a la región latina pero en general a nivel global.

Para sus comentarios, en español o inglés, puede comunicarse a cualquiera de las 2 direcciones que aparecen en el reverso de esta publicación.

Atentamente

Carlos Garcks-Restrepo
Jefe del Programa IWMI-México

ÍNDICE

pág.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS xi
PRÓLOGO xiii
RESUMEN xv

INTRODUCCIÓN 1
Ojetivos del Estudio 1
Antecedentes 1

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO 4

METODOLOGÍA 7

RESULTADOS 13

CONCLUSIONES 36

RECOMENDACIONES 38

BIBLIOGRAFÍA 41

ANEXOS 43

Anexo 1: Aportaciones históricas en la estación hidromktrica El Cuchillo.
Anexo 2: Aportaciones históricas en la estación hidromktrica Los Herreras
Anexo 3: Caracteristicas hidráulica de diseño de las presas
Marte R. Gómez y Solidarid El Cuchillo

LISTA DE CUADROS

pág

Cuadro 1 Precipitación y evaporacidn en la estación meteorológica El Cuchillo 5
Cuadro 2 Parámetros estadisticos de volúmenes escurridos en las estaciones hidrométricas El Cuchillo y Los Herreras 8
Cuadro 3 Variables empleadas en modelos de simulación 11
Cuadro 4 Simulaciones realizadas en base a volúmenes demandados anualmente 12
Cuadro 5 Superficies óptimas a sembrar por los modelos de optimización para el DR 026 BRSJ 13
Cuadro 6 Parámetros estadisticos de los resultados de los modelos de simulación 14

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema del sistema hidráulico del rio San Juan 6
Figura 2 Escurrimientos históricos anuales en la estación hidrómetrica El Cuchillo 9
Figura 3 Escurrimientos históricos anuales en la estación hidrómetrica Los Herreras 10
Figura 4 Extracciones para el DR 026 BRSJ. modelos 1 y 2 16
Figura 5 Extracciones para las unidades de riego del río Pesqueria y arroyo Ayancual, modelos 1 y 2 17
Figura 6 Extracciones para la ciudad de Monterrey. modelos 1 y 2 18
Figura 7 Almacenamientos finales en la presa SEC. modelos 1 y 2 21
Figura 8 Extracciones para el DR 026 BRSJ. modelos 5 y 6 22
Figura 9 Extracciones para las unidades de riego del rio Pesqueria y arroyo Ayancual, modelos 5 y 6 23
Figura 10 Extracciones para la ciudad de Monterrey. modelos 5 y 6 24
Figura 11 Almacenamientos finales en la presa SEC. modelos 5 y 6 25
Figura 12 Extracciones para el DR 026 BRSJ. modelos 3 y 4 26
Figura 13 Extracciones para la ciudad de Monterrey. modelos 3 y 4 27
Figura 14 Almacenamientos finales en la presa SEC. modelos 3 y 4 28
Figura 15 Extracciones para el DR 026 BRSJ. modelos 7 y 8 29
Figura 16 Extracciones para la ciudad de Monterrey. modelos 7 y 8 30
Figura 17 Almacenamientos Finales en la presa SEC. modelos 7 y 8 31
Figura 18 Almacenamientos finales en la presa MRG. modelo 2 33
Figura 19 Almacenamientos finales en la presa MRG. modelo 7 35

GLOSARIO DE **ABREVIATURAS**

CNA	Comisión Nacional del Agua - México
DR **026** BRSJ:	Distrito de Riego 026 Bajo Rio San Juan
DR **031** LJ:	Distrito de Riego 031 Las Lajas
IRAS:	Programa de Computo para simular interactivamente rios y acuiferos
MRG	Presa Marte R. Gómez
MSNM:	Metros Sobre el Nivel del Mar
01:	Subciclo Agricola Otoño Invierno
PE	Cultivos Perennes
PV:	Subciclo Agricola Primavera Verano
SARH:	Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos - Mkxico
SC:	Segundos Cultivos
SEC:	Presa Solidaridad El Cuchillo
URDERALES:	Unidades de Riego para el Desarrollo Rural - México
USA	Estados Unidos de Nortearnerica

PRÓLOGO

En la medida que los centros urbanos se desarrollan a un ritmo acelerado, su demanda de agua compite con otros sectores que históricamente han aprovechado las aguas sin restricción. En las cuencas hidrográficas de recursos hidricos limitados, el suministro de agua a las zonas urbanas (incluyendo los usos residenciales, dombticos, comerciales e industriales) necesariamente restringe otros usos, especificamente el agricola y el ambiental. Además, cuando el uso urbano tiene prioridad de derecho, las restricciones son especialmente fuertes para otros sectores que utilicen la misma infraestructura hidráulica de presas, acueductos, etc. Todo esto implica que la agricultura de riego ha sido afectada significativamente en cuencas de escasos recursos hidricos.

En la actualidad, en México se está comenzando a vivir una crisis de competencia por el recurso agua, entre diferentes sectores como el agricola, urbano e industrial; esto ha sucedido en la cuenca del río San Juan en el Noreste de México, en la cual se encuentra uno de los principales polos de desarrollo, que es la ciudad de Monterrey, además de una zona de riego muy importante del país en producción de maíz y sorgo; como es el distrito de riego 026 Bajo Rio San Juan en el estado de Tamaulipas.

Con el crecimiento de la ciudad de Monterrey y la baja disponibilidad del recurso agua en la cuenca, se decidio construir la presa Solidaridad El Cuchillo para complementar el abastecimeinto de agua a dicho centro de población; esto trajo consigo una disminución de los volúmenes captados en la presa Marte R. Gómez, los cuales son utilizados en el distrito de riego **026** Bajo **Rio** San Juan, esta situación ha generado restricciones en la disponibilidad del agua en dicho distrito de riego.

Por los antecedentes mencionados, el Instituto Internacional del Manejo del Agua a tráves de sus investigadores en México, decidio estudiar la problemática mencionada; ya que este tipo de casos son de interés para el Instituto, debido a el carácter integral del manejo de cuencas que en la actulidad se tiene como política de estudio en el IWMI.

Igualmente, es de interés general para planificadores de recursos hídricos ya que trata el terna de la competencia intersectorial por el agua - en este caso el uso agricola vs el uso doméstico. Esta situación es cada dia mas común encontrarla, no solo en la República Mexicana sino también en muchos otros países alrededor del mundo

Los autores nos presentan las bondades de un modelo particular de simulación hidrológica que les permite sugerir algunas recomendaciones concretas con miras a aliviar esta situación particular. Como siempre invitamos a los lectores a enviarnos sus comentarios

Carlos Garcés-Restrepo
Jefe de IWMI-México

RESUMEN

El crecimiento de las ciudades trae consigo una serie de problemas, entre ellos, el aumento de la demanda de agua potable para uso urbano-industrial. Esto ha sucedido en la ciudad de Monterrey y su zona conurbada en el estado de Nuevo León; lo que ocasionó que se construyera la presa Solidaridad El Cuchillo sobre el río San Juan para complementar el suministro de agua a dicha cuidad. Con la construcción de dicha presa se disminuyeron los volhmenes aportados a la presa Marte R. Gómez, principal fuente de abastecimiento para el Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan en el estado de Tamaulipas y por consiguiente una menor disponibilidad del recurso agua para los usuarios de dicho distrito de riego.

Bajo esta nueva situación, se simuló el funcionamiento del sistema hidrológico del rio San Juan, con el fin de estudiar el impacto de la presa Solidaridad El Cuchillo en el Distrito de Riego **026** Bajo Río San Juan, mediante la comparación de escenarios antes y después de la construcción de dicha presa. Los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones indican que para el escenario en el cual el impacto es menor, el abastecimiento al Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan con una demanda de $440*10^6$ m^3, se satisface en el 75 y 60% de los aiios con un caudal de extracción de 2.5 y 5.0 m^3/s respectivamente en la presa Solidaridad El Cuchillo para la ciudad de Monterrey; a su vez el abastecimiento a Monterrey se realizaria en 90 y **84%** de los años de acuerdo a los caudales de extracción mencionados. En el escenario menos favorecido se tiene que, para una demanda de $545*10^6$ m^3 en el Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan se satisface en un 52 y **42%** de los aiios con los mismos caudales de extracción en la presa Solidaridad El Cuchillo de 2.5 y 5.0 m^3/s para la ciudad de Monterrey, satisfaciéndose su abastecimiento en 72 y 68% de los aiios respectivamente

INTRODUCCIÓN

En la región Noreste de México se tienen sistemas hidrológicos muy importantes para la economía del país; uno de ellos, es el sistema del rio San Juan, el cual se ubica en los estados de Coahuila, Nuevo Lebn y Tamaulipas. En este sistema, sobre el rio San Juan se tienen construidas dos presas de almacenamiento principales: Solidaridad El Cuchillo (SEC) construida en el periodo de **1990** a **1994** y Marte R. Gómez (MRG) cuyos almacenamientos se utilizan, la primera para complementar el suministro de agua potable para uso urbano e industrial de la ciudad de Monterrey y del Distrito de Riego 031 Las Lajas (DR **031 LJ)** en Nuevo León y ambas para el suministro de agua para riego del Distrito de Riego **026** Bajo Río San Juan (DR **026** BRSJ) en Tamaulipas.

En Nuevo León, la zona metropolitana de Monterrey, integrada con la conurbación de siete municipios con **3.4** millones de habitantes actuales y el importante desenvolvimiento económico que se tiene, genera una demanda de agua de alrededor de 12 m^3/s; y según la poblacibn esperada para el aiio 2000 se estima será de **4.5** a **5.4** millones de habitantes con una demanda de agua estimada de **17** a 21 m^3/s (CNA, **1994** citado por Flores, 1998).

Objetivos del Estudio

1. Realizar diferentes simulaciones del sistema hidrológico del río San Juan, para una serie histórica de las aportaciones de **69** años, en los cuales se cuenta con información para analizar el impacto de la extracción de agua para uso urbano sobre la agricultura.
2. Mostrar algunas de las alternativas en el manejo del agua, así como, su impacto en el DR 026 BRSJ y las unidades de riego sobre el rio Pesqueria y arroyo Ayancual.

Antecedentes

En el contexto de las cuencas, el uso del agua en un sector puede tener impactos sobre otros sectores. Sobre todo en cuencas de escasos recursos hídricos, la extracción y uso del recurso aguas arriba tiende a restringir los usos aguas abajo. De esta manera, es una tarea sumamente compleja, la asignacibn del agua a los diferentes usos. Frente a la creciente demanda por el agua, la competencia inter-sectorial es cada vez más pronunciada; así que la operación de la infraestructura de suministro se vuelve una función crítica. Existen varías herramientas para ayudar en la toma de decisiones sobre la asignacibn del recurso, tales como los modelos de simulacibn hidrológica, modelos de programación lineal, programación dinámica, etc.

Desde hace un poco más de 25 aiios, cuando se desarrolló el Plan Hidráulico del Golfo, se consider6 la posibilidad de construir la presa El Cuchillo para poder regular las aguas del rio San Juan, ya que por su tamaiio, la presa Marte R. Gómez no cuenta con suficiente capacidad para su regulación y en consecuencia se tenían derrames periódicos. Sin embargo, no fue hasta 1989 cuando se tom6 la decisión de construir dicha presa; pero, el objetivo principal del nuevo vaso, seria para derivar agua hacia la ciudad de Monterrey y su zona conurbada, la cual requeria de nuevas fuentes de agua para poder satisfacer su creciente demanda; un objetivo secundario, es la regulación del rio San Juan, para reducir los derrames.

Desde el inicio de la construcción de la presa El Cuchillo se preveian problemas de disponibilidad de agua para el distrito de riego 026 Bajo Rio San Juan; debido al volumen que se requeriría para el llenado de la presa; sin embargo, esta situación se agravó debido a las bajas aportaciones del río San Juan en el sitio de la presa, en el periodo de 1989 a 1996, ya que en este tiempo se present6 un período de sequía severo y prolongado. En efecto, la media de las aportaciones en este periodo ha sido de solamente 323.98 10^6 m^3, que es la mitad de la media general en los 70 aiios de observaciones, también este valor es un 50% menor que la mediana en ese mismo periodo de 70 aiios (CNA, 1997).

Finalmente, la presa SEC inicio su operación a fines de 1993 enviando agua por el acueducto China-Monterrey a la ciudad de Monterrey para el abastecimiento a dicha ciudad y a los municipios conurbados. Este acueducto, tiene actualmente una capacidad de conducción de 5 m^3/s y ha estado operando con un caudal medio de 1.946 m^3/s en el periodo de Enero de 1994 a Marzo de 1997; adicionalmente, también se deriva un pequeño volumen por el acueducto China-Aldamas que lleva agua a las poblaciones rivereñas del río San Juan; así como también abastece al DR 031 Las Lajas (CNA, 1997).

Al construir la presa SEC, se partió del supuesto, que del volumen total extraido a dicha presa para uso urbano e industrial de la ciudad de Monterrey, el 60% del volumen va a retornar tratado a la presa MRG para ser utilizado por el DR026 BRSJ (CNA, 1994). Un hecho importante, es que las aguas residuales de la ciudad de Monterrey siempre se han utilizado para riego, en las unidades de riego de la cuenca del rio San Juan, en las márgenes del rio Pesqueria y arroyo Ayancual. Las descargas de las aguas tratadas se hacen principalmente al rio Pesqueria, afluente del rio San Juan, donde hay varios aprovechamientos para riego, incluyendo Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (URDERALES), y varios de dichos aprovechamientos no tienen concesión autorizada para el uso del agua; adicionalmente se ha observado un crecimiento de las superficies beneficiadas con riego, no solamente en la zona del río Pesqueria y el arroyo Ayancual, sino tambitn en la zona baja del mismo río San Juan (CNA, 1997).

Desde luego que el incremento de areas regadas, se ha debido a que las descargas de aguas residuales de la zona conurbada de Monterrey tambitn han aumentado, conforme ha crecido la población, el numero de casas beneficiadas con agua entubada y el mejoramiento de los niveles de vida de la población. No obstante, se considera que parte del aumento de las áreas

regadas, se debe a las descargas de aguas tratadas que provienen de las derivaciones del acueducto China-Monterrey, las cuales ya están comprometidas con el DR 026 BRSJ. La competencia por el uso del agua del río San Juan y su afluente el río Pesqueria, ha generado un conflicto de competencia por el recurso que requiere de acciones tanto de los gobiernos federales, estatales y de los mismos usuarios del agua, para aminorar la problemática técnica y social en esta región.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El marco natural de la cuenca del rio San Juan comprende los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; así como los distintos aprovechamientos hidráulicos que en esta existen, como son el Distrito de Riego 026 Bajo Río San Juan, el Distrito de Riego 031 Las Lajas, el acueducto China-Monterrey, el acueducto regional China-Aldamas y las unidades de riego que se ubican en el río Pesqueria, arroyo Ayancual y río San Juan (Figura 1).

La cuenca del río San Juan tiene una superficie de 32,972 km^2 y es el segundo afluente en importancia de los aportadores mexicanos al río Bravo. Su confluencia con el rio Bravo ocurre a 58 km aguas abajo de la cortina de la presa Internacional Falcón y 383 km aguas arriba de la desembocadura en el golfo de México. La cuenca se localiza entre los paralelos 24°50' y 26°25' de latitud Norte y los meridianos 98°45' y 101°59' de longitud Oeste. Este río es uno de los más importantes de la región Noreste del país, abarcando territorio de tres estados que son Coahuila con 13,123 km^2, Nuevo León con 18,860 km^2 y Tamaulipas con 989 km^2 (SARH, 1973). Para dar una idea de las condiciones de precipitación y evaporación que hay en la cuenca, en el Cuadro 1 se presentan estos para la estación El Cuchillo.

El Distrito de Riego 026 Bajo Rio San Juan, esta situado en el Norte del estado de Tamaulipas en la franja fronteriza con el estado de Texas USA; se encuentra ubicado a una latitud de 26°00' Norte y una longitud Oeste de 98°30', a 40 msnm. Presenta un clima de acuerdo a Thornthwaite *DdA'a* que es un clima de provincia de humedad *D* semiárida, vegetación de estepa, humedad deficiente d en todas las estaciones del aiio; provincia de temperatura A' tropical; subprovincia de temperatura *a*, concentración en el verano entre 25 y 34%. Comprende una extensión de 85,901 ha dominadas distribuidas en cinco unidades de riego con 5258 usuarios. Las obras hidráulicas que abastecen al DR 026 BRSJ son las presas SEC y MRG emplazados en serie sobre el rio San Juan y mediante una red de canales principales de 225.4 km y 848.9 km de canales laterales abastecen al distrito de riego y una red de drenaje de 1229.7 km (CNA, 1992). Este estudio considera únicamente las superficies regadas por gravedad con aguas provenientes de la presa MRG, lo cual incluye a las unidades I, II y III del DR 026 BRSJ, con una superficie dominada de 75,049 ha. Las restantes unidades utilizan agua del rio Bravo, las cuales se han eliminado de este análisis, ya que su fuente de abastecimiento no pertenece al sistema del río San Juan.

El Distrito de Riego 031 Las Lajas, se localiza en el estado de Nuevo León ubicado a una latitud de 25°47' Norte y una longitud de 99°11' Oeste a 123 msnm; cuenta con una superficie dominada de 4648 ha y 218 usuarios. Este distrito de riego se abastece por medio de una derivadora en el rio San Juan, aguas abajo de la presa SEC y 43 pozos de bombeo particulares, además de una red de canales principales de 16.7 km y 31.5 km de canales laterales, así como, una red de drenaje de 19.9 km y 82.9 km de caminos (CNA, 1992).

Cuadro 1 Precipitación y Evaporación en la Estación Meteorológica El Cuchillo

Parámetros Estadísticos de la Precipitación, en la Estación Meteorológica El Cuchillo													
	Oct (mm)	Nov (mm)	Dic (mm)	Ene (mm)	Feb (mm)	Mar (mm)	Abr (mm)	May (mm)	Jun (mm)	Jul (mm)	Ago (mm)	Sep (mm)	Total (mm)
Núm. Años	42	44	44	43	43	43	43	43	44	44	41	42	44
Media	50.8	14.6	13.8	20.8	14.9	12.6	32.8	62.3	66.6	47.4	78.2	116.8	515.4
Mediana	42.6	7.0	6.2	8.4	9.7	7.9	23.9	58.3	61.6	30.4	60.4	86.8	484.8
Desv.-Std.	44.4	17.6	20.2	33.8	17.0	15.2	39.3	48.1	50.2	56.9	82.4	96.8	193.9
Coef.-Var.	1.14	0.83	0.68	0.62	0.88	0.83	0.83	1.30	1.33	0.83	0.95	1.21	2.66
Máximo	164.7	76.1	78.4	167.0	68.5	67.3	196.9	192.5	213.6	324.7	437.1	408.2	951.5
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	193.5
Parámetros Estadísticos de la Evaporación, en la Estación Meteorológica El Cuchillo													
Núm. Años	42	44	43	43	43	43	43	43	44	44	41	42	44
Media	171.0	127.6	106.1	108.1	136.6	207.2	245.4	270.0	310.3	351.7	319.9	227.0	2516.5
Mediana	165.0	122.5	110.5	107.2	137.0	208.7	251.3	280.4	309.1	360.2	319.9	229.1	2534.8
Desv.-Std.	34.2	25.3	22.3	28.3	34.1	33.5	40.2	44.9	48.0	54.2	44.9	37.1	316.2
Coef.-Var.	0.20	0.20	0.21	0.26	0.25	0.16	0.16	0.17	0.16	0.15	0.14	0.16	0.13
Máximo	251.9	173.5	144.1	182.4	193.6	290.2	331.7	346.2	392.6	478.1	413.5	306.2	3047.1
Mínimo	85.4	58.7	64.5	50.7	65.2	112.8	146.5	158.0	212.6	208.8	232.8	146.0	1677.4

mm: Milímetros

Fuente: Gerencia Estatal en Nuevo León, Comisión Nacional del Agua.

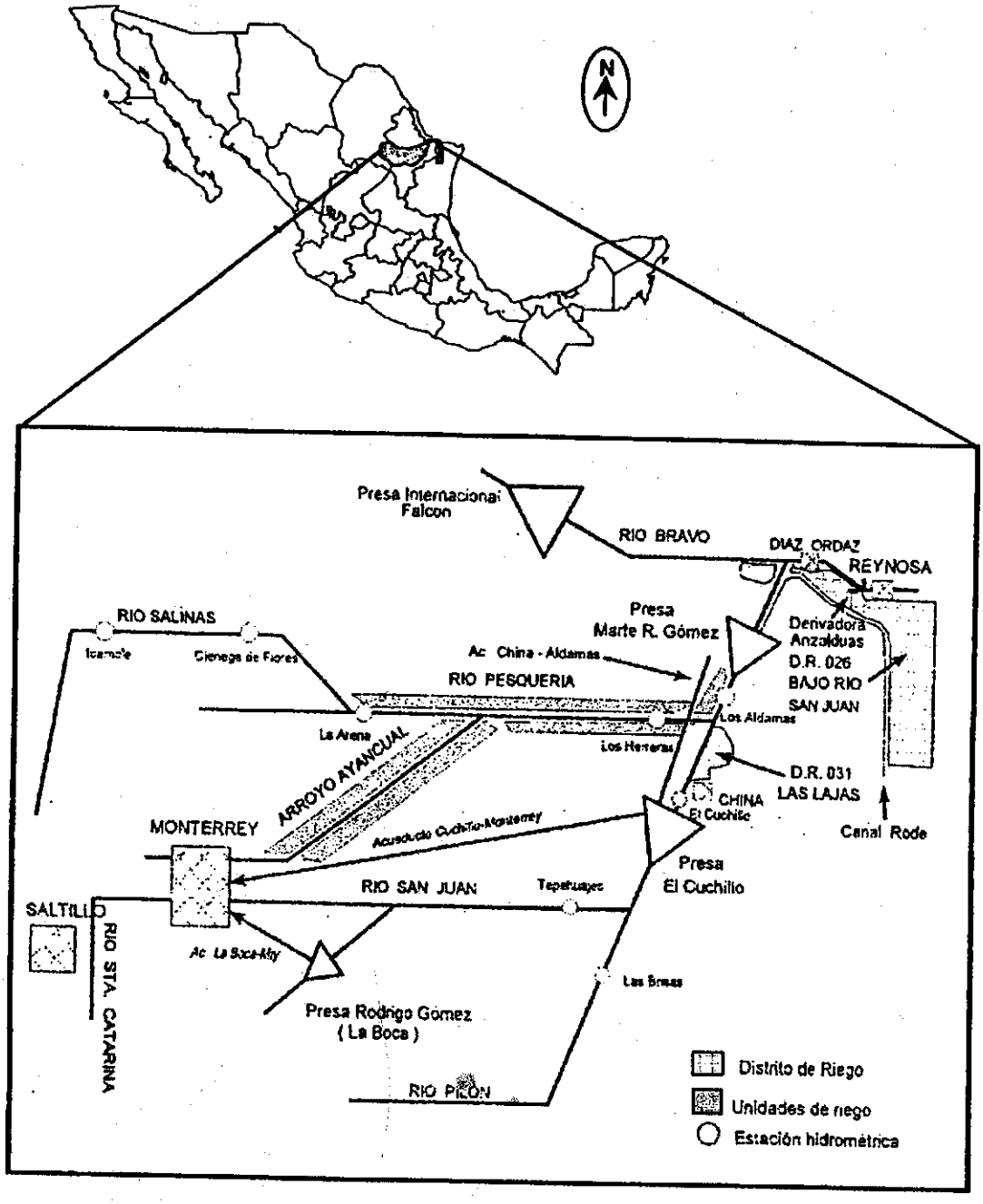

Figura 1 Esquema del sistema hídrico del río San Juan.

METODOLOGÍA

Para representar la configuración real del sistema hidráulico del río San Juan y analizar su funcionamiento bajo los argumentos antes descritos, se utilizó un software de simulación de sistemas hidrológicos denominado IRAS (Interactive River-Aquifer Simulation) desarrollado en la universidad de Cornell USA (Loucks and French, 1995) . Bajo la premisa que IRAS ha sido desarrollado, principalmente para ayudar a quien esté interesado en evaluar el funcionamiento o impactos de diseño de alternativas y políticas de operación de sistemas de recursos hidráulicos; se determinó usar a éste como herramienta para simular el sistema. Los datos necesarios para alimentar al modelo son principalmente información hidrológica para las diferentes estaciones hidrométricas existentes en la cuenca en estudio; así como las características hidráulicas de diseño de las obras en estudio (capacidad de azolves, de almacenamiento, de conducción, etc) y los volúmenes de agua necesarios por las diferentes fuentes de demanda como son el DR 026 BRSJ, DR 031 LJ, Acueducto China-Monterrey, Acueducto China-Aldamas, Unidades de Riego, etc. los cuales se obtuvieron de los trabajos realizado por CNA, 1997 y Flores, 1998.

Las estaciones hidrométricas con las cuales se trabajó en el modelo de simulación son El Cuchillo y Los Herreras. Así tenemos que, para la estación El Cuchillo se tiene un serie histórica de 69 años y para la estación Los Herreras se tienen 53 años de escurrimiento. En el Cuadro 2 se muestran los paramétros estadísticos representativos de ambas estaciones; y en las Figuras 2 y 3 se muestran las aportaciones históricas registradas en ambas estaciones de aforo, así como, la aportación histórica media y mediana de los escurrimientos. Como se puede observar en ambas gráficas, los escurrimientos registrados presentan una gran aleatoriedad y esto se puede corroborar en el cuadro 2.

En el cuadro 2 se aprecia que las dos estaciones hidrométricas tienen diferentes períodos de datos. Para completar el período 1927-1941 para Los Herreras, se generaron datos sintéticos en base a una regresión lineal con relación 1:1 (significancia $p<0.001$) entre los gastos mensuales de Los Herreras y El Cuchillo para el periodo 1942-1996. La ecuación es:

$$Q_{Herreras} = 0.23 * Q_{Cuchillo} / 0.77$$
$$Q_{Herreras} = 0.30 * Q_{Cuchillo}$$

Donde:

$Q_{Herreras}$ = Caudal aforado en la estación hidrométrica Los Herreras, sobre el río San Juan.
$Q_{Cuchillo}$ = Caudal aforado en la estación hidrométrica El Cuchillo, sobre el río San Juan.

Cuadro 2 Parámetros estadísticos de los volúmenes escurridos en las estaciones hidrométricas El Cuchillo y Los Herreras.

Estación hidrométrica El Cuchillo 1927-1996 (10^6 m^3)													
	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
Núm.Años	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
Media	130.07	45.19	27.36	23.32	14.77	10.79	14.48	31.09	62.73	35.64	65.61	173.44	634.49
Mediana	81.53	34.01	21.94	15.88	9.56	8.22	8.89	21.23	17.63	9.40	12.07	107.83	496.55
Desv.Std.	157.84	48.25	26.12	26.48	17.88	11.16	19.29	33.18	112.04	50.72	132.74	233.13	443.62
Coef.Var.	1.21	1.07	0.95	1.14	1.21	1.03	1.33	1.07	1.79	1.42	2.02	1.34	0.70
Máximo	806.07	242.81	107.69	157.74	83.87	56.76	106.78	171.11	620.73	225.33	613.34	1190.06	2094.80
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Estación hidrométrica Los Herreras 1942-1996 (10^6 m^3)													
Núm.Años	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53	53
Media	21.13	7.04	9.55	3.56	2.48	2.19	13.98	12.09	14.39	7.75	29.13	43.47	166.75
Mediana	13.39	3.00	2.19	1.98	1.17	1.33	2.02	9.15	7.96	4.64	8.89	27.76	134.11
Desv.Std.	25.21	11.11	35.81	5.17	3.80	3.11	61.92	14.57	20.61	9.61	62.04	44.73	118.56
Coef.Var.	1.19	1.58	3.75	1.45	1.53	1.42	4.43	1.21	1.43	1.24	2.13	1.03	0.71
Máximo	136.33	58.00	265.00	22.83	17.40	14.12	461.00	76.14	85.68	43.85	332.39	214.68	751.26
Mínimo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.15

Fuente: Gerencia Estatal de Nuevo León, Comisión Nacional del Agua.

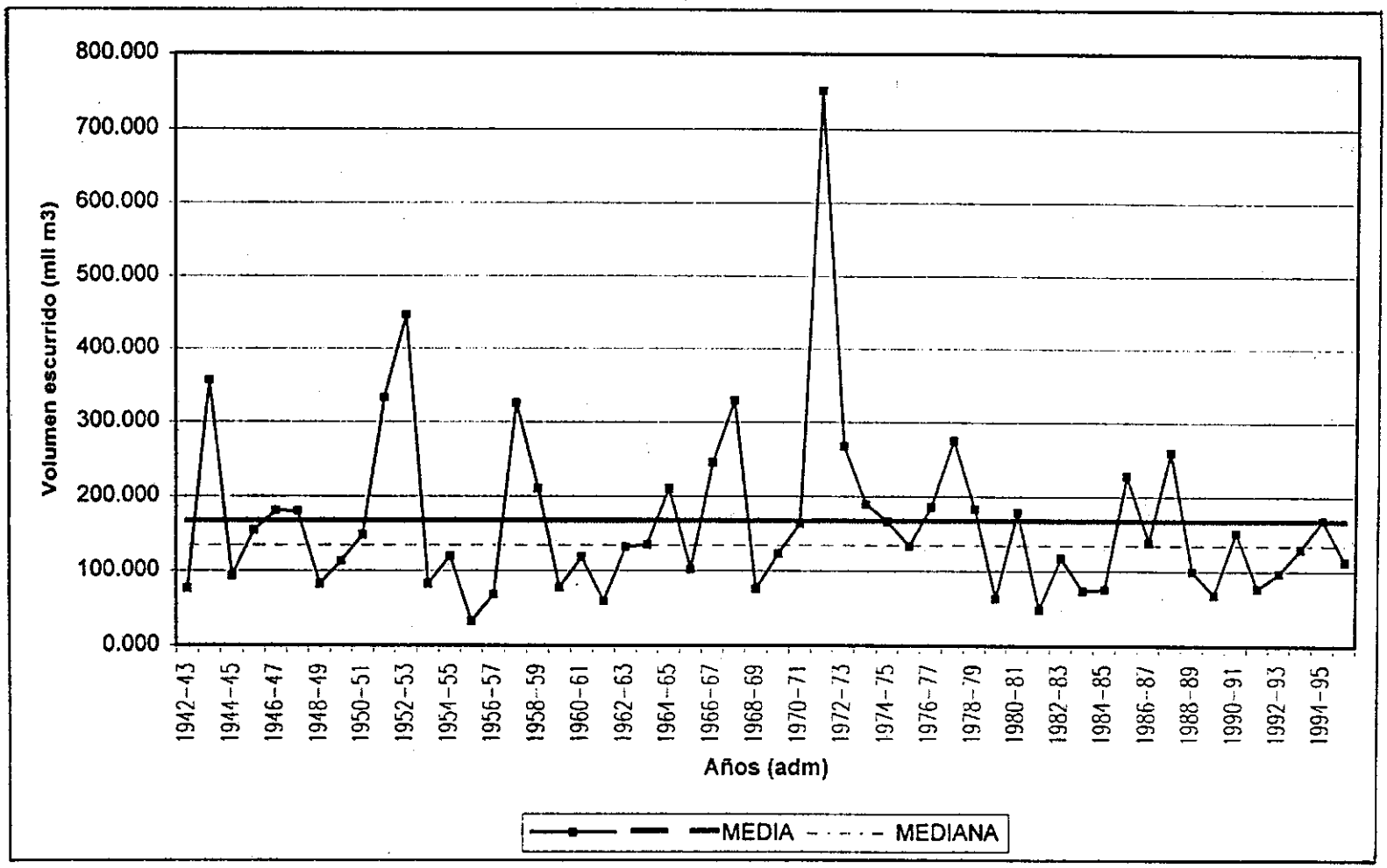

Figura 2 Escurrimientos históricos anuales en la estación hidrómetrica El Cuchillo.

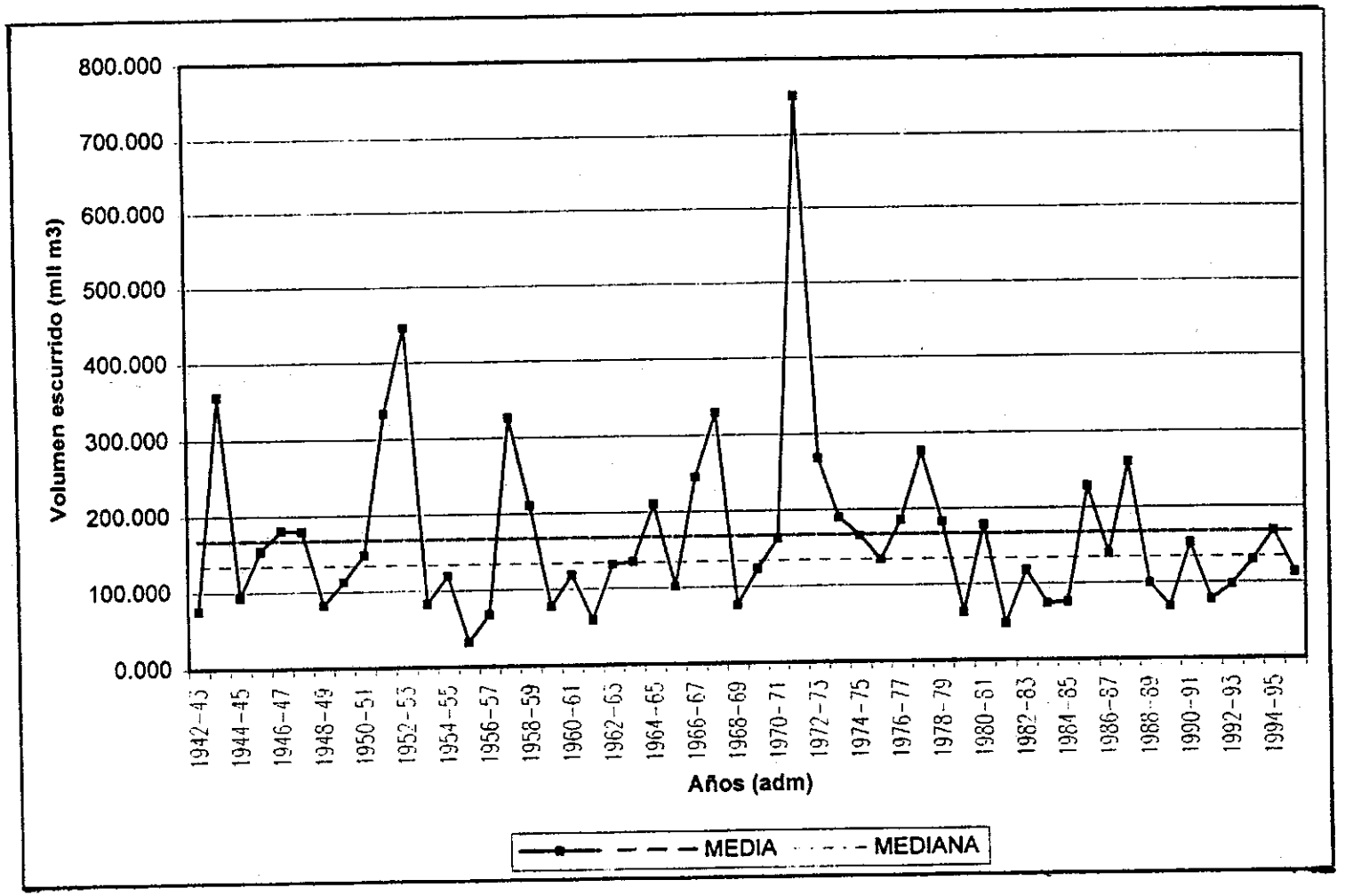

Figura 3 Escurrimientos históricos anuales en la estación hidrómetrica Los Herreras

Para realizar la simulación del sistema se han generado ocho escenarios, siendo las variables a modificarse las siguientes: El volumen de extracción para la ciudad de Monterrey, el volumen de extracción para las poblaciones ribereñas del río San Juan, el volumen de extracción para las unidades de riego en el rio Pesqueria y arroyo Ayancual y el volumen demandado por el DR 026 BRSJ. Dichas variables que se manejan, asi como sus abreviaturas empleadas se presentan en el Cuadro 3 y los modelos se presentan resumidos en el Cuadro 4 con sus respectivos valores.

modelo de optimización para las condiciones hidrológicas del río San Juan para antes de la construcción de la presa SEC; así mismo, el volumen de $436.78*10^6$ m^3 corresponde a un modelo de optimización para la condición hidrológica después de la construcción de la presa SEC; dichos modelos de optimización se obtuvieron del trabajo realizado por Flores, 1998. Los modelos de optimización tienen como función objetivo maximizar el beneficio neto de los productores del DR 026 BRSJ, sujeto a restricciones de: superficie del distrito, disponibilidad de volumen, superficies mínimas y máximas por cultivos, capacidad de extracción de la obra de toma, capacidad de conducción de canales, etc. De una manera muy general, se creo un modelo de programacicin lineal que maximiza el beneficio neto de los productores del distrito, para las condiciones hidrológicas que se tenían en la cuenca antes de la construcción de presa SEC. A partir de dicho modelo fue que se obtuvieron las demandas de agua para el DR 026 BRSJ, para los modelos 1 a 4 como se observa en el cuadro 4. Una vez que se tuvo construida la presa SEC y bajo esta nueva situación hidrológica que se tiene en la cuenca del río San Juan, se desarrolló un nuevo modelo para maximizar el beneficio neto de los mismos productores, sólo que ahora bajo esta nueva situación de las aportaciones y a partir del cual se obtuvieron las demandas para los modelos 5 a 8 (ver cuadro 4). Por otro lado la demanda de $24*10^6$ m^3 para el DR 031 LJ es de acuerdo a una asignación anual fija que se tiene acordada.

Cuadro 3 Variables empleadas en modelos de simulación

Variables	Abreviatura
Extracciones por acueducto para la ciudad de Monterrey	Ac. Mty
Extracciones por acueducto para poblaciones ribereiias del río San Juan	Ac. Aldamas
Extracciones por unidades de riego del río Pesquerla y arroyo Ayancual	UR Pesquerla
Demandas del DR 026 BRSJ	DR 026 BRSJ
Constantes	
Volumen asignado al DR 031 LJ	DR 031 LJ
Extracciones por unidades de riego en el río San Juan	UR RSJ

Cuadro 4 Simulaciones realizadas en base a volúmenes demandados anualmente

	Volumen Demandado por: (10^6 m^3)						
	DR 026 BRSJ	DR 031 LJ	Ac. Mty	Ac. Aldamas	UR Pesquería	UR RSJ	Total
Modelo 1	545.45	24.00	78.84	5.16	232.54	37.33	923.32
Modelo 2	545.45	24.00	157.68	7.08	232.54	37.33	1004.08
Modelo 3	545.45	24.00	78.84	5.16	0.00	37.33	690.78
Modelo 4	545.45	24.00	157.68	7.08	0.00	37.33	771.54
Modelo 5	436.78	24.00	78.84	5.16	232.54	37.33	814.65
Modelo 6	436.78	24.00	157.68	7.08	232.54	37.33	895.41
Modelo 7	436.78	24.00	78.84	5.16	0.00	37.33	582.11
Modelo 8	436.78	24.00	157.68	7.08	0.00	37.33	662.87

El volumen para el DR 026 BRSJ de $545.45*10^6$ m^3 corresponde a una demanda en base a un

La demanda del acueducto China-Monterrey de 78.84 y $157.68*10^6$ m^3, corresponde al volumen anual de extracción por dicho acueducto de acuerdo a un caudal de operación de 2.5 y 5.0 m^3/s (caudal de extracción máximo) respectivamente. Cabe mencionar que en el período de Enero de 1994 a Marzo de 1997 el acueducto mantuvo un caudal medio de extracción de 1.946 m^3/s. El volumen demandado por el acueducto China-Aldamas de 5.16 y $7.08*10^6$ m^3 corresponde a un caudal de operación de 0.16 y 0.22 m^3/s, siendo éste último el caudal máximo de extracción.

El volumen demandado por las unidades de riego del río Pesquería y arroyo Ayancual es de acuerdo a las superficies de cultivo y demandas estimadas por CNA, 1997 en estas dos corrientes. En los modelos 1, 2, 5 y 6 se considera que está retornando el 60% del volumen extraído de la presa SEC y este llega integro a la estación hidrométrica Los Herreras, sumandose al escurrimiento generado en la subcuenca del río Pesquería; y a partir de la cual se extrae el volumen demandado por dichas unidades de riego. Para los modelos 3, 4, 7 y 8 se ha considerado que las unidades de riego extraen el volumen que necesitan a lo largo de ambas corrientes y el volumen que se afora en la estación hidrométrica Los Herreras, es el sobrante de las descargas de aguas residuales de la zona conurbana de Monterrey y el escurrimiento generado en la subcuenca del río Pesquería. Este supuesto se fundamenta en el hecho de que las unidades de riego siempre han existido, aprovechando los escurrimientos generados por la subcuenca del río Pesquería y las descargas de aguas residuales de la zona conurbada de Monterrey, siendo el volumen aforado en Los Herreras el volumen sobrante; estos modelos se pueden considerar como los más realistas en las simulaciones realizadas, ya que en los primeros, hasta la fecha no se ha garantizado que ese 60% del volumen extraído en la presa SEC, retorne para ser utilizado por el DR 026 BRSJ. El volumen de $37.33*10^6$ m^3 para las unidades de riego del río San Juan se determinó también en base a las superficies de cultivo estimadas por CNA, 1997 y se ha considerado que este volumen es constante en todos los modelos, ya que dichas unidades de riego se abastecen por medio de bombeos directos sobre el río San Juan e incluso del vaso de la presa MRG.

RESULTADOS

Cabe mencionar que el período de análisis de las simulaciones es mensual, sólo que, para facilitar la presentación de la información se realiza en forma anual. Para tener una mejor visión del impacto en la reducción de los volúmenes disponibles en el DR 026 BRSJ, en el Cuadro 5 se presentan las superficies recomendadas a sembrar por los modelos de optimización para el DR 026 BRSJ para antes y después de la construcción de la presa SEC.

Cuadro 5 Superficies óptimas a sembrar por los modelos de optimización para el DR U026 BRSJ

No. (adm)	Cultivo (adm)	Superficie Antes de SEC (ha)	Superficie Después de SEC (ha)
1	Trigo OI	3,822.0	285.0
2	Algodón PV	527.0	527.0
3	Maíz Grano PV	52,322.0	41,249.0
4	Maíz Semilla PV	476.0	476.0
5	Sorgo Grano PV	8,169.0	8,169.0
6	Sorgo Semilla PV	1,421.0	1,421.0
7	Pastos PE	506.0	506.0
8	Frijol SC	2,631.0	2,631.0
9	Maíz Grano SC	924.0	924.0
10	Sorgo Grano SC	267.0	267.0
	Total	71,065.0	56,455.0

Fuente: Flores, 1998. Pp 59 y 78

Los resultados de las simulaciones se presentan resumidos en el Cuadro 6, con algunos paramétros estadísticos de los ocho modelos generados; dichos resultados corresponden al total anual para los 69 años simulados, a excepción de los volúmenes almacenados en los cuales se reporta el volumen para el último mes de cada año; en dicho cuadro se presentan los nodos o puntos de control más importantes del sistema. Cabe destacar que, la interpretación de los resultados que se da a continuación es sobre los modelos desarrollados, hablandose de años y porcentajes respecto al total de los 69 años simulados, así como, de volúmenes anuales en millones de metros cúbicos.

Comparando los modelos 1 y 2, los cuales corresponden al volumen máximo demandado total y haciendo la diferiencia entre ellos, el volumen de extracción del acueducto a Monterrey, tenemos que el modelo 1 satisface la demanda del DR 026 BRSJ en 36 años (52%) con una mediana de $545.5*10^6$ m^3 que es igual a la demanda, para el modelo 2 en 27 años (39%) y una mediana de las extracciones de $482*10^6$ m^3 de los 69 años simulados, ver Figura 4. Para el caso de la zonas de riego en el río Pesquería y arroyo Ayancual, tenemos que en ninguno de los años simulados se satisface la demanda (Figura 5); en cambio el abastecimiento a la ciudad de Monterrey se lleva a cabo en 50 años (72%) en el modelo 1 y en el modelo 2 en 47 (68%) de los 69 años de simulación (Figura 6).

Cuadro 6 Parámetros estadísticos de los resultados de los modelos de simulación

	DR026 (10^3)	Los Aldamas (10^3)	MRG-Ent. (10^3)	MRG Evap. (10^3)	MRG Almac. (10^3)	Rio Bravo (10^3)	Cuch. Evap. (10^3)	Cuch. Almac. (10^3)	Ac. Mty (10^3)	Ac. Aldamas (10^3)	Z.R.Sn.Juan (10^3)	ARMty (10^3)	DR 031 (10^3)	Z.R.Pesq Ayanc (10^3)
Modelo 1														
Media	449,953	595,244	561,659	65,310	277,746	76,975	84,280	641,784	75,418	4,863	33,586	47,306	22,405	114,108
Mediana	545,450	506,040	468,446	32,100	122,700	0	78,910	635,941	79,286	5,186	37,672	47,306	24,293	110,743
Desv-Std	132,705	368,007	364,341	68,427	302,932	212,489	60,011	349,752	8,414	696	7,716	0	3,789	30,595
Coef-Var	0.29	0.62	0.65	1.05	1.09	2.76	0.71	0.54	0.11	0.14	0.23	0.00	0.17	0.27
Máximo	545,450	1,923,920	1,886,136	206,153	994,700	1,080,290	181,259	1,123,000	79,391	5,193	37,791	47,306	25,097	208,124
Mínimo	112,225	176,139	155,346	727	28,610	0	546	108,663	47,257	2,469	10,446	47,306	8,528	59,488
Modelo 2														
Media	419,541	547,425	514,537	71,390	247,234	64,805	63,000	606,566	145,627	6,408	32,872	94,603	21,761	144,915
Mediana	481,738	471,636	433,918	38,320	101,290	0	52,610	548,341	157,870	7,076	37,650	94,603	24,252	142,003
Desv-Std	148,915	359,777	355,492	72,540	291,538	199,841	50,771	348,632	23,039	1,218	8,309	0	4,429	25,475
Coef-Var	0.35	0.66	0.69	1.01	1.18	3.08	0.81	0.57	0.16	0.19	0.25	0.00	0.20	0.18
Máximo	545,450	1,825,496	1,787,755	209,530	994,700	1,072,000	173,107	1,123,000	158,000	7,080	37,864	94,603	24,291	216,044
Mínimo	53,221	151,405	128,046	420	28,610	0	492	108,663	66,099	2,283	10,456	94,603	8,561	98,866
Modelo 3														
Media	474,099	657,130	622,198	88,762	360,333	92,442	88,167	662,108	76,064	4,922	34,927		22,770	
Mediana	545,450	559,770	522,199	88,334	252,210	0	87,976	686,141	79,262	5,184	37,595		24,293	
Desv-Std	118,204	387,104	384,579	73,012	322,156	240,547	58,901	345,823	7,931	653	6,037		3,613	
Coef-Var	0.25	0.59	0.62	0.82	0.89	2.60	0.67	0.52	0.10	0.13	0.17		0.1587	
Máximo	545,450	2,009,110	1,971,320	213,178	994,700	1,138,650	181,310	1,123,000	79,388	5,193	37,722		24,315	
Mínimo	143,217	217,802	196,584	631	28,610	0	631	108,663	47,617	2,471	13,133		8,559	
Modelo 4														
Media	444,916	593,212	559,362	68,284	286,766	74,858	81,022	624,762	146,540	6,465	33,850		21,929	
Mediana	545,450	495,981	458,391	35,738	134,010	0	75,997	619,841	157,870	7,076	37,588		24,248	
Desv-Std	139,617	374,431	371,069	69,264	307,521	215,316	59,337	349,019	22,353	1,176	6,774		4,340	
Coef-Var	0.31	0.63	0.66	1.01	1.07	2.88	0.73	0.56	0.15	0.18	0.20		0.1979	
Máximo	545,450	1,891,152	1,853,516	210,934	994,700	1,106,122	179,324	1,123,000	158,060	7,082	37,937		24,288	
Mínimo	70,246	163,753	150,612	1,164	28,610	0	581	108,663	73,988	2,746	13,133		8,562	

Modelo 5														
Media	385,664	571,016	535,425	82,161	343,138	102,426	104,831	738,489	77,839	5,064	35,594	47,306	23,354	114,108
Mediana	436,780	433,092	395,427	53,082	192,710	0	112,203	821,841	79,287	5,186	37,654	47,306	24,290	110,743
Desv-Std	80,789	376,507	374,775	72,566	321,692	244,512	60,558	339,324	4,330	359	5,904	0	2,864	30,595
Coef-Var	0.21	0.66	0.70	0.88	0.94	2.39	0.58	0.46	0.06	0.07	0.17	0.00	0.12	0.27
Máximo	436,780	1,974,588	1,937,793	209,280	994,700	1,099,767	185,510	1,123,000	79,376	5,192	37,755	47,306	24,314	208,124
Mínimo	134,070	179,810	165,765	1,232	28,610	0	2,394	108,663	61,245	3,690	14,038	47,306	11,625	59,488
Modelo 6														
Media	370,589	544,939	510,913	85,232	350,020	79,039	80,900	622,555	147,450	6,457	34,004	94,603	22,242	144,915
Mediana	436,780	445,290	407,544	76,191	224,010	0	73,455	612,141	157,680	6,975	37,662	94,603	24,282	142,003
Desv-Std	103,239	360,912	357,677	72,700	322,916	225,816	57,649	343,516	21,342	1,079	7,208	0	4,144	25,475
Coef-Var	0.28	0.66	0.70	0.85	0.92	2.86	0.71	0.55	0.14	0.17	0.21	0.00	0.19	0.18
Máximo	436,780	1,852,981	1,815,113	210,294	994,700	1,090,760	180,242	1,123,000	157,680	7,014	37,816	94,603	24,323	216,044
Mínimo	102,862	151,375	129,035	917	28,610	0	671	108,663	79,161	3,113	10,446	94,603	8,565	98,866
Modelo 7														
Media	406,220	633,517	597,287	107,776	445,279	121,812	108,578	758,368	78,078	5,086	36,222		23,514	
Mediana	436,780	494,655	457,063	107,089	381,310	0	120,368	851,241	79,256	5,184	37,606		24,290	
Desv-Std	65,033	396,866	395,727	75,891	348,896	280,098	58,282	326,487	3,575	291	4,220		2,371	
Coef-Var	0.16	0.63	0.66	0.70	0.78	2.30	0.54	0.43	0.05	0.06	0.12		0.10	
Máximo	436,780	2,069,754	2,031,918	214,823	994,700	1,174,450	185,580	1,123,000	79,322	5,188	37,723		24,309	
Mínimo	153,381	211,374	189,684	1,905	28,610	0	3,079	108,663	62,264	4,027	20,418		14,741	
Modelo 8														
Media	380,221	568,469	533,114	85,223	351,422	101,531	99,677	711,359	151,410	6,726	35,371		22,817	
Mediana	436,780	427,827	390,153	84,002	206,810	0	105,271	775,741	157,840	7,076	37,601		24,221	
Desv-Std	91,683	384,029	382,140	73,251	323,173	248,403	61,218	347,120	17,761	943	5,841		3,748	
Coef-Var	0.24	0.68	0.72	0.86	0.92	2.45	0.61	0.49	0.12	0.14	0.17		0.16	
Máximo	436,780	1,942,899	1,905,225	211,665	994,700	1,141,129	184,903	1,123,000	158,080	7,084	37,748		24,287	
Mínimo	114,197	179,735	158,603	1,255	28,610	0	1,065	108,663	79,211	3,116	13,164		8,613	

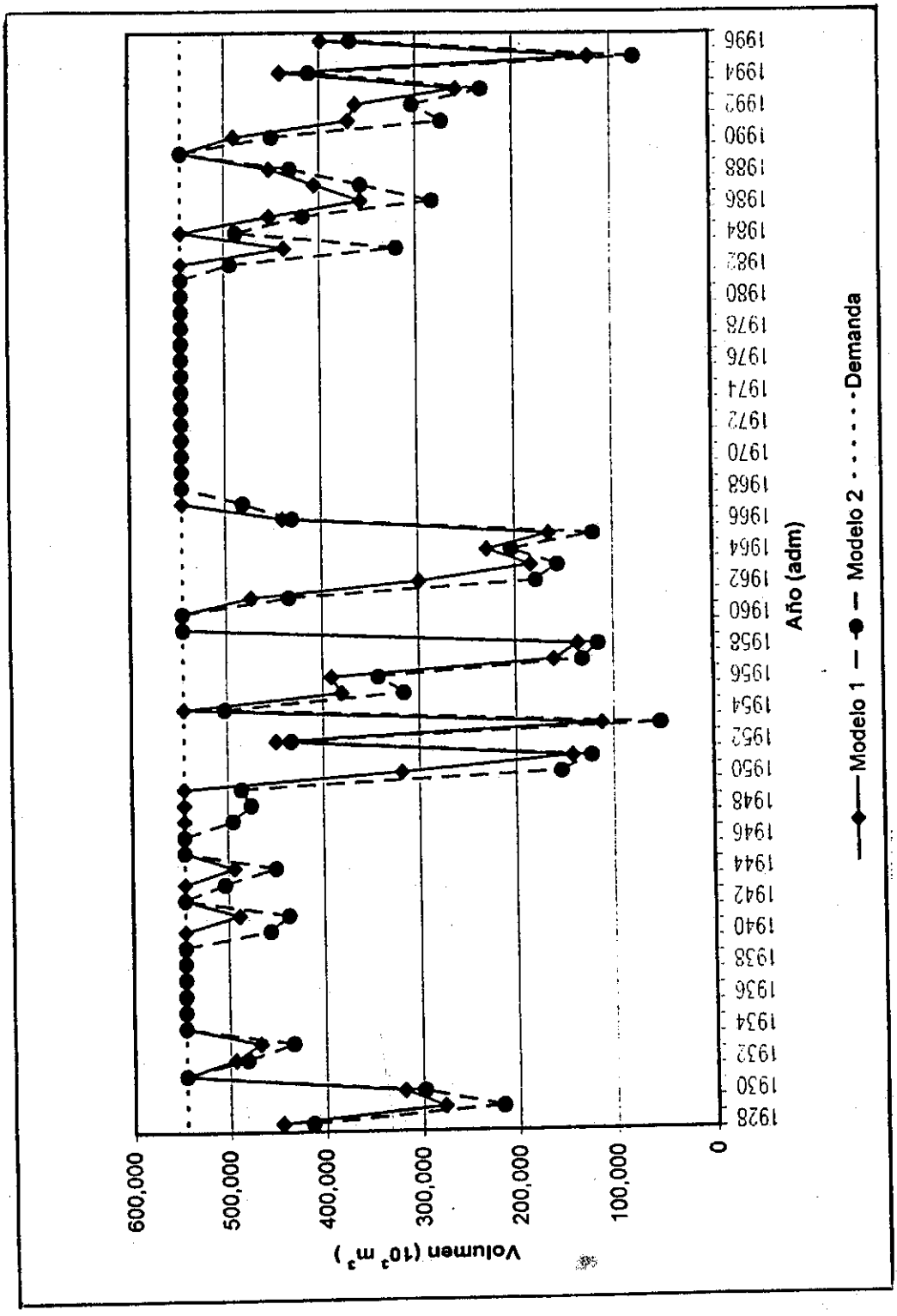

Figura 4 Extracciones para el DR 026 BRSJ, modelos 1 y 2

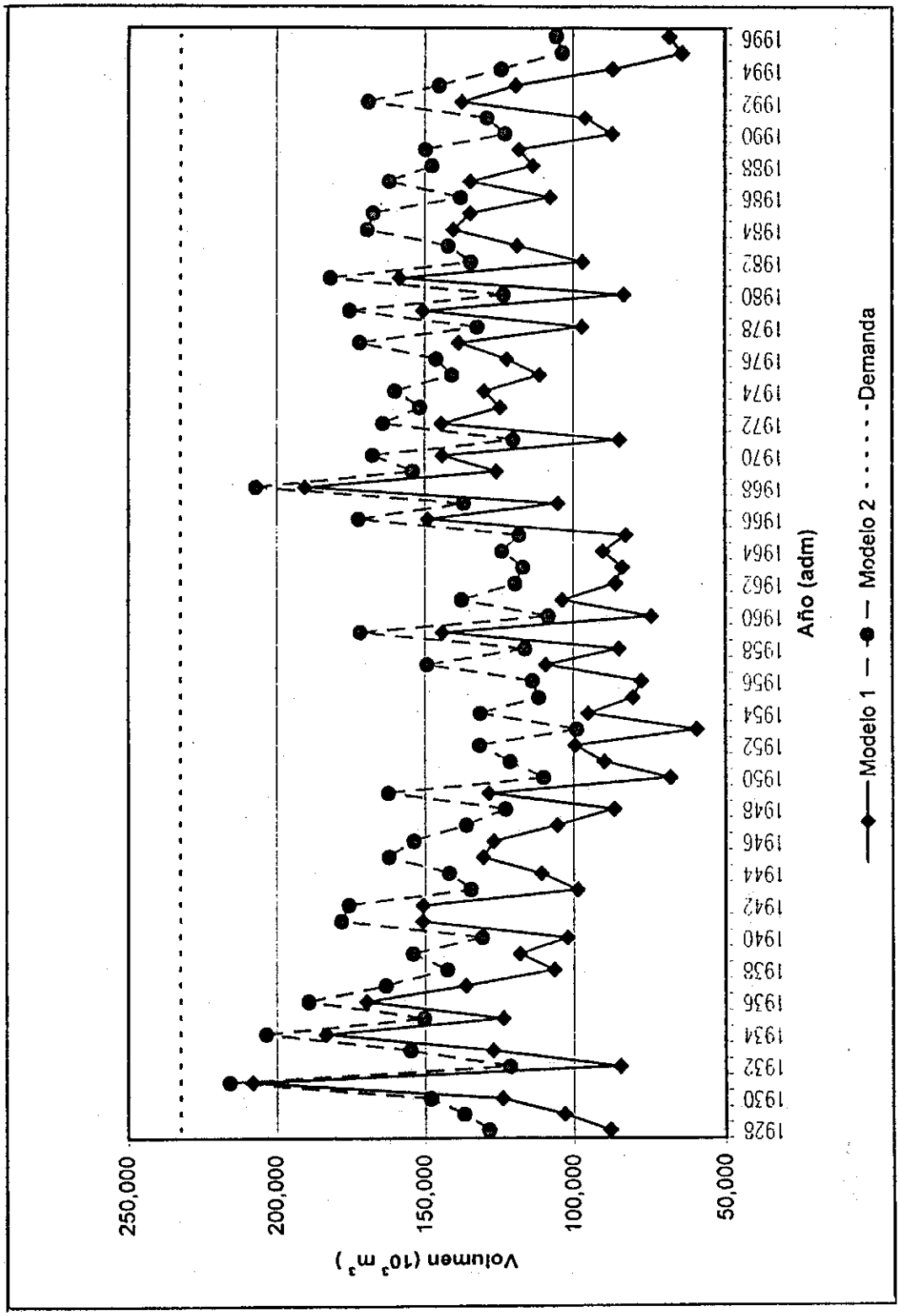

Figura 5 Extracciones para las unidades de riego del río Pesquería y arroyo Ayancual, modelos 1 y 2

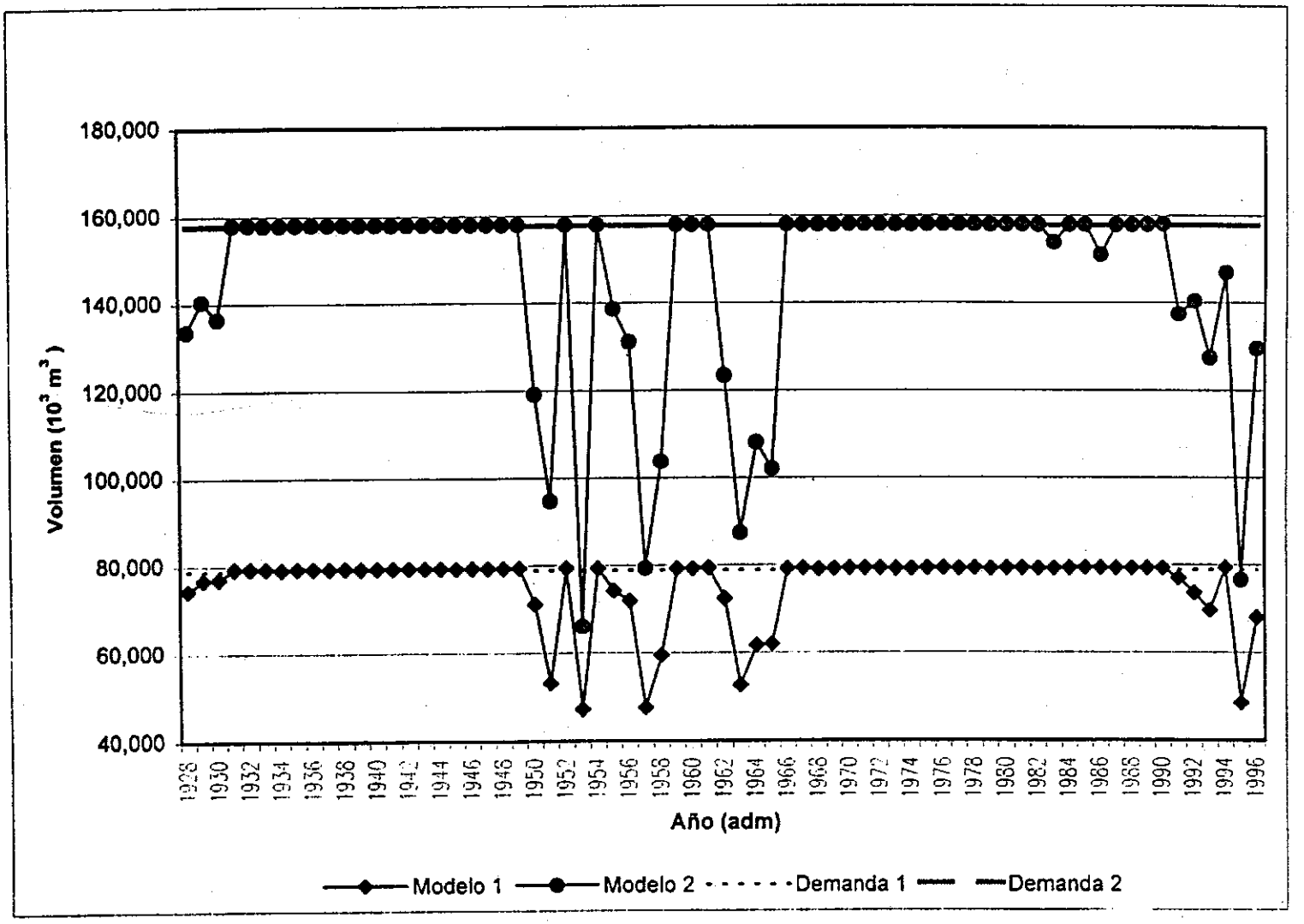

Figura 6 Extracciones para la ciudad de Monterrey, modelos 1 y 2

El almacenamiento final en la presa SEC de acuerdo a la mediana, es de $636*10^6$ m^3 y $548*10^6$ m^3 para ambos modelos respectivamente, ver Figura 7.

Analizando los modelos 5 y 6 los cuales son idénticos a los modelos 1 y 2, unicamente lo que varia en ambos es la demanda para el DR 026 BRSJ, ya que para los modelos 1 y 2 es en base a la demanda optimizada para una situación hidrolbgica antes de la construcción de la presa SEC y para el 5 y 6 esta basada en la situación hidrológica para después de la presa SEC, también en base a una demanda optimizada; tenemos que para el modelo 5 se satisface la demanda en 40 aiios (58%) y para el modelo 6 en 41 aiios (59%) con una mediana de $437*10^6$ m^3 que es igual a la demanda, como se puede observar en la figura 8. De igual manera que los modelos anteriores, no se satisface la demanda en ningún año de las zonas de riego del rio Pesquerfa y arroyo Ayancual, la mediana de las extracciones para los modelos 5 y 6 es de 111 y $142*10^6$ m^3, ver figura 9.

Respecto a los volúmenes extraidos para la ciudad de Monterrey, tenemos que de acuerdo al modelo de simulación, de los 69 aiios simulados en 62 (90%) y 50 (72%) aiios se cubren las demandas para los modelos 5 y 6 respectivamente, con una mediana igual al valor de la demanda (79 y $158*10^6$ m^3 respectivamente), como se puede observar en la figura 10. En cuanto a los almacenamientos finales en la presa SEC, tenemos que esta se llena a su capacidad máxima (Nivel de aguas máximas ordinarias) en 16 y 8 años, para ambos modelos respectivamente y se vacia completamente (Nivel de aguas mínimas) en 1 y 4 ocasiones respectivamente. La mediana del almacenamiento es de 822 y $612*10^6$ m^3 para ambos modelos, ver figura 11. Cabe destacar que la diferiencia de la demanda entre los modelos 1 y 2 con los modelos 5 y 6 es de $109*10^6$ m^3.

En los modelos 3 y 4, a los cuales se les ha eliminado la demanda por las unidades de riego del río Pesqueria y arroyo Ayancual, tenemos que en 43 y 37 aiios (62 y 54% de los aiios respectivamente) se cubre la demanda para el DR 026 BRSJ, con una mediana de $545*10^6$ m^3 en ambos modelos, igual a la demanda, como se puede observar en la figura 12. Cabe destacar que en estos modelos se tiene una mayor disponibilidad de volumen ya que se ha eliminado la demanda de dichas unidades de riego.

El abastecimiento a la ciudad de Monterrey se asegura en 55 y 49 aiios (80 y 71% de los aiios respectivamente) de los 69 simulados; la mediana es igual a la demanda (79 y $158*10^6$ m^3), ver figura 13. El almacenamiento en la presa SEC presenta una mediana de 686 y $620*10^6$ m^3 para los modelos 3 y 4 respectivamente; la presa se llena en 11 y 10 aiios al nivel de aguas máximas ordinarias y en 2 y 4 aiios se vacia al nivel de aguas mínimo para ambos modelos, 3 y 4 respectivamente, ver figura 14.

Los dos últimos modelos (7 y 8) como se puede observar en el cuadro 4, son los modelos con el menor volumen demandado, esto implica que se satisfacen en mayor número las demandas; por ejemplo, para el caso de el DR 026 BRSJ se tiene que el modelo de simulación cubre en 52 y 42 aiios (75 y 61% de los años) de los 69 aiios simulados, las

demandas para dicho distrito de riego, con una mediana de las extracciones de $437*10^6$ m^3 para ambos modelos respectivamente y que es igual al volumen demandado (ver figura **15).**

El abastecimiento a la ciudad de Monterrey se asegura en el 90 y 84% de los años con una mediana igual a la demanda (79 y $158*10^6$ m^3 para los modelos 7 y 8 respectivamente) en ambos modelos como se observa en la figura 16. La presa SEC se llena en 18 y 14 años de los simulados (26 y 20%) al Nivel de aguas máximas ordinarias y llega al nivel de aguas mínimo en 1 y 2 ocasiones para ambos modelos respectivamente en los 69 años de simulación (ver figura 17).

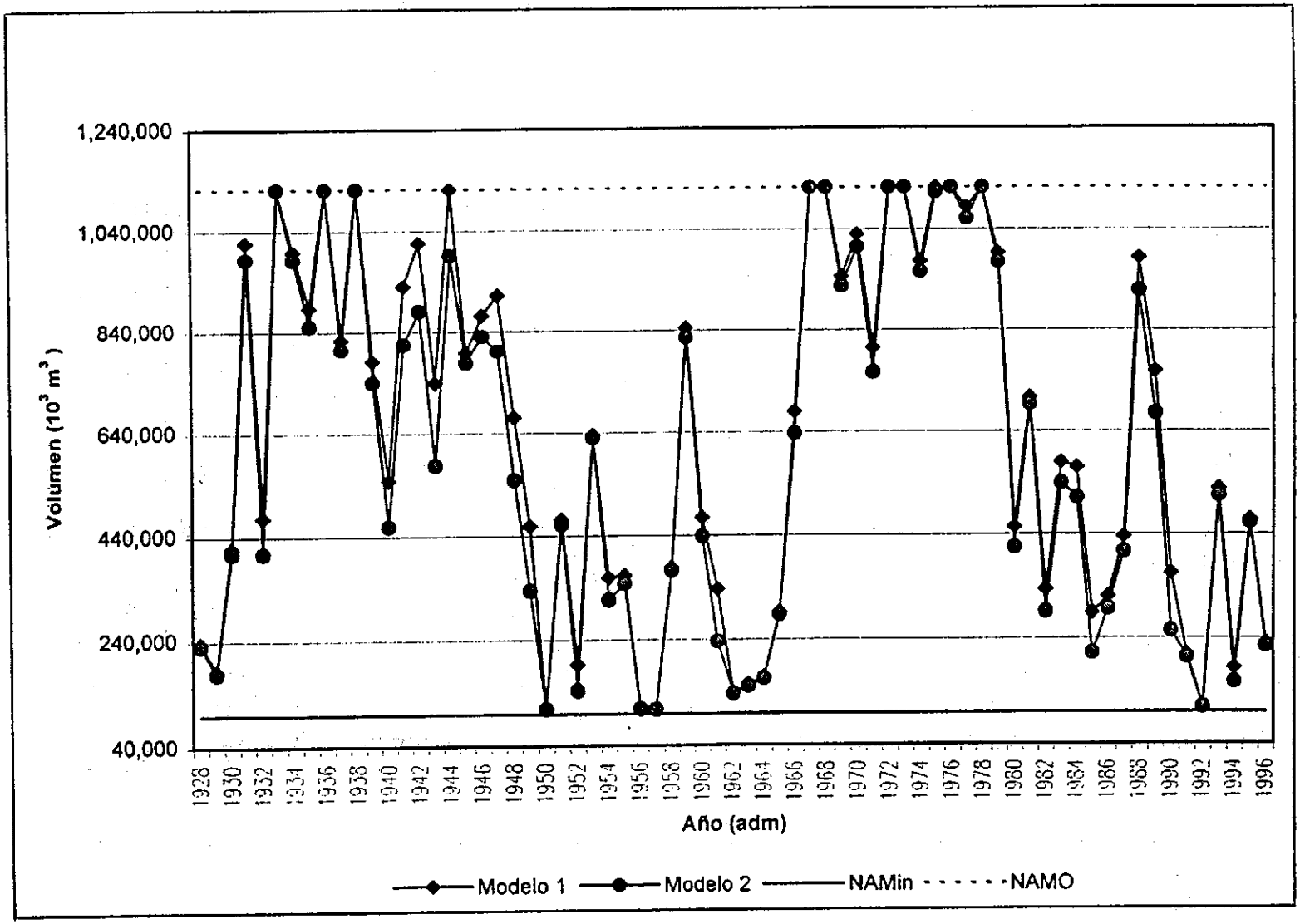

Figura 7 Almacenamientos finales en la presa SEC, modelos 1 y 2

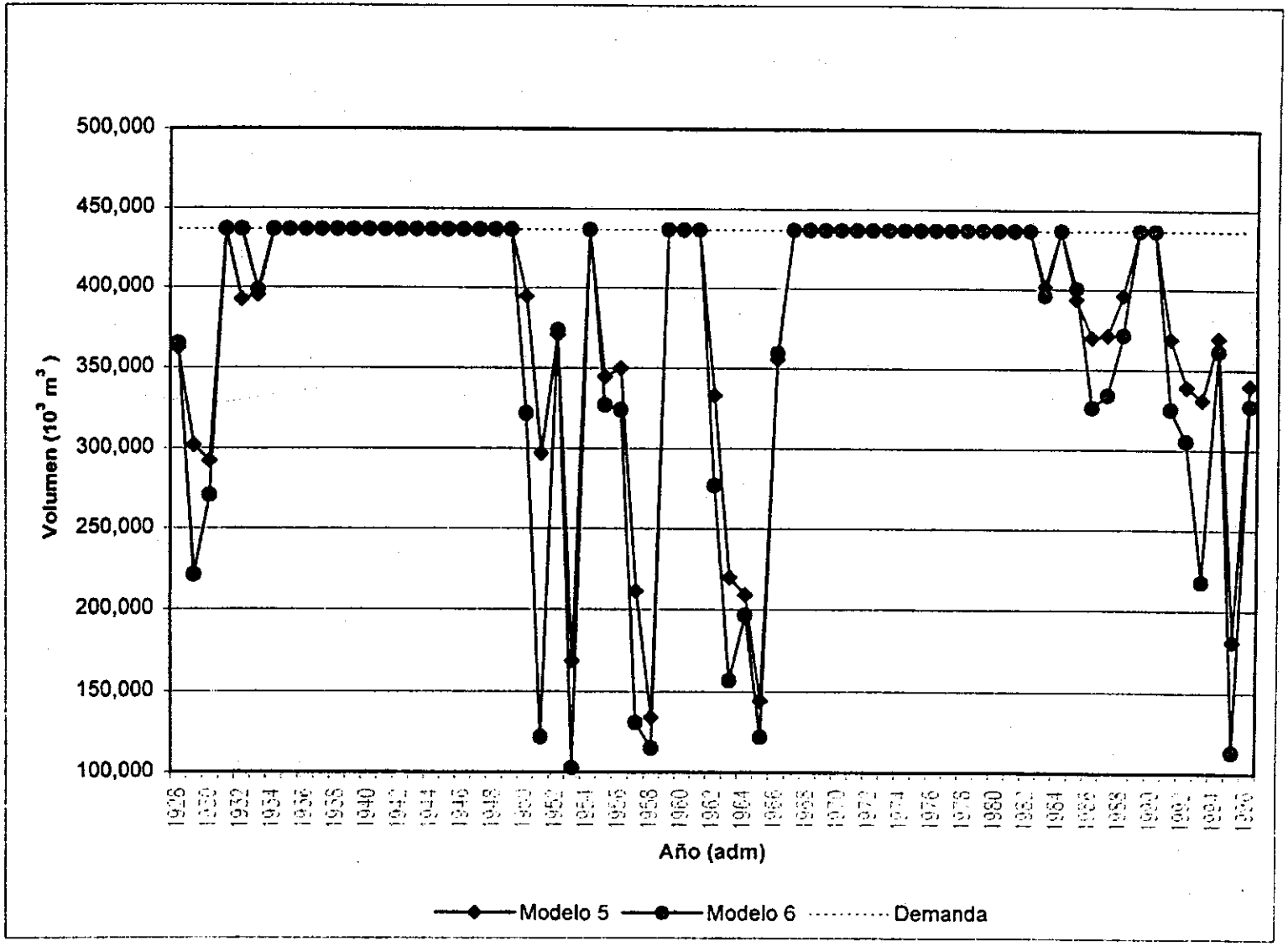

Figura 8 Extracciones para el DR 026 BRSJ, modelos 5 y 6

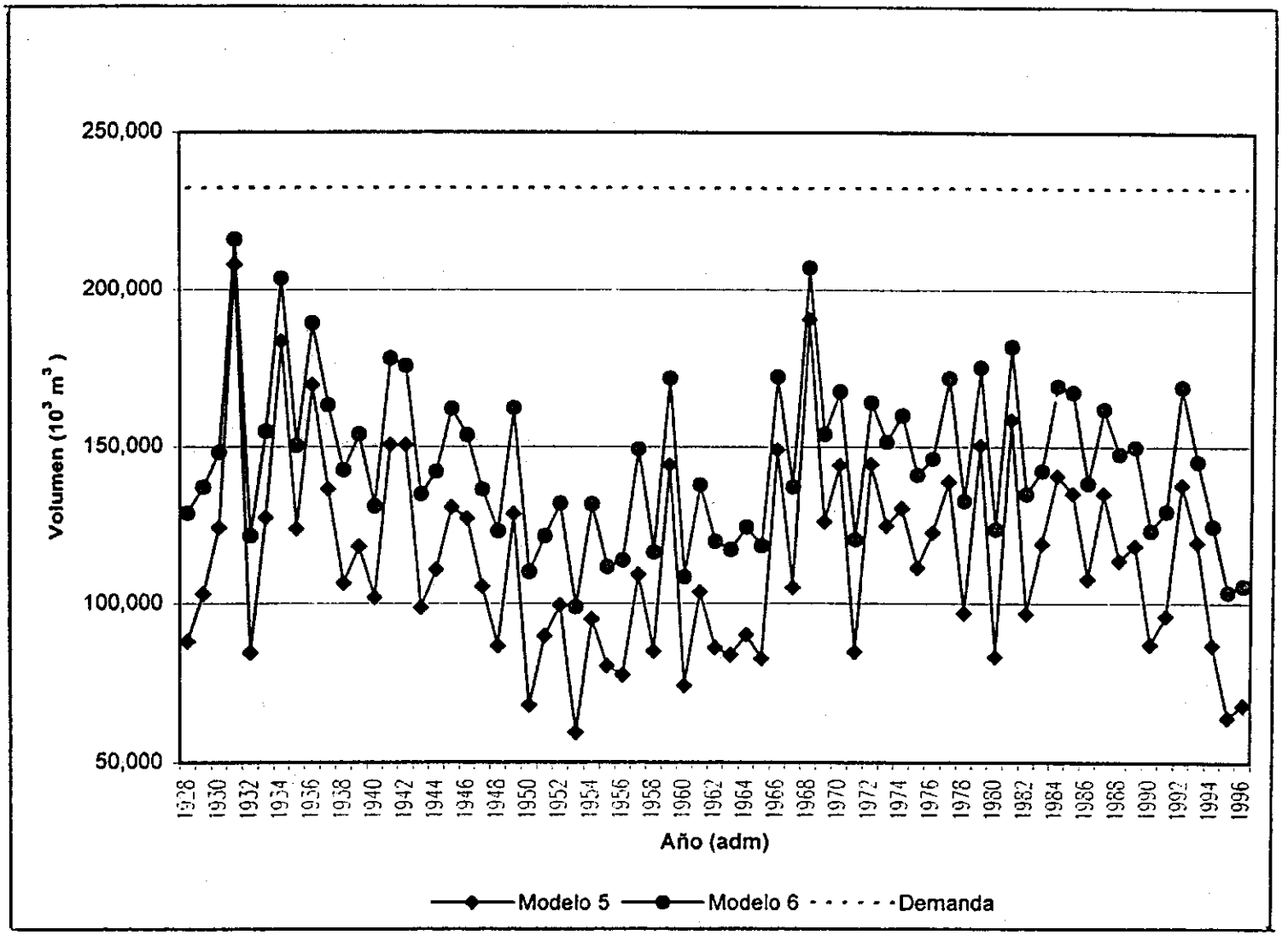

Figura 9 Extracciones para las unidades de riego del río Pesquería y arroyo Ayancual, modelos 5 y 6

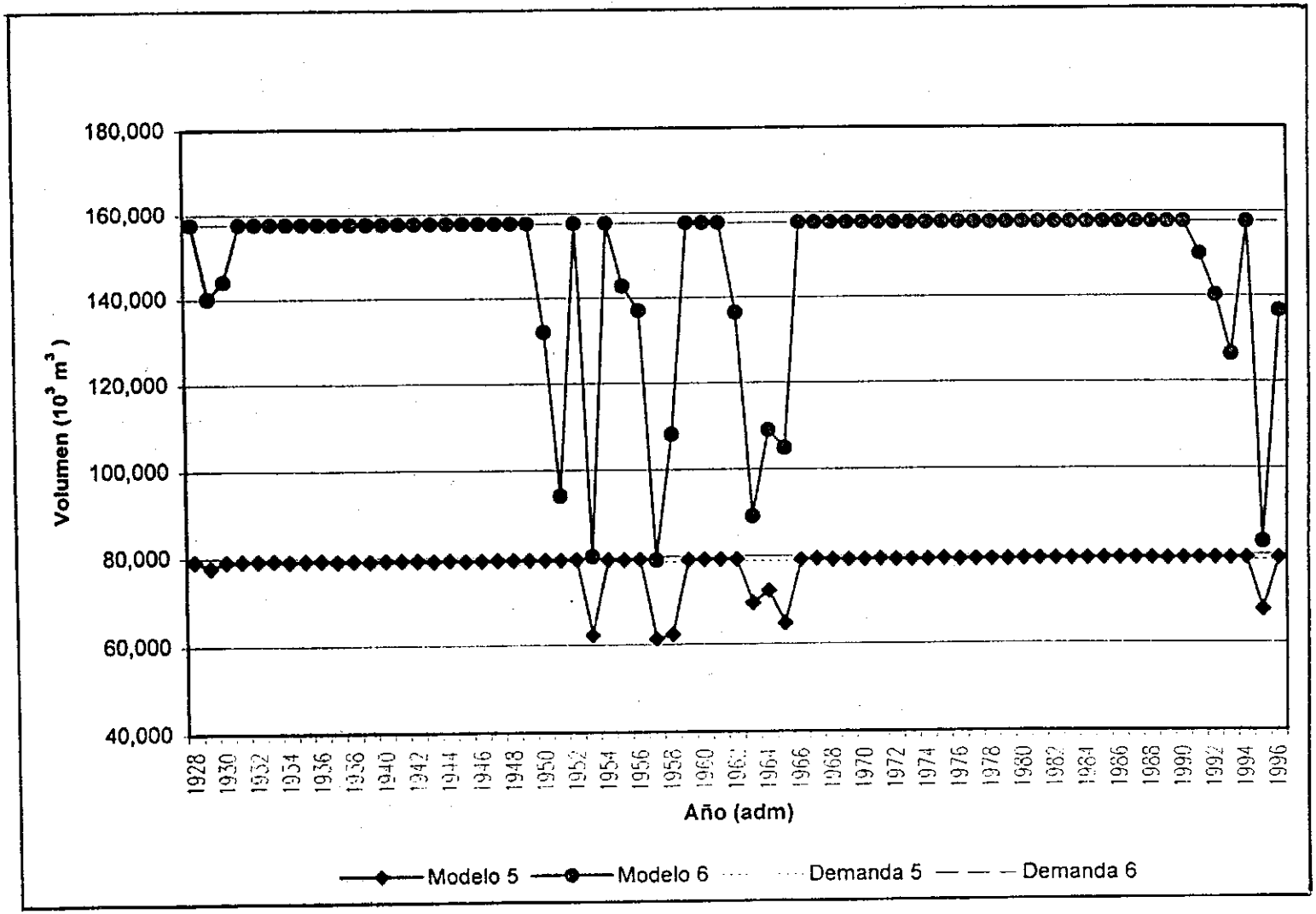

Figura 10 Extracciones para la ciudad de Monterrey, modelos 5 y 6

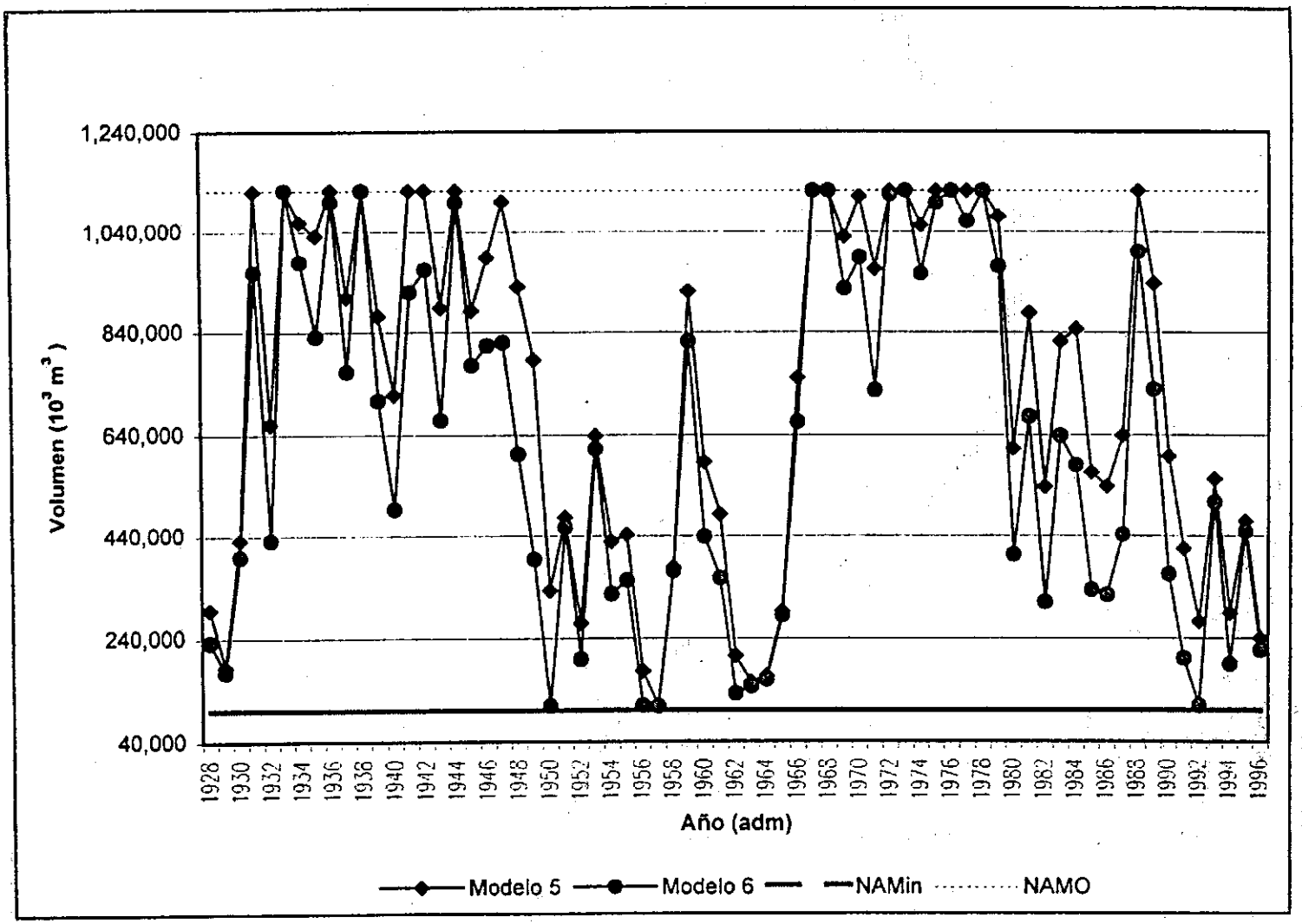

Figura 11 Almacenamientos finales en la presa SEC, modelos 5 y 6

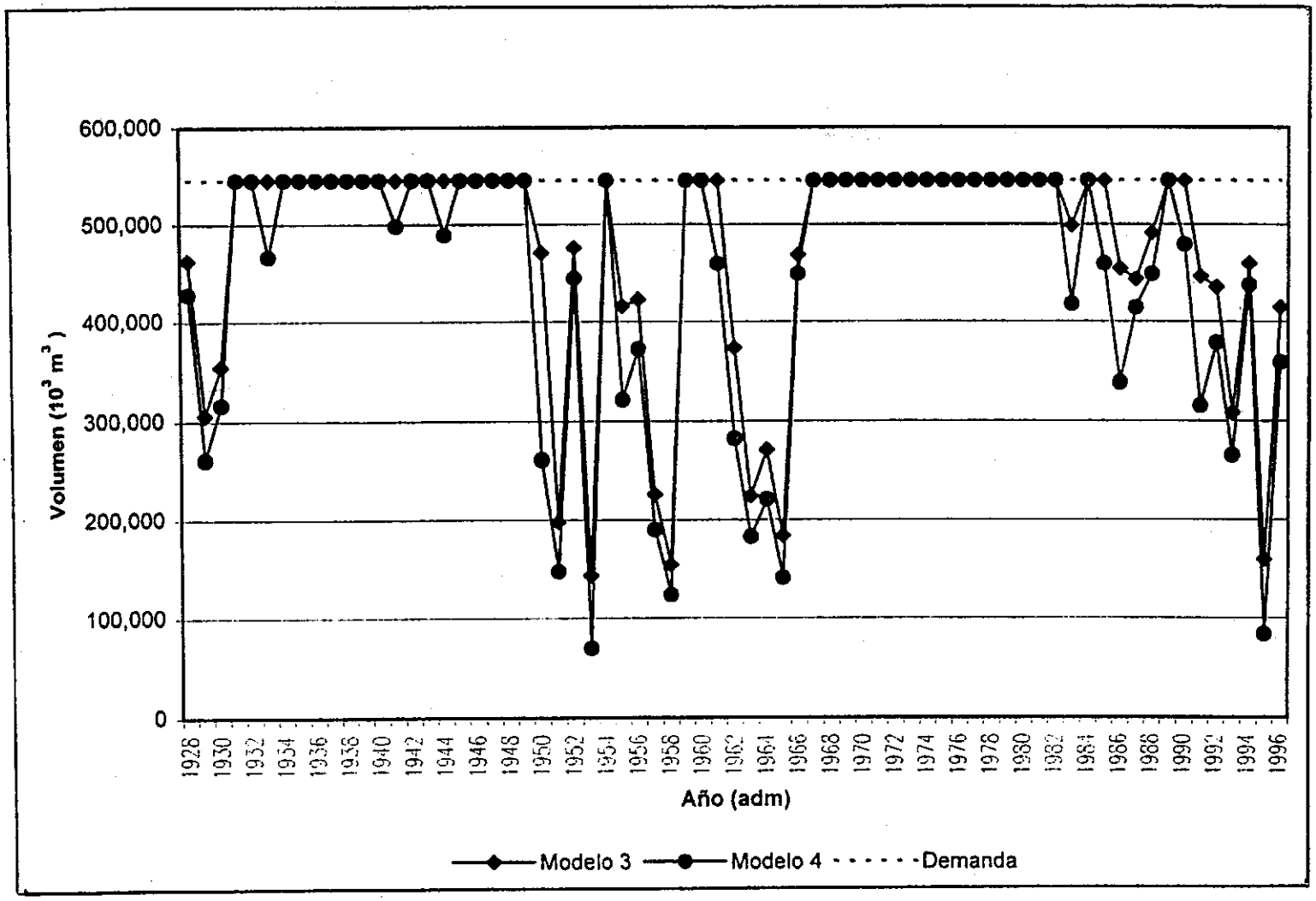

Figura 12 Extracciones para el DR 026 BRSJ, modelos 3 y 4

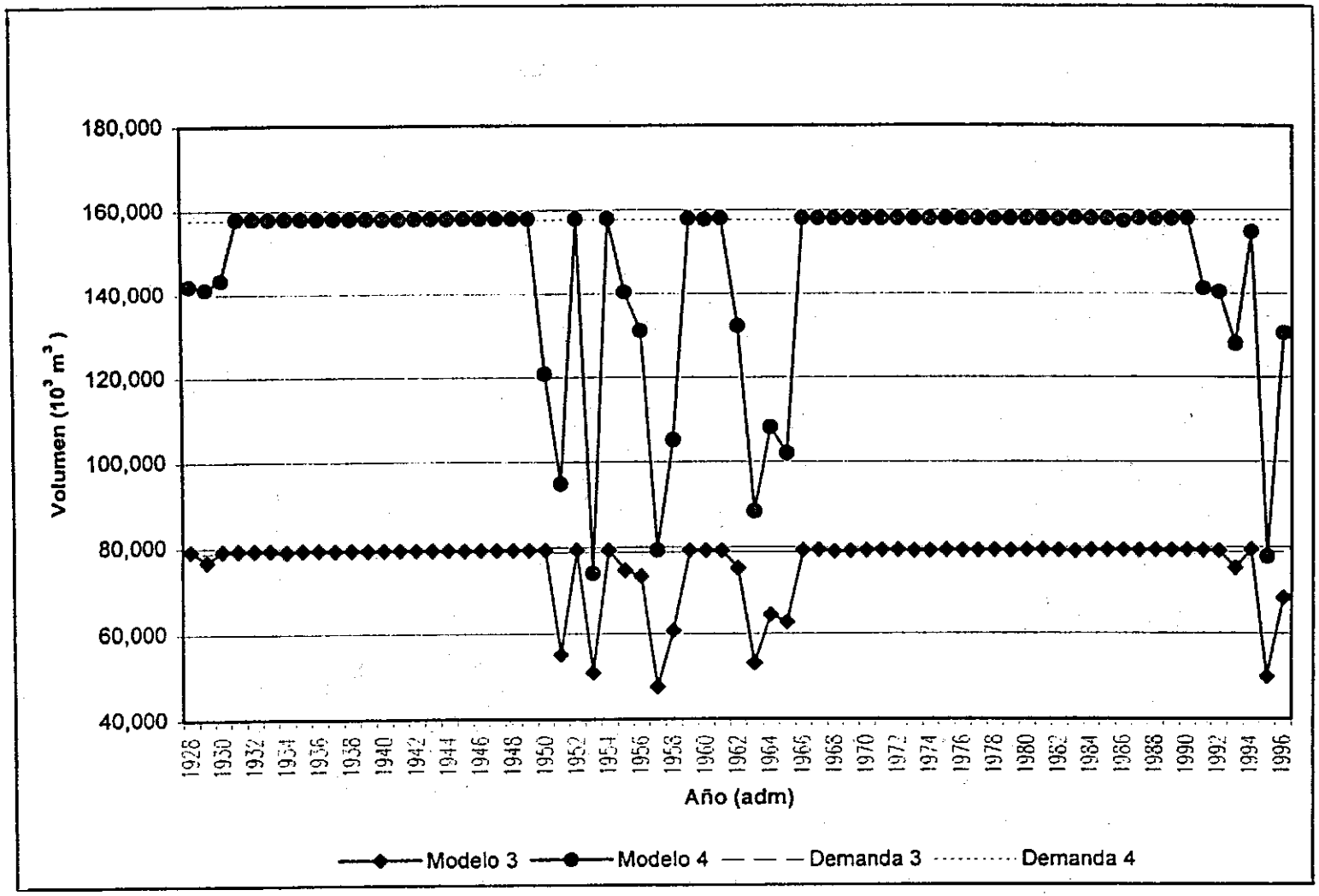

Figura 13 Extracciones para la ciudad de Monterrey, modelos 3 y 4

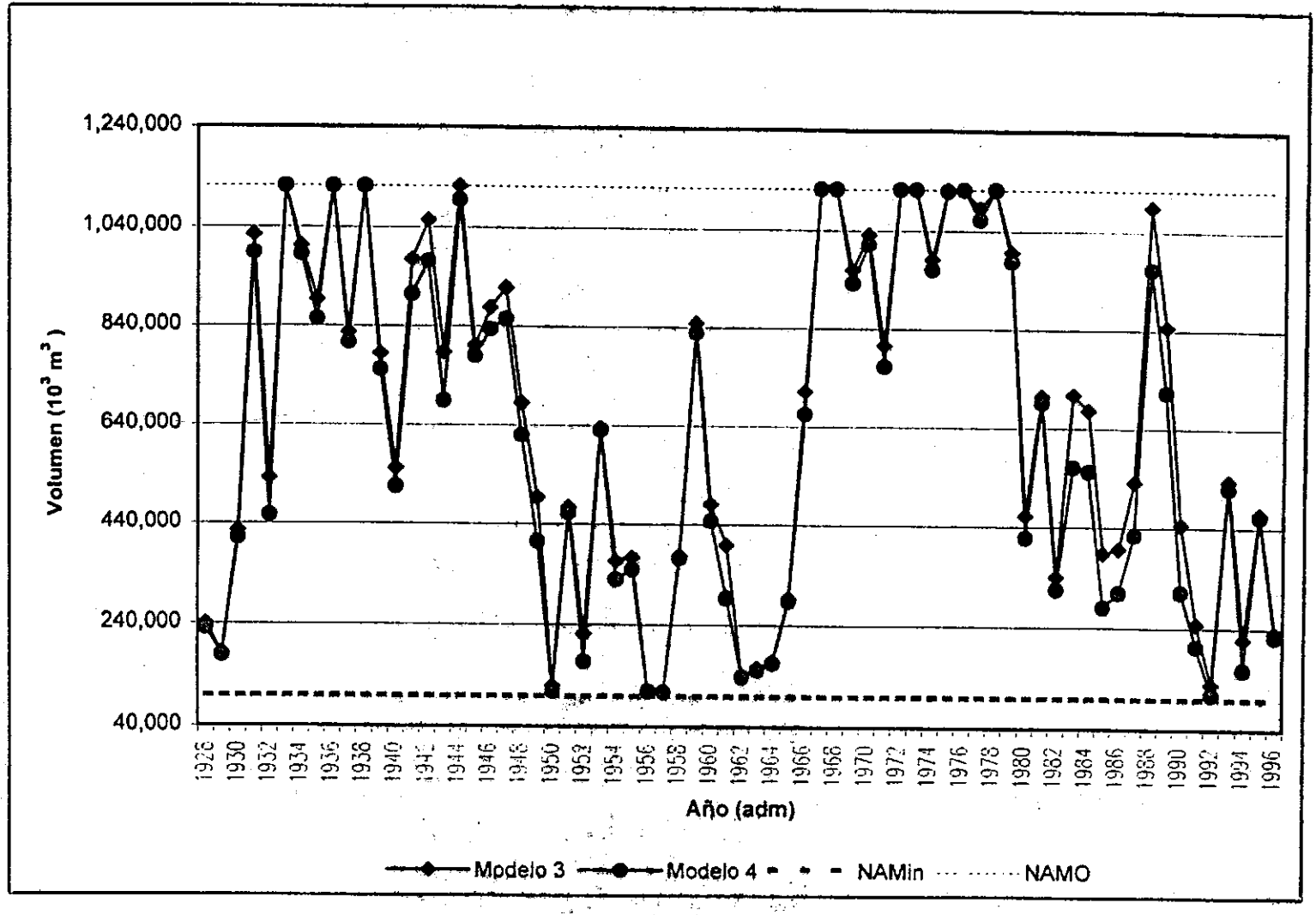

Figura 14 Almacenamientos finales en la presa SEC, modelos 3 y 4

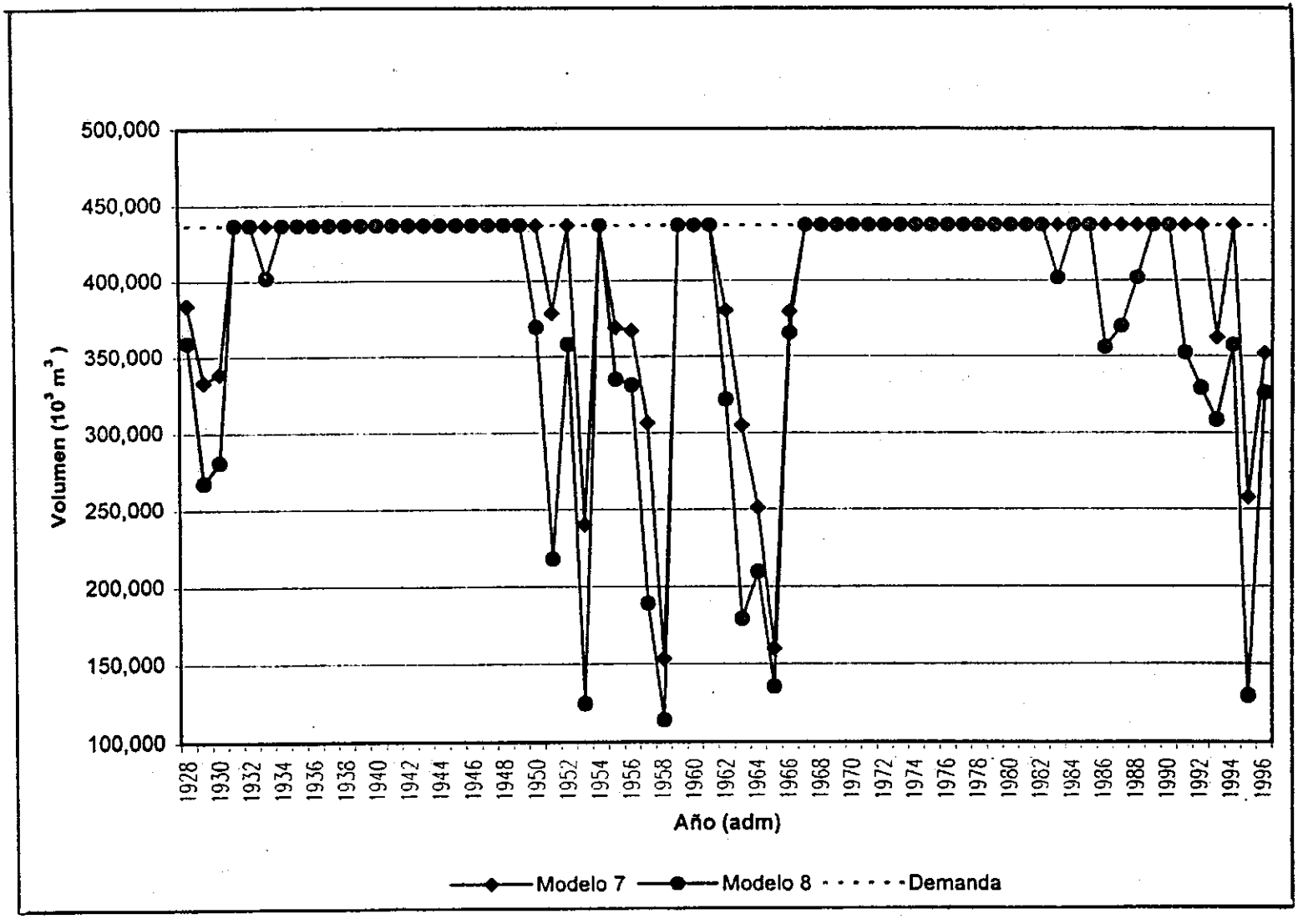

Figura 15 Extracciones para el DR 026 BRSJ, modelos 7 y 8

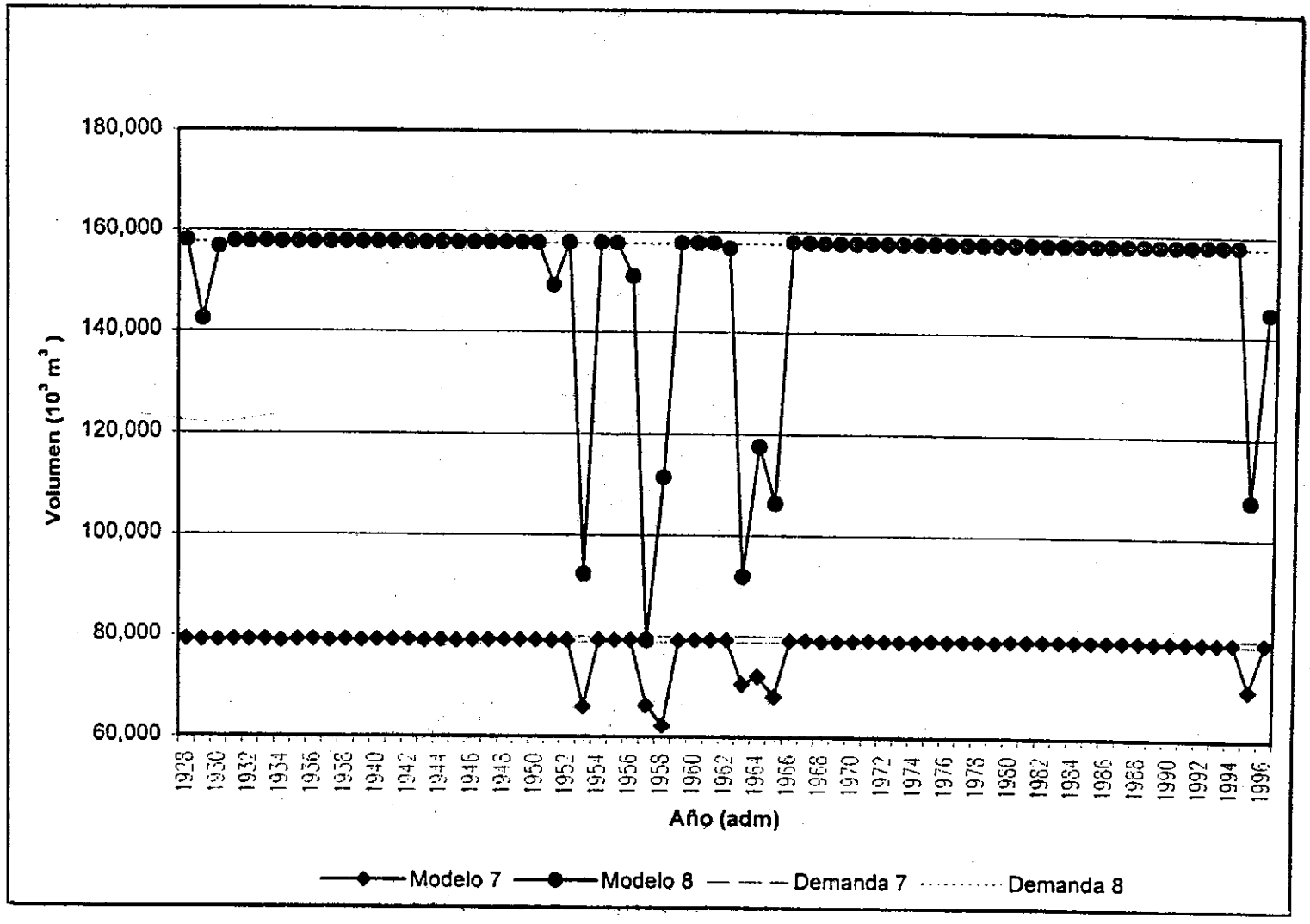

Figura 16 Extracciones para la ciudad de Monterrey, modelos 7 y 8

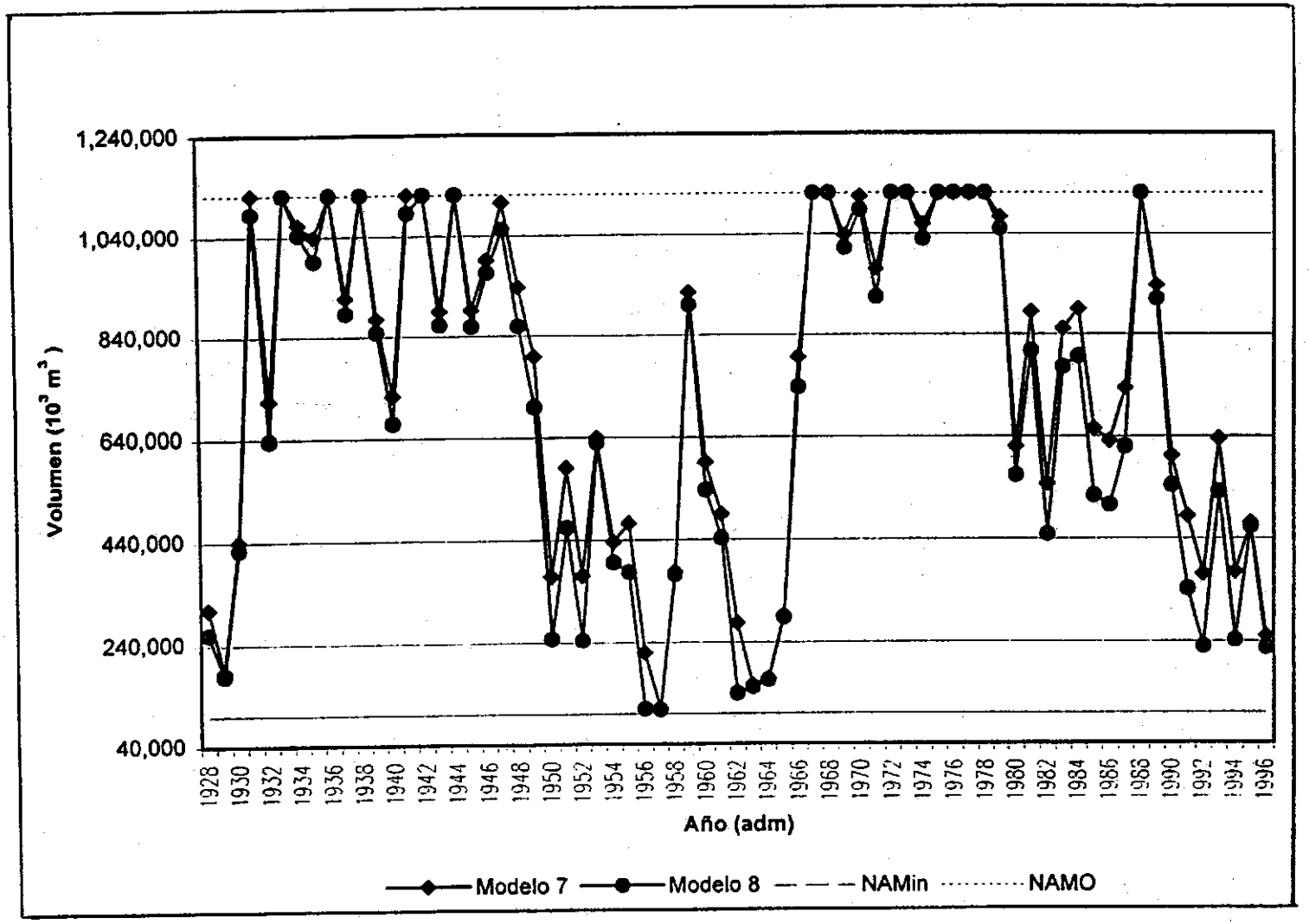

Figura 17 Almacenamientos finales en la presa SEC, modelos 7 y 8

Resumiendo los resultados presentados, tenemos que el abastecimiento a la ciudad de Monterrey se realiza en un **72** y **68%** de los aiios para los modelos 1 y **2** respectivamente; siendo estos modelos los de mayor volumen demandado con una demanda total en todo el sistema hidrológico del río San Juan de **923** y **1004*10^6 m^3** anuales. Para el caso de los modelos **7** y 8 los cuales presentan la menor demanda de volumen, se tiene que en el **90** y **84%** de los aiios respectivamente se satisface la demanda a la ciudad de Monterrey; la demanda del sistema es de **582** y **663*10^6 m^3** anuales. Con respecto al acueducto Aldamas en todos los modelos hay una tendencia muy bien definida; en los primeros **4** aiios **(1927-30)** de la **simulación,** no se satisface la demanda por completo, aunque cabe señalar que dicha demanda es cubierta en un 80% en el aiio más crítico de los primeros **4.** Una segunda etapa crítica en el abastecimiento se observa entre los años **1950** y **1968** de la simulación; en este período hay aiios en los cuales las extracciones son muy bajas y otros en los cuales la demanda se satisface al 100% y por último un tercer período en donde tambitn hay problemas en el suministro el cual corresponde a los últimos **5** aiios de la simulación. En los restantes aiios se satisface la demanda por completo.

El impacto de las extracciones en la presa SEC para la ciudad de Monterrey sobre el DR **026** BRSJ se observa muy bien en la satisfacción de las demandas del DR **026** BRSJ, ya que para los modelos 1 y **2** la demanda es satisfecha en el **52** y **39%** de los aiios y en los modelos **7** y **8** se satisface la demanda en el 75 y **61%** de los aiios. La demanda de los modelos 1 y **2** es de **545*10^6 m^3** anuales y de los modelos **7** y **8** es de **437*10^6** m^3 anuales. El DR **031 LJ** y las unidades de riego que hay en las márgenes del río San Juan, cerca de el vaso de la presa MRG, tienen el mismo comportamiento de dtficit que presenta el acueducto Aldamas; presentindose los mismo tres periodos en los cuales no se asegura el abastecimiento a las fuentes de demanda.

Si se consideran los modelos 1, 2, 5 y **6** los cuales contemplan a las unidades de riego del rio Pesquería y arroyo Ayancual como una fuente de demanda la cual hay que satisfacer, tenemos que los resultados de las simulaciones arrojan, que dichas demandas no pueden ser satisfechas en ninguno de los aiios de cada uno de los modelos, aún asegurando que retorna el 60% del volumen extraido en la presa SEC hacia la presa MRG. En los modelos **3, 4, 7** y **8** no se tiene a dichas unidades de riego como una fuente de demanda y se supone que en estos modelos, dichas unidades extraen sus volúmenes demandados; por lo que se considera que son satisfechas las demandas de estas. Cabría destacar que estos modelos se les ha considerado que son los más realistas, ya que dadas las condiciones actuales en las cuales funciona el sistema del rio San Juan, dichos modelos simulan de una mejor manera, la forma en la cual se esta operando el sistema.

Con respecto a los almacenamientos en la presa MRG, para el modelo **2** que presenta la mayor demanda, tenemos que en el **6%** de los años la presa se llena completamente y en el **17%** de los aiios se seca con una mediana del almacenamiento de 101*10^6 m^3, ver figura 18.

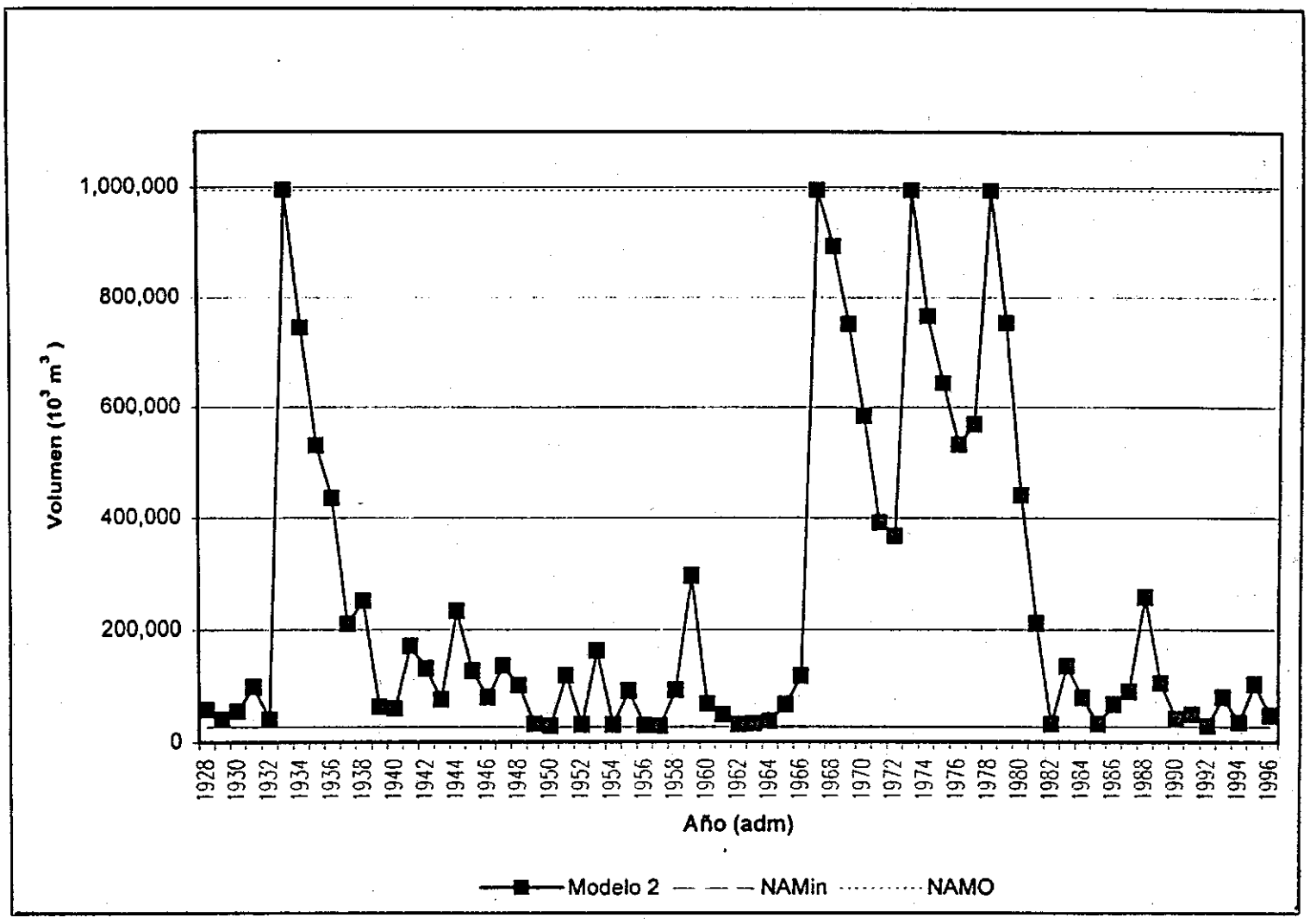

Figura 18 Almacenamientos finales en la presa MRG, modelo 2

Para el modelo 7 el cual tiene la menor demanda de los ocho modelos tenemos que en el 9% de los aiios se llena la presa MRG y en el 12% de los aiios se seca, con una mediana de $381*10^6$ m^3 ver figura 19; estos modelos son los de mayor y menor volumen demandado respectivamente.

Un aspecto muy importante del sistema hidráulico del rio San Juan que no hemos mencionado, son las evaporaciones en ambas presas, ya que dadas las condiciones climatológicas de la zona y sobre todo la morfologia de las presas cobra gran importancia en el sistema, principalmente en la presa SEC, la cual es como un gran plato extendido con una gran superficie inundada y poca profundidad. Considerando a los modelos 2 y 7 los cuales son los extremos en cuanto a demandas totales, tenemos que para la presa MRG la mediana de las evaporaciones es de 38 y $107*10^6$ m^3 (equivalentes al 7 y 25% de las demandas del DR 026 BRSJ) para ambos modelos respectivamente; para la presa SEC la mediana de las evaporaciones es de 53 y $120*10^6$ m^3 (equivalentes al 32 y 143% de las demandas para la ciudad de Monterrey y el acueducto Aldamas) también para ambos modelos 2 y 7 respectivamente. Como se puede observar, dichos volúmenes son considerables, principalmente en el modelo 7 para la presa SEC, donde las evaporaciones son mayores en un 43% a las extracciones. Los parámetros estadisticos se pueden consultar en el cuadro 4.

Es conveniente mencionar que para el nodo representado por el DR 026 BRSJ, el volumen aportado para satisfacer la demanda de este, se realiza en un 50% por la presa El Cuchillo y el otro 50% la realiza la presa MRG, esto fundamentado en el análisis estadistico de las aportaciones realizado anteriormente, en el cual la estación El Cuchillo contribuye con el 77% y Los Herreras con el restante 23% al volumen que llegaba a la presa MRG, para antes de la construcción de la presa SEC.

Se considera que un índice de referencia para el suministro del recurso agua a las fuentes de demanda, es el que considera que para un año cualquiera, este es satisfactorio, si de cada 12 meses se satisface la demanda en 11.

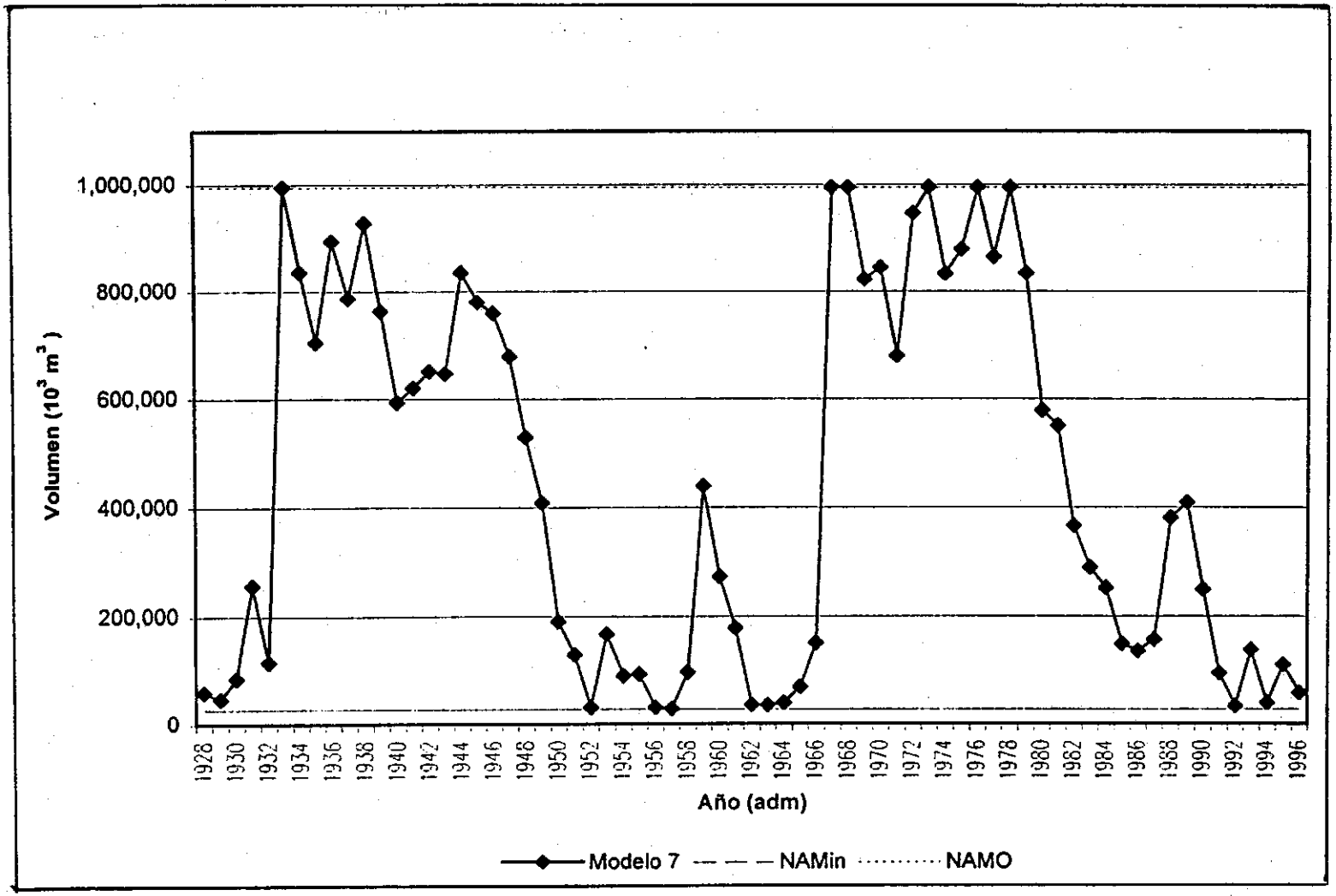

Figura 19 Almacenamientos finales en la presa MRG, modelo 7

CONCLUSIONES

De acuerdo a las diferentes simulaciones realizadas. se tiene que en ninguna de estas simulaciones, se asegura el suministro de agua por completo a la ciudad de Monterrey y su zona conurbada, así como, las poblaciones ribereñas del río San Juan que se abastecen por el acueducto Aldamas. Considerando el modelo 7, el cual presenta la menor demanda da como resultados. que de cada 10 años, 9 son satisfechos, con el supuesto que el acueducto a Monterrey opere con un caudal de extracción de *2.5* m^3/s; siendo este, el caudal de operación actual. Si llegara el caudal de extracción a *5* m^3/s; y con la misma demanda se considera que 8 años son satisfechos de cada 10. Esta incertidumbre para satisfacer las necesidades de las fuentes de demanda en la presa SEC, es debida, en gran medida a la aleatoriedad de las aportaciones como se ha podido mostrar, ya que dichas aportaciones se presentan en algunos años con una gran abundancia y en otros afios son muy escasas.

Como se ha podido observar en las diferentes simulaciones, la presa SEC tiene un impacto negativo en el DR *026* BRSJ al retener voldmenes de agua considerables, para abastecer a la ciudad de Monterrey y su zona conurbada; ya que dichos volúmenes son necesarios en la presa MRG para satisfacer la demanda del DR *026* BRSJ. Si se considera el modelo *2* el cual presenta la mayor demanda de las simulaciones realizadas; tenemos que de cada 10 afios solamente en *4* se asegura el abastecimiento al distrito y considerando al modelo 7 cuya demanda es la menor, se asegura el abastecimiento de la demanda en 7 aiios de cada 10. Esta incertidumbre para satisfacer la demanda del DR *026* BRSJ también es debida en gran medida a la aleatoriedad de las aportaciones como se ha podido mostrar, aunque para este caso, tiene gran influencia la presa SEC como se mencionó anteriormente. Debido a la reducción de los voldmenes disponibles para el DR 026 BRSJ, esto se traduce en una reducción de la superficie sembrada menor a las *56,500* ha, que sugiere el modelo de optimización para el escenario después de la construcción de la presa SEC, y con esto, aumentar la confiabilidad de que se satisfacerá la demanda del distrito de riego.

Con respecto a las unidades de riego del río Pesqueria y arroyo Ayancual, las cuales se estima tienen una demanda considerable y bajo el supuesto que su extracción se realizará con la captación natural de la subcuenca del río Pesqueria y el 60% del volumen extraido a la presa SEC, no se satisfaceria dicha demanda en ningún año; lo que sucede es que, el volumen disponible se incrementa para dichas unidades conforme se incrementen las extracciones en la presa SEC y por consiguiente las descargas de aguas residuales de la ciudad de Monterrey. Considerando el otro supuesto de que dichas unidades de riego, extraen el volumen que necesitan dependiendo de su disponibilidad a lo largo del río Pesqueria y arroyo Ayancual, como hasta la fecha lo han realizado, el volumen que es aforado en Los Herreras esta compuesto por la captación natural de la subcuenca del río Pesqueria, sus afluentes y las descargas de aguas residuales de Monterrey que no son aprovechadas, además de las aguas de retorno de estas mismas unidades que vuelven nuevamente a dichas corrientes.

En el caso de la zona de riego sobre el río San Juan y el DR 031 LJ, ya que presentan una demanda de agua mucho menor a las demás fuentes demandantes, y dicho volumen no es considerable respecto al total demandado; se asume que dichas demandas son cubiertas.

Los almacenamientos en las presas SEC y MRG, también tienen una gran aleatoriedad a lo largo de los años simulados como se ha podido observar; presentindose períodos de años en los cuales se tienen almacenamientos considerables y otros periodos en los cuales los almacenamientos son muy bajos. Esto debido fundamentalmente a la distribución de las aportaciones, que como ya se mencionó anteriormente son muy irregulares.

Las evaporaciones en ambas presas están jugando un papel muy importante en los modelos de simulación, principalmente en la presa SEC, en donde se tienen volúmenes evaporados iguales o incluso mayores a las extracciones, como se demostró en el modelo 7; en el cual las evaporaciones son un 43% mayores a las extracciones de dicha presa. Es importante preguntarse, ¿Qué tan necesario o conveniente resulta tener considerables volúmenes almacenados en la presa SEC?, ya que esta situación ocasiona que se tenga un déficit en la demanda aguas abajo, o sea, en el DR 026 BRSJ y en la presa SEC se este evaporando un volumen de agua que es necesario en dicho distrito de riego.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en las diferentes simulaciones realizadas en este trabajo y dada la gran necesidad que hay por el recurso agua en la zona y su disponibilidad muy irregular; se debe considerar el recurso agua, como un elemento más del mercado, el cual hay que pagar por hacer uso de este.

El plantamiento muy general que se propone es que los usuarios en la ciudad de Monterrey paguen por hacer uso del agua en la ciudad, dicho pago debe cubrir:

a) El equivalente al volumen que se deja de utilizar en el DR **026** BRSJ y por consiguiente, el beneficio neto que dejan de percibir los usuarios de este distrito;
b) Los costos de conducción a Monterrey (bombeo, operación y mantenimiento del acueducto);
c) La potabilización, conducción, operación, mantenimiento y conservación de las redes de distribución en el suministro del agua en la ciudad de Monterrey, y por último,
d) Los costos que implica tratar las aguas residuales para dejarlas en condiciones para utilizarse nuevamente en el DR **026** BRSJ.

Esto último que se menciona, implica que se debe asegurar que dichas aguas residuales que están desalojando en la ciudad de Monterrey lleguen a la presa MRG, para aminorar la reducción de los volúmenes disponibles en el DR **026** BRSJ, y por otro lado también, al disminuir los volúmenes retenidos en la presa SEC, se disminuye el pago a realizar por parte de los usuarios en la ciudad de Monterrey.

El valor del volumen de agua reducido que sería pagado por la ciudad de Monterrey, se distribuiría entre los módulos y la CNA de acuerdo a una proporción determinada, en base a un previo entendimiento entre ellos. La parte que le corresponderia a los usuarios se repartiria entre ellos, de acuerdo a sus derechos de agua autorizados.

Resumiendo, la idea es que se pague a los usuarios del DR **026** BRSJ lo que están dejando de percibir en términos de beneficio neto, y para aminorar este pago, tratar las aguas residuales y asegurarse que estas retornen por el rio Pesqueria a la presa MRG para ser utilizadas nuevamente en el distrito de riego.

Hacer un uso más eficiente del agua en el DR **026** BRSJ, para que los usuarios de dicho distrito reduzcan el impacto de la presa SEC. Dicho uso eficiente se puede realizar mediante la aplicación de tecnologias de manejo y uso del agua y la tierra; como revestimiento de canales, mejoras de estructuras de control y distribución del agua y en la parcela: nivelación de tierras, reducción de longitud de surcos y melgas, etc.

Por último, considerar que tan benéfico resulta el mantener volúmenes altos almacenados en la presa SEC, ya que esto implica que van a presentarse volúmenes considerables evaporados y en los cuales muchas veces van a ser mayores a los extraidos.

BIBLIOGRAFÍA

Cornision Nacional del Agua. 1992. Caracteristicas de los distritos de riego, año agricola 1990. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México D.F. México.

Cornision Nacional del Agua. 1994. Monterrey IV. Cornision Nacional del Agua. Nuevo León, México.

Cornision Nacional del Agua. 1997. Diagnóstico sobre el uso del agua en el río San Juan y sus afluentes río Pesquería y arroyo Ayancual. Colegio de Postgraduados. Montecillo Estado de México. México.

Flores, L. F.J. 1998. Análisis del sistema hidráulico del río San Juan, Tamaulipas. Tesis de Maestria, Especialidad de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo Estado de México, México.

Loucks, D. P., French, P.N. and Taylor, M.R. 1995. Interactive River-Acuifer Simulation. Cornell University, Ithaca, NY. USA

Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1973. Boletín Hidrológico Núm. 53 Región Hidrológica 24 (Oriente). Tomo I. México D.F. México.

ANEXOS

Cuadro A 1 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica El Cuchillo. (10^6 m^3)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1927-28	18.0	10.9	12.3	18.6	14.3	10.7	2.5	28.4	6.9	1.7	0.2	141.0	265.5
1928-29	48.8	40.7	29.2	15.9	9.6	7.5	6.2	17.7	6.2	8.6	10.6	88.7	289.5
1929-30	34.8	17.2	23.9	10.9	3.3	2.1	14.5	90.5	373.4	45.3	10.3	8.2	634.4
1930-31	470.0	167.8	70.3	79.9	83.9	56.8	25.3	81.7	53.5	73.1	97.4	37.0	1296.7
1931-32	21.1	19.9	20.7	14.0	6.5	3.6	4.2	4.0	4.4	6.1	15.3	137.5	257.3
1932-33	114.8	41.0	25.6	26.8	13.1	10.0	10.9	25.0	26.5	158.9	523.7	1018.9	1995.1
1933-34	705.5	192.6	107.7	72.2	48.3	27.4	52.1	51.8	11.3	61.8	15.9	43.0	1389.6
1934-35	71.8	15.6	14.9	16.1	13.2	10.8	8.9	54.3	116.7	26.7	7.9	205.2	562.0
1935-36	108.9	75.2	96.9	85.3	37.9	22.9	16.9	46.1	14.8	194.5	95.2	203.1	997.8
1936-37	90.6	66.7	57.4	37.5	28.7	23.1	10.4	9.5	9.3	49.5	7.2	18.7	408.7
1937-38	23.9	28.7	40.2	29.5	12.9	12.6	3.5	10.5	5.3	10.7	571.6	265.5	1014.8
1938-39	81.5	38.8	32.0	27.0	14.5	8.9	25.1	31.3	12.1	6.6	3.6	35.9	317.2
1939-40	84.6	13.9	14.6	8.0	2.6	2.5	2.3	17.3	84.5	26.2	33.8	107.8	398.0
1940-41	46.6	22.7	39.1	28.4	28.2	36.0	33.5	31.0	405.8	128.7	24.5	178.6	1003.0
1941-42	65.3	43.6	50.1	35.0	18.8	14.0	23.4	35.5	171.7	140.4	79.9	91.2	768.7
1942-43	176.7	42.0	27.1	25.0	12.0	6.8	9.8	4.6	2.8	5.2	1.2	112.5	425.7
1943-44	104.6	23.5	33.9	17.7	7.8	6.7	2.2	7.2	36.3	61.1	243.3	504.3	1048.5
1944-45	254.6	91.1	52.9	46.8	34.1	20.1	9.8	13.5	2.5	5.2	24.8	12.4	567.5
1945-46	413.4	40.7	26.4	17.2	9.7	9.2	18.8	58.1	11.1	61.1	7.1	92.5	765.4
1946-47	207.3	42.2	22.3	10.8	3.7	2.7	8.6	12.2	44.9	2.5	330.3	29.8	717.2
1947-48	23.3	14.1	15.1	5.2	2.1	5.2	1.8	34.1	3.2	6.4	20.3	272.7	403.3
1948-49	190.0	65.0	22.9	6.1	8.6	13.3	66.6	47.1	15.5	4.2	2.0	13.5	454.8
1949-50	10.4	3.8	5.0	4.0	0.9	0.9	10.7	0.7	17.6	3.2	1.0	15.7	73.8
1950-51	54.6	0.2	0.5	0.1	0.0	0.0	2.0	39.6	67.6	3.3	72.5	320.4	560.7
1951-52	109.0	45.3	21.3	5.8	0.7	3.8	6.4	4.1	46.3	6.1	0.0	20.7	269.5

Cuadro A 1 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica El Cuchillo. (10^6 m^3)
(continuación)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1952-53	3.7	1.0	3.7	0.3	0.0	4.0	5.2	0.1	0.0	1.7	453.9	126.5	600.2
1953-54	192.5	39.4	10.3	4.8	4.8	1.2	16.1	37.1	1.9	5.9	12.1	3.8	329.8
1954-55	103.8	22.9	3.5	1.3	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	60.6	39.3	229.1	466.7
1955-56	114.7	24.7	7.5	2.5	0.7	0.0	0.0	16.9	5.6	0.2	7.0	21.2	200.9
1956-57	1.0	4.0	0.8	0.2	15.5	20.0	106.8	47.0	29.0	0.4	0.0	5.0	229.5
1957-58	85.6	7.5	1.8	1.8	0.0	0.0	0.0	13.7	23.3	41.2	11.7	275.3	461.9
1958-59	806.1	242.8	94.7	58.1	32.7	24.6	6.6	20.6	17.4	4.4	14.1	32.0	1354.0
1959-60	19.2	8.0	3.7	1.5	0.1	0.2	3.1	2.9	2.4	28.0	43.7	95.5	208.2
1960-61	152.5	40.0	22.0	8.2	2.0	11.9	11.8	9.6	32.3	5.9	15.5	98.2	409.9
1961-62	38.6	10.3	5.2	1.4	0.3	0.0	14.0	2.5	55.5	7.3	2.9	48.3	186.3
1962-63	74.9	9.9	3.1	1.4	0.4	0.0	0.0	77.2	3.4	2.4	3.2	63.0	239.0
1963-64	77.3	4.9	3.9	3.1	0.6	0.0	18.0	98.1	8.2	4.7	0.6	76.5	296.0
1964-65	50.2	2.6	2.5	0.3	0.3	7.7	1.1	44.9	11.4	0.2	8.9	194.4	324.5
1965-66	53.1	15.7	12.2	7.8	28.7	30.6	56.4	171.1	232.3	128.6	81.3	95.6	913.4
1966-67	116.5	73.7	24.8	9.9	3.2	17.9	12.8	5.5	25.1	2.0	613.3	1190.1	2094.8
1967-68	371.7	157.6	99.8	72.6	44.9	40.4	30.6	50.6	62.3	58.4	53.7	279.4	1321.9
1968-69	234.2	99.2	59.9	32.5	9.6	8.2	9.5	8.2	40.2	2.1	10.0	188.5	702.0
1969-70	224.9	115.4	82.9	45.1	34.7	19.0	16.2	3.4	14.6	53.2	33.1	171.7	814.3
1970-71	107.9	34.0	15.2	8.4	2.1	1.6	1.3	0.5	7.7	9.5	58.3	199.2	445.6
1971-72	307.3	80.6	38.3	18.1	10.6	16.9	7.3	98.9	324.8	118.9	44.5	64.9	1131.1
1972-73	68.7	36.1	27.3	22.6	10.7	13.0	2.5	21.2	620.7	225.3	253.1	292.0	1593.4
1973-74	198.1	117.9	73.7	53.4	18.5	23.9	10.1	6.0	8.7	5.0	1.6	208.4	725.3
1974-75	84.6	33.3	16.8	12.3	8.3	3.4	1.1	52.3	9.0	142.0	115.0	370.0	848.2
1975-76	89.4	49.7	25.6	6.1	4.3	9.3	21.7	11.6	340.0	59.0	117.0	129.0	862.7
1976-77	156.0	121.0	9.0	63.3	54.2	30.3	28.2	25.7	3.6	2.9	4.2	282.0	780.4
1977-78	99.8	34.2	20.8	14.3	9.8	3.5	4.1	10.2	23.3	0.8	9.8	1016.0	1246.6
1978-79	659.0	142.0	79.6	46.1	28.4	17.9	16.2	14.7	93.4	17.7	5.4	117.0	1237.4
1979-80	16.8	7.0	25.7	17.0	9.2	1.8	0.8	24.1	2.1	0.6	10.6	4.7	120.4

Cuadro A 1 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica El Cuchillo. (10^6 m^3)

(continuación)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1980-81	67.2	29.2	20.3	28.6	23.9	14.6	67.5	125.0	152.0	63.8	65.8	141.0	798.9
1981-82	80.8	36.4	22.0	11.7	4.0	4.1	6.4	34.9	8.9	0.9	0.0	12.0	222.1
1982-83	28.9	7.4	11.5	13.8	11.4	6.3	0.7	91.1	55.9	123.2	77.9	297.0	725.2
1983-84	123.4	46.5	12.9	51.6	74.1	16.7	5.0	23.8	24.1	11.2	19.4	199.4	608.0
1984-85	60.0	25.2	23.5	23.3	14.7	13.4	61.4	21.7	51.7	22.1	5.7	5.7	328.3
1985-86	73.6	17.6	9.3	5.1	0.9	0.0	7.0	59.0	135.0	15.4	1.0	172.8	496.6
1986-87	29.4	35.3	14.0	39.1	19.9	19.7	13.0	26.3	127.1	31.6	22.0	243.2	620.6
1987-88	99.9	39.2	22.1	26.8	18.7	10.9	6.5	6.8	29.7	15.3	55.3	761.4	1092.6
1988-89	140.7	60.4	34.8	33.8	28.8	19.1	11.6	5.1	1.2	9.4	37.2	78.8	460.9
1989-90	52.0	15.1	21.9	20.7	5.5	1.8	12.0	6.1	2.4	2.2	7.8	73.4	221.0
1990-91	63.7	27.3	15.4	14.1	6.3	1.0	3.6	1.8	23.1	50.6	3.2	112.0	321.9
1991-92	64.0	22.6	21.7	23.3	59.7	11.6	26.8	72.9	28.2	0.0	8.5	18.7	358.0
1992-93	53.1	57.3	22.1	1.7	1.3	0.7	0.2	34.2	140.9	27.8	0.0	0.0	339.1
1993-94	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1994-95	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
1995-96	0.0	0.0	0.0	157.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.7
NUM. AÑO	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0	66.0
MEDIA	130.1	45.2	27.4	23.3	14.8	10.8	14.5	31.1	62.7	35.6	65.6	173.4	634.5
MEDIANA	81.5	34.0	21.9	15.9	9.6	8.2	8.9	21.2	17.6	9.4	12.1	107.8	496.6
DESV. STD	157.8	48.3	26.1	26.5	17.9	11.2	19.3	33.2	112.0	50.7	132.7	233.1	443.6
COEF. VAR	1.2	1.1	1.0	1.1	1.2	1.0	1.3	1.1	1.8	1.4	2.0	1.3	0.7
MAX	806.1	242.8	107.7	157.7	83.9	56.8	106.8	171.1	620.7	225.3	613.3	1190.1	2094.8
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Gerencia Estatal en Nuevo León, Comisión Nacional del Agua.

Cuadro A 2 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica Los Herreras (10^6 m^3)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1942-43	20.2	3.8	3.2	2.8	0.7	0.4	6.2	3.5	4.4	2.7	0.4	28.0	76.2
1943-44	2.9	0.2	1.1	0.3	0.1	1.0	0.0	4.6	16.7	14.1	232.8	83.0	356.7
1944-45	28.9	12.2	14.1	8.9	5.5	1.5	6.4	0.6	1.3	4.4	5.3	4.3	93.2
1945-46	45.5	0.4	1.0	0.5	0.1	0.0	11.8	28.9	7.0	6.7	26.2	26.0	154.0
1946-47	14.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	4.4	13.0	2.0	126.3	13.4	180.5
1947-48	1.0	0.2	0.7	0.0	0.0	0.6	0.6	12.0	17.0	17.5	17.3	112.5	179.4
1948-49	17.8	2.2	0.2	0.1	1.6	0.2	22.5	19.4	9.0	2.7	1.4	5.2	82.2
1949-50	1.2	58.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.1	4.7	8.0	19.1	9.7	10.6	112.6
1950-51	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	11.9	6.3	8.0	12.1	103.3	147.5
1951-52	32.7	17.4	265.0	0.1	0.0	0.1	0.0	1.8	8.0	0.8	0.0	7.1	332.8
1952-53	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	2.1	0.0	0.0	1.8	332.4	107.0	445.8
1953-54	42.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	21.0	0.1	4.5	0.9	3.2	82.4
1954-55	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	0.1	7.6	14.1	72.0	119.0
1955-56	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	5.6	1.9	1.1	12.7	32.2
1956-57	0.8	0.1	0.0	0.0	2.7	1.4	43.0	5.1	1.9	0.0	6.4	6.4	67.8
1957-58	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	65.3	30.8	23.1	187.8	325.5
1958-59	136.3	19.0	7.6	3.3	8.0	2.4	0.0	2.6	3.0	3.3	14.9	9.9	210.4
1959-60	7.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.5	7.2	44.7	15.4	77.1
1960-61	70.1	0.3	0.0	0.0	0.0	1.6	1.3	2.7	11.6	14.0	4.5	12.1	118.1
1961-62	30.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.8	8.8	0.1	3.1	13.5	59.1
1962-63	23.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	10.6	11.9	0.8	0.0	84.5	131.9
1963-64	22.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	76.1	6.0	0.3	3.5	20.1	134.8
1964-65	18.7	1.6	0.0	0.0	0.0	0.6	1.5	59.4	7.7	0.0	1.9	119.0	210.3
1965-66	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	23.6	28.7	3.5	10.8	5.0	101.7
1966-67	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	3.1	0.0	8.7	0.0	216.6	0.0	245.7
1967-68	90.0	44.8	28.5	22.8	15.8	13.1	17.3	19.8	0.0	0.0	9.7	67.4	329.2
1968-69	26.3	6.8	6.2	3.6	1.4	0.9	2.0	0.8	2.4	2.4	3.6	19.9	76.1
1969-70	12.0	3.1	4.7	2.1	1.4	1.7	0.2	13.8	8.1	7.3	6.2	62.4	123.1

Cuadro A 2 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica Los Herreras (10^6 m^3) (continuación)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1970-71	3.9	0.8	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	46.8	24.5	32.6	53.7	163.2
1971-72	69.6	16.2	9.2	4.7	2.5	6.7	461.0	9.4	85.7	27.9	7.4	51.1	751.3
1972-73	5.9	5.5	4.1	3.3	3.4	2.7	0.0	1.5	83.6	43.9	31.6	82.4	267.8
1973-74	57.2	26.3	19.1	11.5	7.6	9.0	4.6	2.5	8.2	0.5	0.4	42.6	189.5
1974-75	5.3	2.2	2.4	1.8	1.0	1.4	1.7	22.1	0.6	39.0	19.3	68.7	165.5
1975-76	17.2	9.9	9.2	5.5	1.4	1.5	6.7	7.8	13.2	13.9	19.6	27.5	133.4
1976-77	16.9	32.0	38.6	22.0	17.4	7.6	4.3	8.9	3.7	2.0	6.5	25.5	185.4
1977-78	23.6	4.9	3.0	2.6	3.1	1.3	1.7	5.1	7.6	0.5	117.0	105.0	275.4
1978-79	52.0	15.1	11.1	8.5	4.9	3.7	2.5	2.5	33.3	6.0	7.0	36.2	182.8
1979-80	2.1	2.6	8.6	3.4	2.7	1.2	0.5	15.2	0.5	0.4	19.9	5.7	62.8
1980-81	7.4	6.0	3.4	5.1	6.0	5.5	29.6	48.3	17.8	8.8	9.0	31.1	178.0
1981-82	10.3	3.9	1.2	1.0	0.5	0.7	1.5	9.9	2.6	4.8	1.1	10.5	48.0
1982-83	3.4	0.9	2.8	2.8	2.4	1.5	0.1	32.7	7.9	2.6	9.1	51.3	117.4
1983-84	14.1	3.0	1.3	7.5	12.8	4.0	0.1	4.0	2.9	12.0	2.0	10.1	73.7
1984-85	2.5	1.7	0.3	2.8	0.9	7.6	8.5	16.9	14.2	5.3	6.8	7.8	75.3
1985-86	48.0	6.3	3.3	1.6	0.7	0.0	7.2	16.4	83.0	0.3	0.0	61.4	228.2

Cuadro A 2 Aportaciones históricas en la estación hidrométrica Los Herreras (10^6 m^3) (continuación)

Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
1986-87	10.4	7.8	7.0	7.4	1.8	2.6	14.2	18.7	18.6	8.2	5.2	36.4	138.4
1987-88	9.4	2.7	2.0	3.1	1.5	0.3	1.8	2.8	6.8	6.3	8.8	214.7	260.1
1988-89	17.5	10.2	10.1	8.9	7.4	1.8	1.6	0.8	0.8	7.0	15.5	18.0	99.5
1989-90	4.2	3.3	6.5	2.5	0.8	1.6	6.6	0.9	0.0	1.4	12.5	28.0	68.3
1990-91	0.5	3.2	6.9	3.6	4.5	3.1	2.0	12.1	29.9	12.1	28.6	45.0	151.5
1991-92	21.9	6.9	9.9	1.8	2.4	2.1	14.9	12.6	1.2	0.0	1.6	1.9	76.9
1992-93	5.1	6.3	1.6	3.1	1.6	2.0	2.0	14.6	13.1	7.4	1.1	39.0	97.0
1993-94	18.5	12.6	6.5	17.7	2.4	2.1	14.9	12.3	10.7	6.7	4.7	20.4	129.4
1994-95	12.7	8.8	9.3	10.3	5.3	5.5	5.1	11.8	18.3	9.7	34.9	36.4	168.0
1995-96	9.7	9.3	6.0	4.7	1.8	0.7	2.8	1.2	5.7	3.6	41.8	25.7	112.9
NUM. AÑO	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0	54.0
MEDIA	21.1	7.0	9.6	3.6	2.5	2.2	14.0	12.1	14.4	7.8	29.1	43.5	166.8
MEDIANA	13.4	3.0	2.2	2.0	1.2	1.3	2.0	9.2	8.0	4.6	8.9	27.8	134.1
DESV. STD	25.2	11.1	35.8	5.2	3.8	3.1	61.9	14.6	20.6	9.6	62.0	44.7	118.6
COEF. VAR	1.2	1.6	3.8	1.5	1.5	1.4	4.4	1.2	1.4	1.2	2.1	1.0	0.7
MAX	136.3	58.0	265.0	22.8	17.4	14.1	461.0	76.1	85.7	43.9	332.4	214.7	751.3
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.2

Fuente: Gerencia Estatal en Nuevo León, Comisión Nacioanl del Agua.

Anexo 3

Cuadro A 3 Características hidráulicas de diseño de las presas Marte R. Gómez y Solidaridad El Cuchillo.

Estructura	Característica	Presa Marte R. Gómez	Presa Solidaridad El Cuchillo
Cortina		Mixta, materiales graduados y gravedad de concreto simple.	Materiales graduados
Obra de toma		Torre y conducto (2 tomas)	Torre y conducto
Vertedor		Cresta libre con planta en curva y perfil Creager	Cresta recta controlada con perfil Creager
Capacidad	De azolves	27.61 hm^3	100.00 hm^3
	Útil	967.09 hm^3	920.70 hm^3
	De conservación	994.70 hm^3	1123.00 hm^3
	Super almacenamiento		661.30 hm^3
	Total		1784.70 hm^3
Elevación	Del cauce	41.00 msnm	126.50 msnm
	N.A.M.E.	83.00 msnm	166.66 msnm
	N.A.M.O.	76.30 msnm	162.35 msnm
	De la corona de la cortina	86.00 msnm	169.99 msnm
Cortina	Altura máxima	45 m	45 m
	Longitud de la corona	5,890 m	10,926 m
	Volumen de materiales	4.92 hm^3	6.31 mm^3
Vertedor	Gasto de control máximo	13,000 m^3/s	5,000 m^3/s
	Longitud de cresta	300 m	91 m
	Elevación de la cresta	76.30 msnm	151.75 msnm
Obra de toma	Elevación del umbral	65.34 msnm	147.64 msnm
	Gasto de diseño	70.00 m^3/s	10.00 m^3/s

Esta publicación consta de 500 ejemplares,
se imprimió el mes de Octubre de 1999
en los Talleres de

Publicaciones Diamante

Av. Hidalgo Nº 46 Esq. Galeana San Vicente,
Chicoloapan Edo. de Méx.
Tel. 01 (592) 1-56-02

IWMI, Serie Latinoamericana

1. Ellen Rymshaw. 1998. Análisis del Desempeiio de la Irrigación en los Distritos de Riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Tamaulipas, México.

2. Charlotte de Fraiture y Carlos Garcés-Restrepo. 1998. Evaluación de las Tendencias y los Cambios en el Desempeiio de la Irrigación: El Caso del Distrito de Riego de Samacá, Colombia.

3. Alejandro Cruz y Gilbert Levine. 1998. El Uso de Aguas Subterráneas en el Distrito de Riego 017, Región Lagunera, México.

4. Jorge Sotomayor, Wim H. Kloezen, Carlos Garcés-Restrepo y Elena Bastidas. 1999. Manejo del Agua en las Acequias Privadas Garrapatal y el Tambo en la Provincia del Carchi, Ecuador.

5. Marinus G. Bos y Jorge L. Chambouleyron (editores). 1999. Parámetros de Desempeiio de la Agricultura de Riego de Mendoza, Argentina.

6. Gilbert Levine. 1999. Entendiendo el Comportamiento del Riego: La Disponibilidad Relativa del Agua como Variable Explicativa

7. Garcés-Restrepo Carlos y Julio Guerra-T. 1999. Consideraciones de Impacto Ambiental por Efecto de las Obras de Regadio en el Distrito de Riego Chancay-Lambayeque, Perú.

8. Grabriela Monsalvo Velásquez. 1999. Sostenibilidad Institucional de las Asociaciones de Riego en México.

9. Francisco J. Flores-López y Christopher A. Scott. 1999. Simulación de Alternativas del Manejo del Agua en la Cuenca del Rio San Juan, México.

INSTITUTO INTERNACIONAL DEL MANEJO DEL AGUA
Programa de México
c/o CIMMYT, Lisboa 27 Col.Juarez
A Postal 6-641. CP 06600. México D.F., México
Telf: (52 5) 7269091 Fax: (52 5) 7267558
E-mail : cgarces@cimmyt.mx

INFORME DE MÉXICO

INTERNATIONAL WATER MANAGEMENT INSTITUTE
PO Box 2075, Colombo, Sri Lanka
Tel (94-1) 867404. FAX (94-1)866854 .
E-mail IWMI@cgiar.org
Internet Home Page http:www.cgiar.org/iimi