



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN  
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**UNA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN MULTI-OBJETIVO USANDO  
CONJUNTOS DIFUSOS, PARA LA PLANEACIÓN DEL MANEJO DE UN  
SISTEMA DE PRESAS CON OBJETIVOS EN CONFLICTO. CASO: SISTEMA  
DE PRESAS DEL RÍO YAQUI, SONORA, MÉXICO.**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**DOCTOR EN INGENIERIA**

INGENIERÍA CIVIL – APROVECHAMIENTOS HIDRÁULICOS

P R E S E N T A:

**SALVADOR DÍAZ MALDONADO**

TUTOR:

JAIME COLLADO MOCTEZUMA

2010





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Ramón Domínguez Mora

Secretario: Dr. Carlos Escalante Sandoval

Vocal: Dr. Jaime Collado Moctezuma

Suplente: Dr. Nahún García Villanueva

Suplente: Dr. Oscar Fuentes Mariles

Posgrado en Ingeniería UNAM Campus IMTA. Instituto Tecnológico de Sonora.

**TUTOR DE TESIS**

Dr. Jaime Collado Moctezuma

---

Firma

**UNA TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN MULTI-OBJETIVO USANDO CONJUNTOS DIFUSOS, PARA LA PLANEACIÓN DEL MANEJO DE UN SISTEMA DE PRESAS CON OBJETIVOS EN CONFLICTO. CASO: SISTEMA DE PRESAS DEL RÍO YAQUI, SONORA, MÉXICO.**

**INDICE**

RESUMEN	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Contexto	1
1.2 Identificación del problema	7
1.3 Objetivo	8
1.4 Bibliografía	14
II. FUNDAMENTACIÓN	15
III. METODOLOGÍA	45
IV. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN	51
<u>Diseño y desarrollo del modelo matemático:</u>	
4.1 Manejo histórico	51
4.1.1 Manejo observado del período 1964-65 a 1996-97 (33 años)	51
4.2 Modelo matemático propuesto	55
4.3 Recolección de datos	60
4.4 Modelación con un horizonte de planeación de 1964-65 a 1996-97 (33 años)	60
4.4.1 Método de restricción	60
4.4.2 Método de conjuntos difusos	65
4.4.2.1 Decisión difusa: $MAX L$	65
4.4.2.2 Decisión difusa: $MAX L_1 @ L_2$	69
4.4.2.3 Decisión difusa: $MAX 0.5 @ L_1 + 0.5 @ L_2$	71
4.4.3 Método de Restricción vs Método de Conjuntos Difusos	74
4.5 Manejo histórico vs Modelación para un horizonte de planeación de 1964-65 a 1996-97 (33 años)	76

Aplicación:

4.6	Ciclo 1997-98	82
4.6.1	Manejo observado	83
4.6.2	Método de Conjuntos difusos	83
4.6.3	Manejo observado vs Modelación: 1997-98	84
4.7	Aplicación ciclos 1998-99 a 2003-04	89
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
ANEXO 1.	Datos topográficos e hidrológicos en el sistema de presas del Yaqui: 1964-65 a 1999-00	
ANEXO 2.	Hidro-generación eléctrica en el novillo(Gwh): 1964-65 a 1999-00	
APÉNDICE A.	Modelo matemático para el sistema de presas del Yaqui	
APÉNDICE B.	Resultados del punto seleccionado aplicando el método de Restricción. Horizonte de planeación: 1964-65 a 1996-97	
APÉNDICE C.	Resultados aplicando el método de conjuntos difusos. Horizonte de planeación: 1964-65 a 1996-97 (33 años)	
APÉNDICE D.	Resultados aplicando el método de conjuntos difusos. Ciclos: 1997-98, 1998-99, 1999-00, 2000-01, 2001-02, 2002-03, 2003-02.	

*La utopía está en el horizonte, camino dos pasos, ella se aleja dos pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá. ¿Entonces para qué sirve la utopía? Para eso, sirve para caminar.*

*Eduardo Galeano.*

## **RESUMEN.**

Generalmente en nuestro país, la planeación del manejo hidráulico de las presas ha estado orientada por técnicas de programación matemática que procuran maximizar (o minimizar) un objetivo, el cual compete a alguno de los usos del agua. Sin embargo, conforme se agota la disponibilidad hidráulica de una región o de una cuenca para abastecer las necesidades de los usos existentes, la presión entre estos por acceder al recurso se incrementa, generando conflictos regionales, entre estados e incluso entre países.

Lo anterior plantea al analista el reto de evaluar y proponer alternativas de solución a los tomadores de decisiones, que consideran, no solamente el privilegio de un objetivo sobre otros, sino que ofrezca estrategias de solución integrales. Con esto se clarifica el intercambio entre los objetivos de los diferentes usos que están en conflicto, procurando que todos los involucrados en el problema puedan seleccionar una alternativa de solución, que si bien no es por lo general la óptima para ninguno de ellos, sí es considerada la más adecuada para todos.

Una alternativa para que el analista aborde problemas de planeación multi-objetivo de recursos hidráulicos que involucran varios objetivos en conflicto, es la aplicación de técnicas de

programación multi-objetivo, para lo cual deberá evaluar el óptimo de cada objetivo por separado, obteniendo así la región en que existe conflicto entre los objetivos (región no inferior), a partir de la cual se aplica la técnica de programación multi-objetivo seleccionada.

Dependiendo del problema multi-objetivo a resolver, el analista puede adoptar básicamente dos estrategias: una que considera el flujo de información ascendente, consistiendo en el desarrollo de técnicas generadoras de alternativas y que fundamentalmente consiste en evaluar y proponer para la selección de los tomadores de decisiones, alternativas de solución al problema multi-objetivo; y la otra estrategia es la que considera el flujo de información descendente, evaluando alternativas que son propuestas por parte de los tomadores de decisiones, que a pesar de que son de carácter multi-objetivo, en ocasiones no existe conflicto al predeterminar las preferencias de los usos en estudio.

Para el caso que ocupa en este trabajo, se analiza la problemática que existe entre los objetivos de usos del agua para agricultura y para hidro-generación eléctrica en el sistema de presas del río Yaqui. Se tienen tres embalses: Lázaro Cárdenas (“Angostura”, que abastece una pequeña zona agrícola, a la mina La Caridad y algunos pueblos rivereños), Plutarco Elías Calles (“El Novillo”, construida por C.F.E. para hidro-generación) y Álvaro Obregón (“Oviáchic”, que abastece al municipio de Cajeme, al Valle de las Colonias Yaqui y al Valle del Yaqui, además de hidro-generar).

Este es un caso en donde históricamente el uso agrícola ha sido privilegiado totalmente sobre el uso en hidro-generación, ya que cuando se requiere regar intensivamente en el Valle del Yaqui (en otoño), la demanda de energía eléctrica disminuye en la región, disminuyendo un mejor aprovechamiento de la hidro-generación; por otro lado, cuando el riego disminuye drásticamente para recuperar el volumen en las presas previendo el siguiente ciclo agrícola, la demanda de energía eléctrica aumenta (parte de la primavera, el verano y parte del otoño), lo que provoca que se tenga que generar la energía por otras fuentes convencionales que pueden ser hasta tres o más veces más costosa.

Considerando que la energía producida en la presa El Novillo es casi siete veces superior a la producida en el Oviáchic; y a que ésta está destinada básicamente para el uso agrícola del Valle del Yaqui, se presenta la oportunidad de estudiar la posibilidad de determinar reglas de extracción del sistema que privilegien la temporalidad interanual (mensual) requerida de los usos principales de ambas presas.

Para enfrentar la problemática del conflicto en el patrón de comportamiento interanual de los usos agrícola e hidro-generación en el hidro-sistema del río Yaqui, se propuso una técnica novedosa de programación multi-objetivo que, además de ser comparada con otra técnica exitosa y usada para resolver problemas similares, determina reglas de operación que produce resultados que justificarían su aplicación comparando con el comportamiento del sistema bajo el manejo histórico. De aquí, el objetivo planteado en el presente estudio: Desarrollar una técnica de programación que apoye la toma de decisiones para la planeación del manejo del hidro-sistema de presas del Yaqui, analizando y conciliando los objetivos en conflicto: uso agrícola vs uso en hidro-generación eléctrica.

Las herramientas tecnológicas propuestas en este estudio responden a las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál sería el impacto en la extracción promedio histórica para uso agrícola?*
- ¿Cómo se vería afectada la hidro-generación total correspondiente al manejo histórico?*
- ¿Cómo se comportaría la hidro-generación, produciendo con temporalidad mensual apropiada, en comparación con la hidro-generación histórica correspondiente?*

Considerando inicialmente el entorno de incertidumbre en que se determina la planeación y manejo de los hidro-sistemas localizados en zonas áridas y semi-áridas, como lo aquí estudiado, se instrumentó la técnica de conjuntos difusos con un enfoque ascendente, evaluando y proponiendo alternativas de solución a los tomadores de decisiones.

La metodología se dividió en tres fases principales: (a) Validación, determinación de reglas de extracción para cada una de las tres presas que componen el hidro-sistema del Yaqui, comparando el manejo histórico, la aplicación de la técnica de Restricción (usualmente aplicada) y la de Conjuntos Difusos (propuesta en este trabajo); (b) Estimación, pronosticar para un ciclo agrícola comparando con el manejo histórico; y (c) Aplicación, estimación y comparación con el manejo histórico para los seis siguientes ciclo agrícolas subsecuentes.

Valorando que precisamente el período de tiempo en que se establece este estudio cae dentro de los años de mayor sequía registrados históricamente, se mantuvo un papel conservador para el manejo del hidro-sistema.

Algunos de los principales resultados obtenidos fueron:

- ❖ La extracción promedio histórica para uso agrícola, considerando el período 1964-65 a 1996-97, fue de 2,560 hm<sup>3</sup>, mayor que la obtenida con cualquiera de los métodos de



programación multi-objetivo aquí utilizados (Restricción y Conjuntos difusos). Sin embargo, De la Peña (1997) y Díaz (2001) obtuvieron resultados similares de aproximadamente 2,330 hm<sup>3</sup>/año. Observándose una sobre-explotación del agua superficial para uso agrícola.

❖ Con la decisión difusa *MAX L*, y para los ciclos analizados 1997-98 a 2003-2004, se tendría un balance positivo de 391.18 hm<sup>3</sup> en el manejo para uso agrícola del hidro-sistema del Yaqui, y se producirían 343,528 Mwh más que el histórico (incrementándose de un 18% histórico a un 92% con el modelo, en coincidencia con la demanda interanual).

❖ La aplicación de conjuntos difusos considera una menor cantidad de cálculos que el método de Restricción (importante sobre todo en modelo complejos como el aquí aplicado) y por otro lado, con respecto al manejo histórico, se determinó que en los siete ciclos en donde se aplicó la modelación con conjuntos difusos: (a) Se extrajeron 20.88 hm<sup>3</sup> menos para uso agrícola y 74.07 hm<sup>3</sup> más cumpliendo con los volúmenes comprometidos, y se terminó con un volumen almacenado de 377.99 hm<sup>3</sup> más, lo que resulta en 391.18 hm<sup>3</sup> favorable en el balance final aplicando el modelo aquí propuesto; y (b) se hidro-generarían 343,528 Mwh más con el modelo, aumentando de un 18% de coincidencia histórica con la demanda interanual, a un 92% aplicando el modelo.

La conclusión principal es que el hidro-sistema del Yaqui (tres presas, distrito y volúmenes comprometidos) está diseñado de manera muy balanceada, por lo que al incrementar la extracción para uso agrícola (como ha sucedido desde los años setenta) impacta negativamente, no solo en la hidro-generación para satisfacer el comportamiento de la demanda interanual, sino también en la disponibilidad para el mismo uso agrícola.

La técnica aquí propuesta cumple con los criterios de: factibilidad computacional, claridad en el intercambio de objetivos en conflicto, y en facilitar información a los tomadores de decisiones para seleccionar la alternativa adecuada

Finalmente, se plantea que la técnica de programación multi-objetivo aquí propuesta pueda considerar un número mayor de objetivos en conflicto, sobre todo si se toma en cuenta que el uso agrícola está siendo ahora fuertemente presionado por el uso industrial y a corto plazo sufrirá algo similar con otros usos como el urbano, el recreativo, el acuacultural y el de hidro-generación; incluyendo la potencial exportación a otras cuencas dentro del estado de Sonora.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1. Cuenca del río Yaqui.
- Figura 1.2. Datos generales de las presas del sistema del Yaqui.
- Figura 1.3. Comportamiento estadístico del escurrimiento anual.
- Figura 1.4. Comportamiento mensual promedio de las demandas de extracción para uso agrícola en el Valle del Yaqui y de energía eléctrica en Obregón.
- Figura 1.5. Demanda máxima media en Obregón vs generación eléctrica en El Novillo.
- Figura 1.6. Comportamiento histórico de la hidro-generación en El Novillo.
- Figura 1.7. Comportamiento efectivo de la hidro-generación histórica en El Novillo.
- Figura 2.1. Interpretación gráfica de no inferioridad.
- Figura 2.2. Relación entre categorías de los métodos de programación multi-objetivo (Cohon, 1978).
- Figura 2.3. Función membresía triangular.
- Figura 2.4. Función de pertenencia gamma.
- Figura 2.5. Función de pertenencia gamma linealizada.
- Figura 2.6. Funciones membresía de A y B.
- Figura 2.7. Operaciones de conjuntos difusos  $A \cap B$ ,  $A \cup B$ ,  $A \setminus B$  y  $A + B$ .
- Figura 2.8. Funciones de pertenencia de maximización y minimización,  $m(y_i)$ .
- Figura 2.9. Comportamiento de estas funciones de pertenencia cuando se asigna un valor específico del objetivo.
- Figura 2.10. Tipos de demanda eléctrica.
- Figura 3.1. Procesos de Validación y Estimación del método de Conjuntos Difusos.
- Figura 3.2. Proceso de Aplicación del método de Conjuntos Difusos.
- Figura 4.1. Sistema conceptual de presas del Yaqui.
- Figura 4.2. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo.
- Figura 4.3. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo, considerando la temporalidad acorde con la demanda de electricidad (“comportamiento efectivo” de la energía).
- Figura 4.4. Región no inferior.
- Figura 4.5. Mapeo del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa  $MAX L$ .

- Figura 4.6. Mapeo del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $L$ .
- Figura 4.7. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $L$ .
- Figura 4.8. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $L$ .
- Figura 4.9. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $L_1 @ L_2$ .
- Figura 4.10. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $L_1 @ L_2$ .
- Figura 4.11. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $(0.5 * L_1 + 0.5 * L_2)$ .
- Figura 4.12. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $(0.5 * L_1 + 0.5 * L_2)$ .
- Figura 4.13. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX  $L$ .
- Figura 4.14. Hidro-generación efectiva con el modelo MAX  $L$ .
- Figura 4.15. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX  $(L_1 * L_2)$ .
- Figura 4.16. Hidro-generación efectiva con la decisión difusa MAX  $(L_1 * L_2)$ .
- Figura 4.17. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX  $(0.5 * L_1 + 0.5 * L_2)$ .
- Figura 4.18. Hidro-generación efectiva con la decisión difusa MAX  $(0.5 * L_1 + 0.5 * L_2)$ .
- Figura 4.19. Angostura. Manejo real 1997-98.
- Figura 4.20. Angostura. Manejo modelo 1997-98.
- Figura 4.21. El Novillo. Manejo real 1997-98.
- Figura 4.22. El Novillo. Manejo modelo 1997-98.
- Figura 4.23. Oviáchic. Manejo real 1997-98.
- Figura 4.24. Oviáchic. Manejo modelo 1997-98.
- Figura A.1. Esquema de niveles usados para la hidro-generación en El Novillo.

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 2.1. Representaciones de optimizaciones con objetivo simple y con objetivos múltiples.
- Tabla 2.2. Clasificación de técnicas de programación multi-objetivo (Cohon, 1975)
- Tabla 2.3. Resumen de la evaluación de técnicas de solución multi-objetivo (Cohon, 1978).
- Tabla 2.4. Rango de  $K$  para el cual los requerimientos computacionales de los métodos ponderado y de restricción son menores que los del método de intercambio de valores sustitutos (Cohon, 1978).
- Tabla 2.5. Pasos para una metodología de planeación multi-objetivo (Cohon, 1978).
- Tabla 4.1. Comportamiento del manejo histórico 1964-65 a 1996-97 (33 años) del sistema de presas del Yaqui.
- Tabla 4.2. Porcentajes de extracción mensual en la Angostura, %.
- Tabla 4.3. Resultados obtenidos aplicando el método de Restricción.
- Tabla 4.4. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.
- Tabla 4.5. Resultados de la simulación usando los resultados obtenidos con el modelo de optimización para el punto 8, aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.
- Tabla 4.6. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.
- Tabla 4.7. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.
- Tabla 4.8. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.
- Tabla 4.9. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.
- Tabla 4.10. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.
- Tabla 4.11. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.
- Tabla 4.12. Resultados para un horizonte de 33 años (1964-65 a 1996-97).
- Tabla 4.13. Resultados para un horizonte de 33 años (1964-65 a 1996-97).
- Tabla 4.14. Extracciones mensuales para diferentes valores de IR. (Palacios, T.G. 1999)
- Tabla 4.15. Comportamiento del manejo histórico 1997-98 del sistema de presas del Yaqui.
- Tabla 4.16. Resultados de la simulación para el período 1997-98 considerando las variables

hidrológicas observadas durante el ciclo 1981-82 e  $IR = 0.7$ .

- Tabla 4.17. Resultados de la simulación para el período 1997-98 considerando las variables hidrológicas observadas durante el mismo ciclo.
- Tabla 4.18. Resultados de la modelación para el ciclo 1997-98.
- Tabla 4.19. Resultados históricos y obtenidos con el modelo.
- Tabla 4.20. Comportamiento del escurrimiento anual en el sistema de presas del río Yaqui.
- Tabla 4.21. Resumen del comportamiento histórico vs comportamiento modelo para el ciclo de estimación 1996-97 a 2003-04, referente a la extracción para uso agrícola.
- Tabla 4.22. Resumen del comportamiento histórico vs comportamiento modelo para el ciclo de estimación 1996-97 a 2003-04, referente a la hidro-generación en El Novillo.
- Tabla A.1. Porcentaje mensual promedio histórico de la extracción anual para uso agrícola de la presa Oviáchic,  $qP_3$ , considerando un índice de repetición de 1 (sembrando una vez el área total del distrito en un ciclo agrícola), Palacios (1999).
- Tabla A.2. Volúmenes mensuales comprometidos de la presa Angostura, Palacios (1999).
- Tabla A.3. Volúmenes mensuales comprometidos de la presa Oviáchic, Palacios (1999).
- Tabla A.5. Porcentajes históricos de hidro-generación mensual promedio en El Novillo.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **I.1 Contexto**

La cuenca del río Yaqui está situada en la región hidrológica No. 9, entre los paralelos 27°30' y 31°50' latitud norte y los meridianos 107°00'y 110°30' longitud oeste. Cuenta con una extensión de 71,452 km<sup>2</sup>. Colinda al norte con el estado de Arizona, al sur con la cuenca del río Mayo, al este con el estado de Chihuahua y al oeste con las cuencas de los ríos Sonora y Mátape. En la Figura 1.1 se muestra la situación de la cuenca. La precipitación media anual es de 500 mm. con isoyetas desde 300 mm. a 1,400 mm.

En 1937, el Gobierno Federal construyó la presa Lázaro Cárdenas (“La Angostura”) en la parte norte de la cuenca, su capacidad de almacenamiento es de 864 hm<sup>3</sup> y abarca un área de drenaje de 19,292 km<sup>2</sup>, teniendo como afluente principal el río Bavispe. Esta presa se construyó con el fin de abastecer algunos pueblos rivereños, la agricultura local y a la mina de “La Caridad” en Nacozari, Sonora. Cuenta con dos obras de toma con una capacidad de desfogue de 60 m<sup>3</sup>/s cada una.

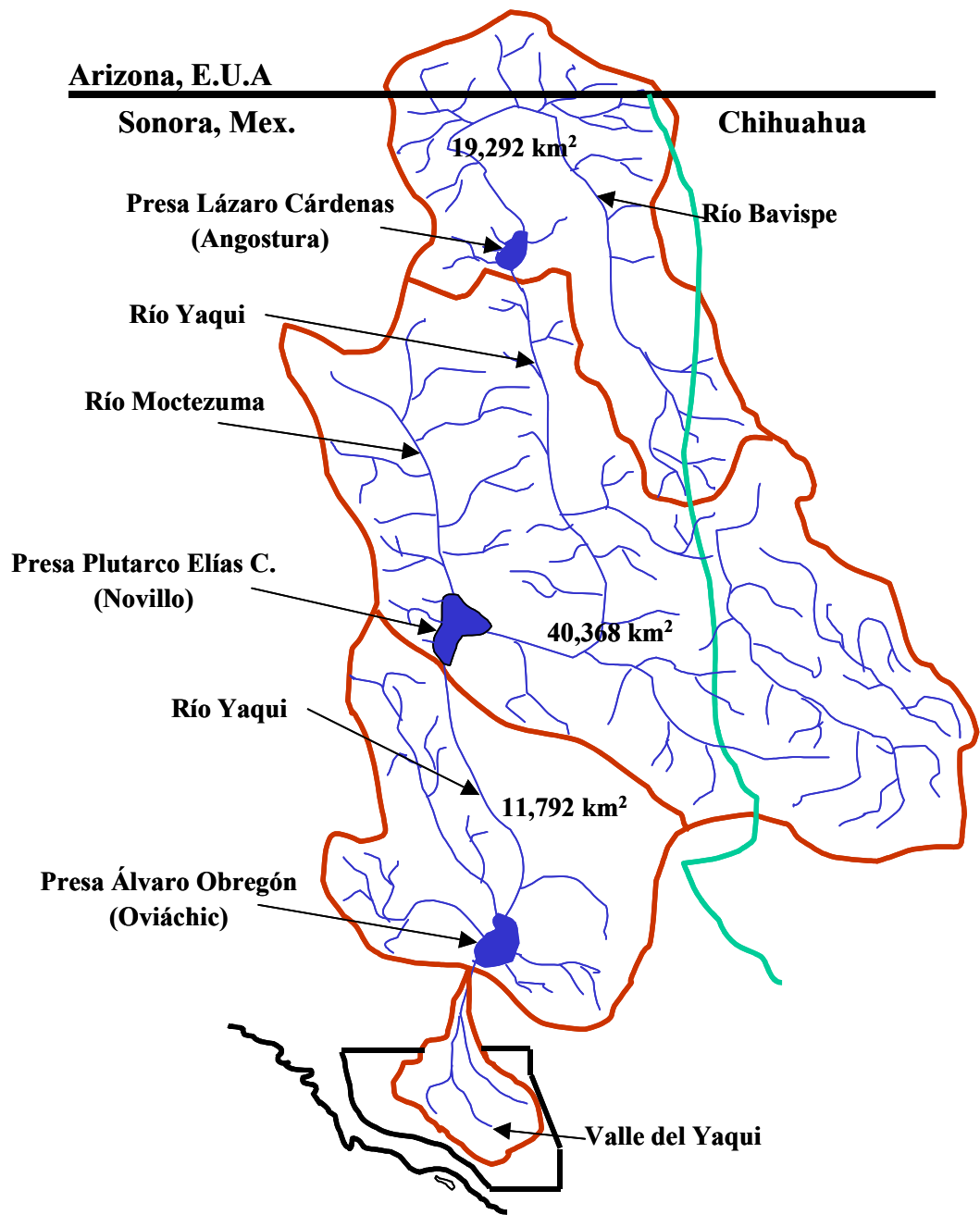


Figura 1.1. Cuenca del río Yaqui

En 1952, la Secretaría de Recursos Hidráulicos construyó la presa Álvaro Obregón (“Oviáchic”), cuya capacidad de almacenamiento es de 2,989 hm<sup>3</sup> y un área de drenaje de 11,792 km<sup>2</sup>. Su afluente principal es el río Yaqui. Se construyó con fines de abastecimiento urbano, agrícola y generación de energía eléctrica, instalándose en la Toma Baja una planta con una capacidad de 19,200 kw.

Cuenta con dos obras de toma, una situada en la margen derecha (Toma Baja) y otra en la margen izquierda (Toma Alta). En la primera, la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) instaló dos turbinas Kaplan con una capacidad de 9,600 kw cada una, desfogando hasta 154.0 m<sup>3</sup>/s entre ambas.

En 1965 la C.F.E. construyó la presa Plutarco Elías Calles (“El Novillo”), con el fin de generar energía eléctrica. Tiene una capacidad de 3,027 hm<sup>3</sup> y un área de drenaje de 40,368 km<sup>2</sup>. Sus afluentes principales son los ríos Yaqui y Moctezuma. Cuenta con tres turbinas tipo Francis de 45,000 kw cada una, de las cuales dos pueden producir energía hasta un volumen mínimo de 617 hm<sup>3</sup>, es decir, por debajo de este volumen solo produce energía una turbina.

En la Figura 1.2 se muestran los datos generales del hidro-sistema de la cuenca del Yaqui.

El uso agrícola de mayor importancia es el Valle del Yaqui con 225,000 ha. de área irrigable, el cual se abastece directamente de la presa Oviáchic. Además, la mayor hidro-generación se produce en la presa El Novillo, la cual es la doceava en el país en cuanto a capacidad instalada con 135 Mw. Sin embargo, históricamente el uso agrícola ha tenido prioridad sobre la hidro-generación, sin haberse explorado hasta ahora alguna metodología para determinar reglas de operación que procuren explotar más eficientemente ambos usos, no solamente el agrícola. Esto es de considerarse debido a que en el sistema de presas del Yaqui, El Novillo se encuentra localizado aguas arriba del Oviáchic, por lo que sería recomendable estudiar hasta que grado existe conflicto entre ambos usos.

En un ciclo agrícola normal (oct-sep), se programan las extracciones mensuales para “primeros cultivos” sembrando toda el área en caso de tener la disponibilidad suficiente, con lo que se cumpliría con un índice de repetición igual a 1, posteriormente, al inicio del siguiente año se programan “segundos cultivos” en función de los volúmenes almacenados, procurando cultivar entre ambos cultivos más de una vez la superficie del Valle de Yaqui, para lo cual se usa parcialmente el agua captada en diciembre, enero y febrero; procurando llegar al nuevo ciclo de octubre con una captación aceptable en las presas para el nuevo ciclo oct-sep.



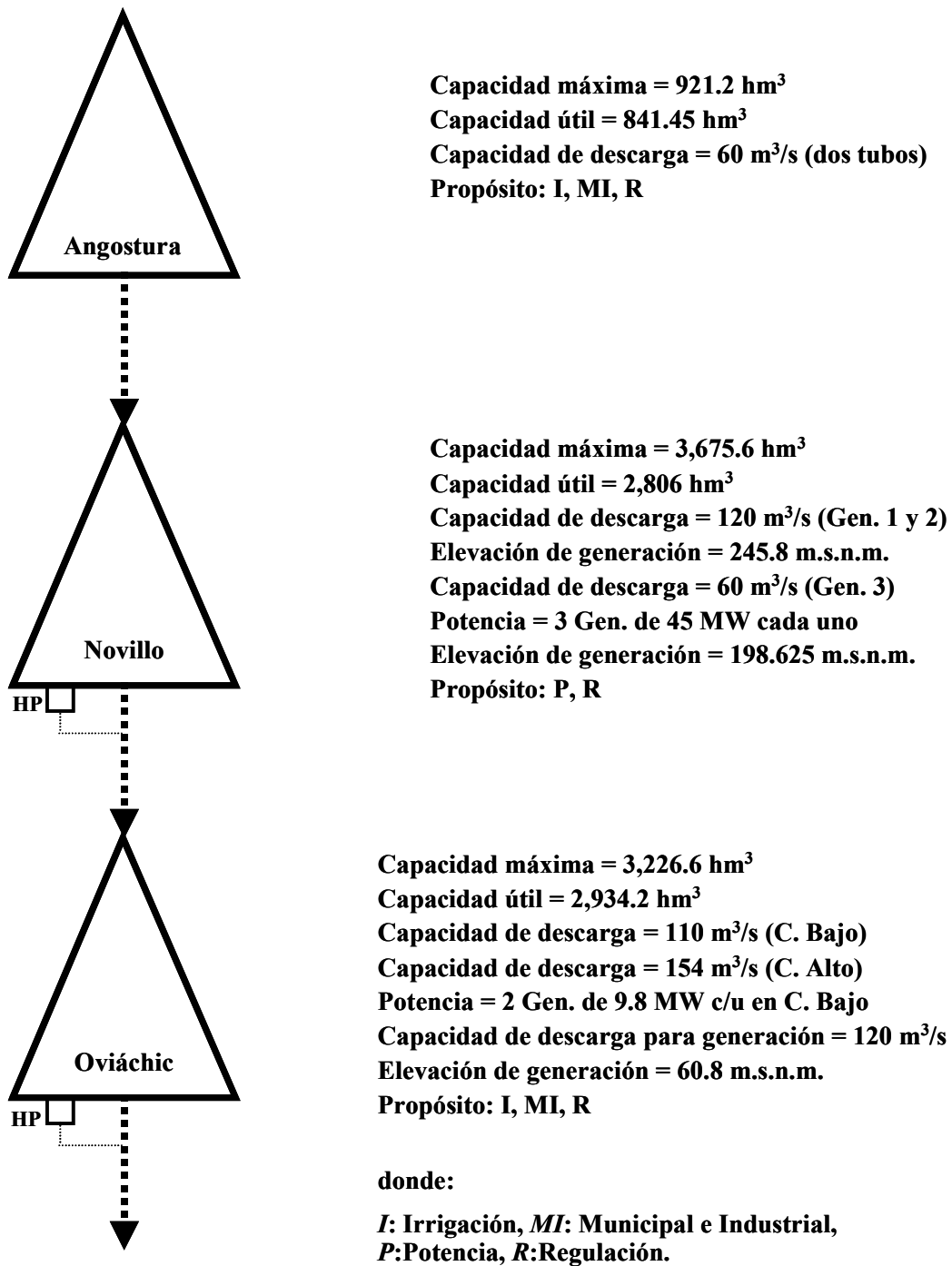


Figura 1.2. Datos generales de las presas del sistema del Yaqui

Por otra parte, a pesar de que el acuífero tiene una disponibilidad de 450 hm<sup>3</sup>/año (Canales y Díaz, 1985), esta ha sido sub-utilizada, teniéndose una extracción promedio aproximada de 250 hm<sup>3</sup>/año. Lo anterior debido principalmente al alto costo del consumo eléctrico requerido para la extracción del agua subterránea.

De la Peña (1997), analizando la disponibilidad hidráulica para un horizonte de planeación de 26 años (1969-70 a 1994-95), considera que el agua superficial para uso agrícola está sobre-explotada en aproximadamente 323 hm<sup>3</sup>/año, al extraerse en promedio 2,657 hm<sup>3</sup> anualmente en lugar de los 2,334 hm<sup>3</sup> que propone, mientras que el agua subterránea está sub-explotada en aproximadamente 266 hm<sup>3</sup>/año. Sugiere un volumen total mínimo almacenado en el sistema de presas al inicio del ciclo de 4,700 hm<sup>3</sup> para extraer hasta 2,300 hm<sup>3</sup> para un ciclo agrícola, sugiriendo que si se tiene un almacenamiento inicial menor, se disminuya la extracción superficial y se aumente el bombeo durante los períodos que sean necesarios hasta que el sistema se recupere.

Palacios (1997) desarrolló un modelo de simulación interanual del sistema de presas del Yaqui con movimientos de embalse usando la metodología de Amisial y Barrios (1986), propuso siete reglas de operación. Además, determinó las funciones de distribución de probabilidad del comportamiento mensual de las variables hidrológicas en cada presa.

Un estudio complementario al de De la Peña (1997), es el de Díaz (2001), en donde se aplica un modelo similar al propuesto por Wagner *et al* (1996) introduciendo una restricción para la extracción anual en función del volumen inicial almacenado en el sistema, además de arrojar algunos indicadores probabilísticos del funcionamiento sugerido por el modelo como son: *confiabilidad*, *elasticidad* (capacidad del sistema para recuperarse después de sufrir un déficit) y *vulnerabilidad* (gravedad del impacto cuando se cae en déficit). Los resultados, a pesar de que se usaron métodos diferentes, fueron prácticamente los mismos a los obtenidos por De la Peña (1997); introduciendo además un apoyo en la toma de decisiones con los indicadores probabilísticos propuestos.

Existen algunas otras investigaciones realizadas con el fin de proponer reglas de operación en el sistema del Yaqui considerando el uso conjunto de aguas superficial y subterránea, Lozano (1992) y Segundo (1996), aplicaron programación lineal con pronósticos de las variables hidrológicas elaborados con análisis de series de tiempo. Sin embargo, en todos

estos estudios siempre se considera como único objetivo el maximizar la extracción para uso agrícola.

En ocasiones el análisis de hidro-sistemas incluye cálculos estadísticos, muy completos y complejos, con el fin de obtener reglas de operación; sin embargo, también es recomendable ponderar el grado de incertidumbre al que se podría aspirar llegar con los resultados de dichos análisis, mediante una descripción estadística preliminar, complementada por inferencia básica.

Para el caso del hidro-sistema del Yaqui, se analizaron los comportamientos de los escurrimientos anuales en las tres subcuencas correspondientes a cada presa. Los escurrimientos anuales de dichas subcuencas pudieron ser normalizados usando la transformación de Box-Cox; sin embargo, el escurrimiento total no se logró normalizar.

Con el fin de analizar la incertidumbre del escurrimiento, principal variable que impacta en la disponibilidad hídrica, se obtuvieron los intervalos de confianza y de predicción. Debido a las características de aridez y semi-aridez de la región, se tienen valores extremos en el escurrimiento, esto hace que sea recomendable trabajar con estadísticos no paramétricos considerando la mediana, en lugar de la media. Fundamentado en Hensel y Hirsch (1992) se hicieron los cálculos correspondientes mostrados en la Figura 1.3, en un marco de parámetros estadísticos puntuales y, sobretodo, de intervalo considerando la mediana. Se obtiene un intervalo de confianza desde 2,649.90 hm<sup>3</sup> hasta 4,495.23 hm<sup>3</sup> y un intervalo de predicción desde 1,812.52 hm<sup>3</sup> hasta 6,944.42 hm<sup>3</sup>. También se ajustaron varias funciones de distribución de probabilidad con sus parámetros de localización, escala y forma, siendo la mejor la Gamma(1,572.39494, 1,294.60878, 1.59531). Obteniéndose que la probabilidad al 50% es de 3,225.81 hm<sup>3</sup> (entre la media y la mediana).

Por otro lado, Hernández (1976), citado por Vargas (2003), en su ponencia presentada en el X Congreso de Ingeniería Civil y en donde recomienda no aumentar el área de riego del Valle del Yaqui en 35,000 ha., hace referencia al convenio realizado entre la Secretaría de Recursos Hidráulicos, SRH, y la Comisión Federal de Electricidad, CFE, firmado por el Presidente Adolfo Ruiz Cortines, en donde a la luz de la construcción de la presa El Novillo se considera que deben aprovecharse las aguas del río Yaqui, coordinando su uso en riego y desarrollo de energía eléctrica, en la forma que produzcan el máximo beneficio para el país. Además, se limita a la SRH a abastecer 2,300 hm<sup>3</sup>/año, suficientes para abastecer al Valle del Yaqui. En caso de presentarse años con aportaciones abundantes, la extracción será acordada por la SRH y la CFE.

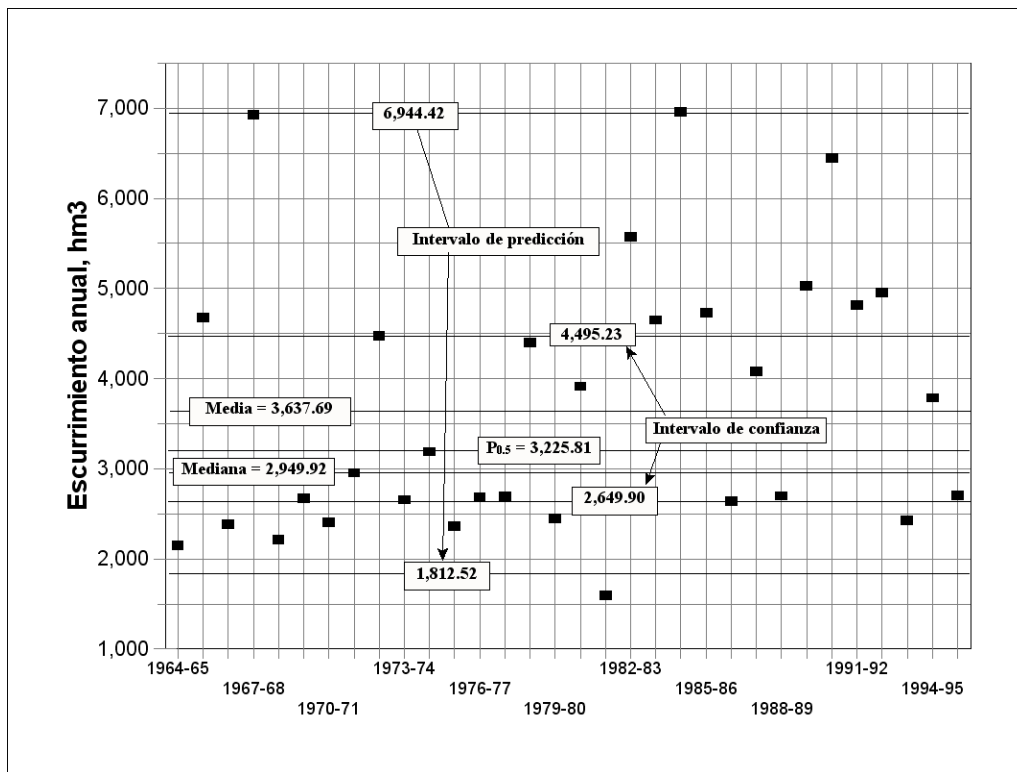


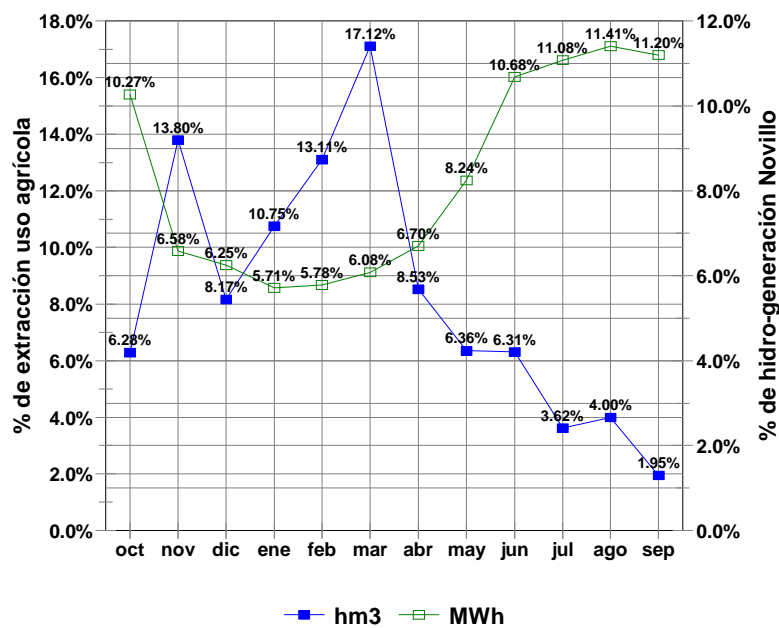
Figura 1.3. Comportamiento estadístico del escurrimiento anual

Hernández (1976), citado por Vargas (2003), también menciona que al inicio de los 70's se utilizaron volúmenes mayores que el escurrimiento medio, agotándose prácticamente las reservas, a pesar de que el promedio de escurrimiento en 1971 a 1975 había sido superior al medio. Teniendo como consecuencia el impacto negativo en la hidro-generación eléctrica, por lo que la independencia en la operación de las presas El Novillo y Oviáchic -para que la primera opere con régimen de energía y la segunda con régimen de riego, dentro de los límites previstos-, que con tanto sacrificio se logró a partir de 1966, se ha perdido.

## I.2 Identificación del problema

Como se ha mencionado, en el sistema de presas del río Yaqui el uso agrícola generalmente ha tenido prioridad sobre el uso para hidro-generación eléctrica, incluyendo en la presa El Novillo construida por C.F.E. Esto se ve reflejado principalmente, no solo por la cantidad asignada a uno y otro uso, sino también por el patrón temporal de extracción de agua para el abastecimiento

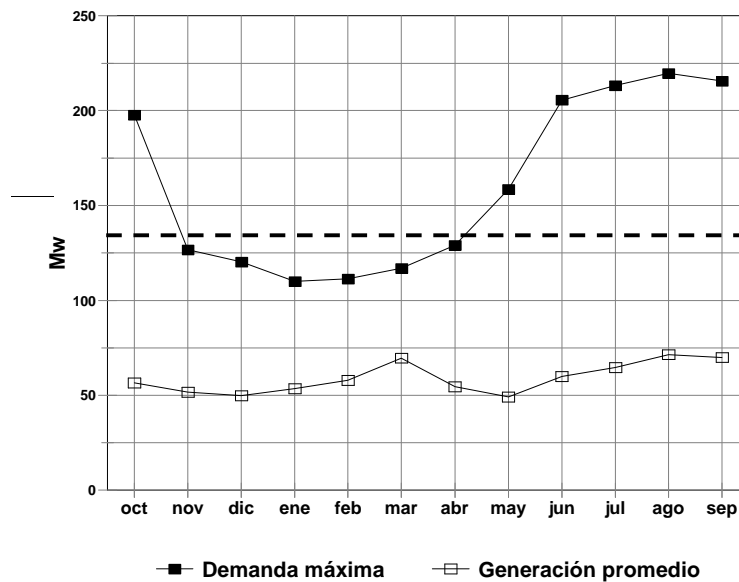
agrícola en el Valle del Yaqui. Durante el verano y partes de la primavera y del otoño se requiere aumentar la hidro-generación eléctrica debido al incremento considerable de la demanda de energía, sin embargo, precisamente en ese período es cuando se tienen los segundos cultivos y se está reservando toda el agua posible de las aportaciones del verano para el siguiente ciclo agrícola que inicia en el mes de octubre, lo cual restringe la posibilidad de generar hidro-electricidad, recurriéndose a otros energéticos mucho más costosos para tal fin, como son el gas y el diesel (comunicación oral C.F.E.). Para esquematizar la idea anterior, en la Figura 1.4 se muestran los comportamientos mensuales promedio tanto de la extracción para uso agrícola, considerando un ciclo agrícola normal de primeros cultivos, así como también de la demanda máxima de generación de potencia. Cabe aclarar que las disminuciones observadas en las extracciones de los meses de diciembre, enero y febrero para uso agrícola, se consideran debido a que generalmente llueve en ese período de tiempo, además, entre el 15 y 20 de diciembre se termina de aplicar el primer riego, por lo que la extracción para el riego disminuye.



Fuente: C.F.E. y S. de R.L.

Figura 1.4. Comportamiento mensual promedio de las demandas de extracción para uso agrícola en el Valle del Yaqui y de energía eléctrica en Obregón.

Por otro lado, en la Figura 1.5 se muestra los comportamientos promedio de la demanda máxima vs generación de potencia en El Novillo; el Oviáchic no se incluye porque está supeditado un 100% al uso agrícola, lo que podría no ser así en El Novillo debido al diseño de todo el hidro-sistema y por ser más independiente. Como se aprecia, desde noviembre hasta abril no existe una demanda importante, sin embargo, debido a que es el período cuando generalmente se tiene el primer sub-ciclo agrícola, aún así la hidro-generación se adapta a la distribución de la extracción mensual para uso agrícola, a pesar de que El Novillo fue construida para generar hidro-electricidad. Básicamente se puede observar que no existe un comportamiento regular entre la demanda de energía eléctrica y la hidro-generación, más bien se procura generar la mayor energía posible, independientemente de la temporalidad de la demanda.



Fuente: C.F.E.

Figura 1.5. Demanda máxima media en Obregón vs generación eléctrica en El Novillo

Si se considera la capacidad instalada de 135 Mw en El Novillo, se aprecia que solamente satisfaría la demanda máxima en seis de los doce meses del año, ver Figura 1.5. Sin embargo, también se debe tomar en cuenta la eficiencia en cuanto al comportamiento de la hidro-generación acorde con la temporalidad correspondiente de la demanda, que es precisamente el objetivo por el que fue construida la presa El Novillo. Por otro lado, en caso de desarrollar reglas de operación para la condición anterior, también es importante evaluar el impacto que se tendría

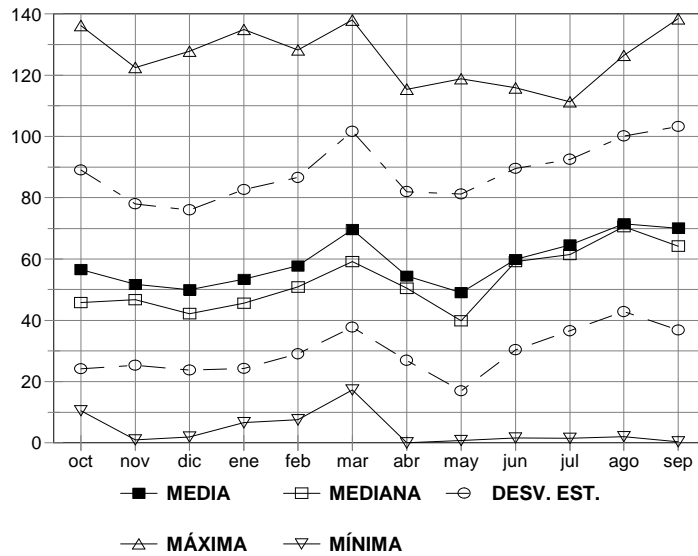
en la hidro-generación total aplicando dichas reglas, comparando con la energía total hidro-generada históricamente, ambas sin respetar la temporalidad de la demanda.

Es importante mencionar que el sistema de hidro-generación del Yaqui está interconectado en la red noroeste, sin embargo, el comportamiento temporal de la demanda eléctrica es similar en toda la región, por lo que se considera que es recomendable cumplir con dicha temporalidad. Actualmente, la C.F.E. recurre a la hidro-eléctrica de Huites, con capacidad instalada de 422 Mw; y sobre todo a las termoeléctricas para satisfacer el patrón temporal de la demanda.

En la Figura 1.6 se muestra un resumen del comportamiento histórico mensual de la hidro-generación en El Novillo. Como se observa, existe una variabilidad importante y resulta obvio que se pretende producir la mayor energía, sin considerar la temporalidad de la demanda. Con el fin de evaluar la hidro-generación histórica en El Novillo, en la Figura 1.7 se muestra un desglose de la energía mensual bruta, cuyo comportamiento se decidió dividir en dos tipos: uno que aquí se denominará “comportamiento efectivo”, el cual considera la parte de la energía total mensual hidro-generada que corresponde al porcentaje demandado mensualmente; y otro “comportamiento residual”, denominado así aquí porque es la energía hidro-generada adicionalmente a la correspondiente al “comportamiento efectivo”, sin corresponder al comportamiento de la demandada. Se aprecia que en realidad el comportamiento efectivo sufre un decremento importante y su variabilidad sigue siendo considerable. De la energía total producida históricamente en El Novillo (1964-65 a 1996-97) solamente el 45.12% se produjo cuando fue demandada interanualmente.

Conforme la demanda de energía eléctrica se ha incrementado, también se han construido nuevas termoeléctricas dentro del sistema interconectado del noroeste. Sin embargo, es importante mencionar que este trabajo se restringirá a generar y proponer herramientas de programación multi-objetivo novedosas en el sistema de presas del río Yaqui. En parte porque desde los 70's se han tenido diversos conflictos entre Usuarios del Distrito, CNA y CFE, así como el organismo operador de Cajeme, predominando el uso agrícola sobre el resto de los usos. La muestra más crítica se tuvo en los ciclos 2002-03 y 2003-04 en que se tuvo que bombear agua del mismo vaso para llegar al nivel inferior de la Toma Alta de la presa Oviáchic con el fin de

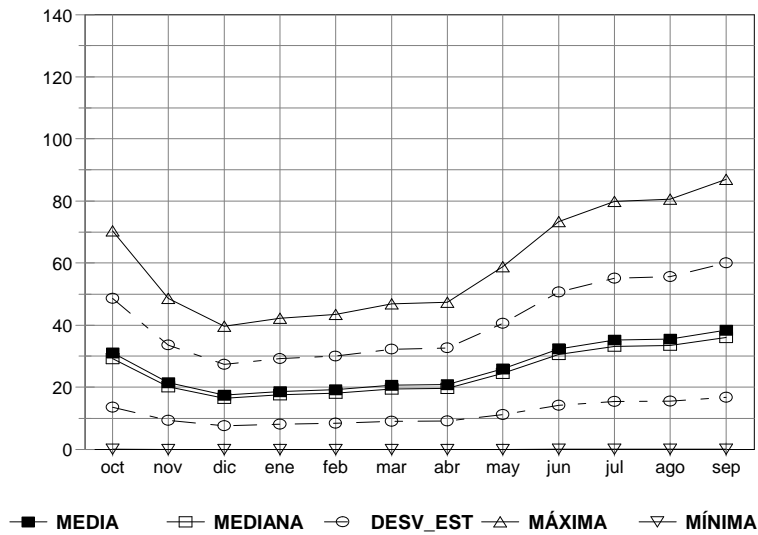
**Hidro-generación en El Novillo, Mw**  
Histórica 1964-65 a 1999-00



Datos: CFE

Figura 1.6. Comportamiento histórico de la hidro-generación en El Novillo.

**Hidro-generación en El Novillo, Mw**  
Histórico: 1964-65 a 1999-00



Datos: CFE

Figura 1.7. Comportamiento efectivo de la hidro-generación histórica en El Novillo.



abastecer de agua para uso humano (ver ilustraciones 1 y 2), además de verse forzados a construir una batería de pozos en Cajeme de manera emergente para el mismo fin. Este fenómeno se recrudece al conjuntarse una extracción promedio anual mayor que la disponibilidad hídrica para uso agrícola, con una sequía prolongada, considerando la región árida y semiárida en que se localiza el hidro-sistema en estudio.

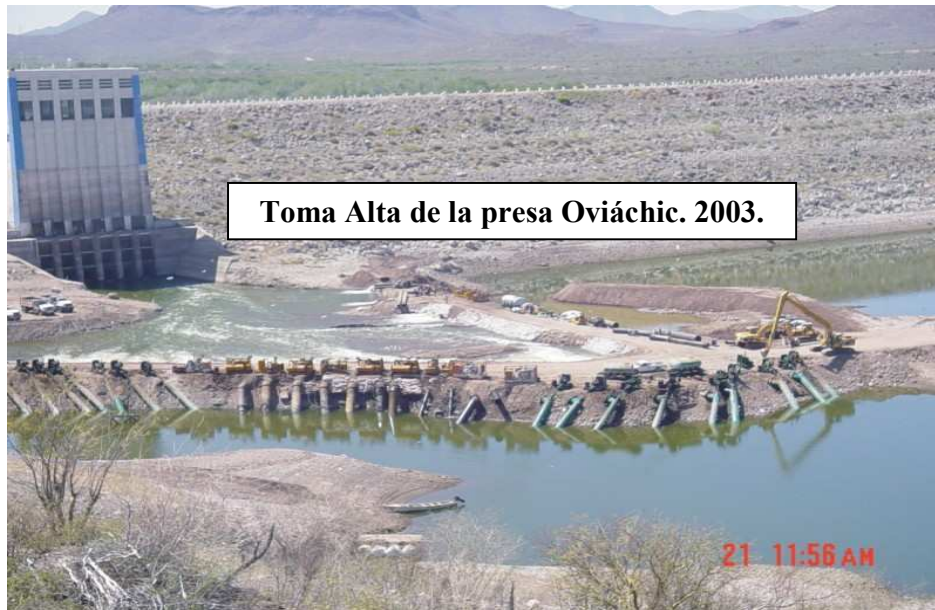


Ilustración 1.



Ilustración 2.

### **I.3 Objetivo**

Considerando que El Novillo genera con una variabilidad considerable (debido a que su hidro-generación ha estado sujeta históricamente al manejo hidráulico para uso agrícola) y a que probablemente pudiera manejarse más independiente debido a su localización aguas arriba del Oviáchic, surge lo siguiente

*Si se contara con los medios tecnológicos que permitieran elaborar reglas de control para hidro-generar con la temporalidad mensual requerida, considerando la temporalidad de la extracción para uso agrícola:*

*¿Cuál sería el impacto en la extracción promedio histórica para uso agrícola?*

*¿Cómo se vería afectada la hidro-generación total correspondiente al manejo histórico?*

*¿Cómo se comportaría la hidro-generación, produciendo con temporalidad mensual apropiada, en comparación con la hidro-generación histórica correspondiente?*

Por lo anteriormente expuesto, el objetivo planteado en este estudio es: *desarrollar una técnica de programación que apoye la toma de decisiones para la planeación del manejo del hidro-sistema de presas del Yaqui, analizando y conciliando los objetivos en conflicto: uso agrícola vs uso en hidro-generación eléctrica.*

La técnica propuesta deberá definir las reglas de extracción mensual en cada presa, de tal manera que se extraiga el agua con el patrón temporal recomendable tanto para la irrigación, así como para la hidro-generación eléctrica. Además, debe posibilitar la potencialidad de su aplicación para este u otros hidro-sistemas con un mayor número de objetivos en conflicto, independientemente de sus unidades de medida.

## **II. FUNDAMENTACIÓN**

La literatura aquí analizada en relación con la planeación y programación multi-objetivo se presenta dividida en tres partes: la primera incluye a los que iniciaron con los esfuerzos de formalizar la planeación multi-objetivo, que básicamente fueron Cohon (1975, 1978), Major (1977, 1979) y Haimés (1977), tanto con textos teóricos así como con aplicaciones a proyectos regionales, incluyendo también a Mays (1996) que resume los métodos que aún permanecen como los más usados en la actualidad. Posteriormente se incluyen algunas aplicaciones de las técnicas multi-objetivo en el manejo de recursos hidráulicos. Finalmente se muestran algunas investigaciones que complementan a las anteriores técnicas usando el concepto de conjuntos difusos, los cuales han tenido cierto auge en la planeación del manejo de los recursos hídricos, sobre todo a partir de los 90's. Todo lo anterior con el fin de tener un panorama amplio sobre los avances de la programación multi-objetivo para planear el manejo de las presas. Al final se incluyen algunos conceptos básicos sobre la demanda de energía eléctrica y de los índices probabilísticos.

Cohon (1978) menciona que la planeación y la programación multi-objetivos se relacionan con problemas de toma de decisiones en donde existen varios objetivos en conflicto. Estos problemas generalmente son ambiguos, particularmente en el sector público, ya que inciden en objetivos sociales.

En la Tabla 2.1 se muestran de manera resumida las representaciones matemáticas del problema con objetivo simple, así como del problema con objetivos múltiples.

Tabla 2.1. Representaciones de optimizaciones con objetivo simple y con objetivos múltiples.

Problema general de optimización con objetivo simple	Problema general de optimización multi-objetivo
<p><i>Maximizar</i> <math>Z(x_1, x_2, \dots, x_n)</math></p> <p>s.a</p> <p><math>g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m</math></p> <p><math>x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n</math></p> <p>donde</p> <p><math>x_i</math> variables de decisión <math>i</math></p> <p><math>Z(x_1, x_2, \dots, x_n)</math> función objetivo</p> <p><math>g_i(x_1, x_2, \dots, x_m)</math> matriz de restricciones</p> <p><math>n</math> número de variables de decisión</p> <p><math>m</math> número de restricciones</p>	<p><i>Maximizar</i> <math>\mathbf{Z}(x_1, x_2, \dots, x_n)</math></p> <p><math>\mathbf{Z}(\mathbf{x}) = [Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n),</math>  <math>Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots,</math>  <math>Z_p(x_1, x_2, \dots, x_n)]</math></p> <p>s.a.</p> <p><math>g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m</math></p> <p><math>x_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n</math></p> <p>donde</p> <p><math>\mathbf{Z}(x_1, x_2, \dots, x_n)</math> vector de funciones objetivo</p> <p><math>p</math> número de objetivos</p>

En problemas con objetivo simple la meta es identificar la solución óptima, siendo ésta el mejor valor de la función objetivo. Esto no ocurre en problemas con objetivos múltiples en conflicto, ya que la solución que maximiza un objetivo no maximizará, en general, cualquiera de los otros objetivos. Lo que es óptimo en términos de un objetivo, normalmente no es óptimo para los otros  $p-1$  objetivos.

Concepto de no inferioridad (Cohon, 1978): Una solución factible de un problema de

programación multi-objetivo es no inferior si no existe otra solución factible que permita el mejoramiento en un objetivo sin causar un decremento en al menos algún otro objetivo.

De lo anterior se puede inferir que, más que obtener una solución óptima única, lo que se debe buscar es una solución “mejor transigida”, que permita un consenso entre el intercambio de los objetivos en conflicto.

La definición de no inferioridad puede entenderse más fácilmente cuando se aprecia gráficamente. En la Figura 2.1 se muestra una región factible supuesta en el espacio objetivo

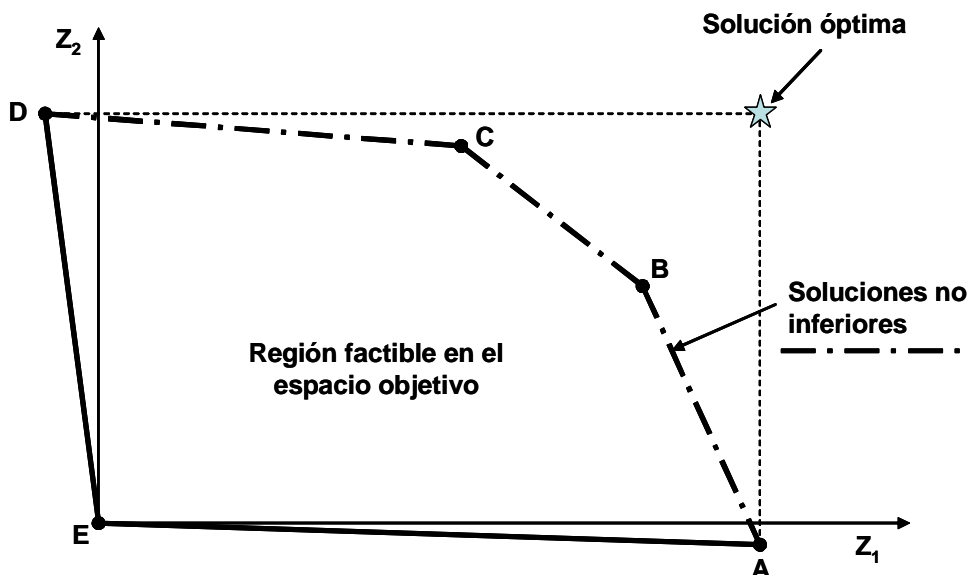


Figura 2.1. Interpretación gráfica de no inferioridad

Las soluciones no inferiores se encuentran en ABCD, ya que cuando un objetivo aumenta, el otro disminuye. Cohon (1978) propone determinar la solución “mejor transigida” de dos formas: (a) Determinando la distancia entre un punto (punto óptimo) y una recta (BC), y (b) aplicando programación por metas, proponiendo previamente una tolerancia mínima en la función objetivo. Sobre esto se aclara más específicamente un poco adelante, al resumir una clasificación de técnicas de programación multi-objetivo propuesta por el mismo Cohon (1975, 1978).

Kirsch (2001) menciona que en muchos problemas reales de optimización deben

considerarse simultáneamente varias variables de respuesta, las cuales no pueden combinarse de manera simple en una sola medida general de comportamiento, porque:

- Las variables de respuesta se miden en escalas diferentes.
- La relevancia relativa de las diferentes variables difiere.
- Para algunas variables de respuesta el objetivo es la maximización, pero para otras es la minimización o un objetivo especificado.

Cohon (1975) realizó una exhaustiva revisión y evaluación de las diversas técnicas de programación multi-objetivo, abarcando desde el inicio de los 50's. Inicialmente propone tres criterios a cumplir por este tipo de técnicas: (1) La técnica debe ser computacionalmente factible y relativamente eficiente; (2) debe cuantificar explícitamente la conciliación o el intercambio entre objetivos; y (3) debe proveer suficiente información para tomar una decisión bien informada.

También, Cohon (1975, 1978) propone una clasificación de las técnicas de programación multi-objetivo, lo cual se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación de técnicas de programación multi-objetivo (Cohon, 1975)

**Técnicas generadoras**

Método ponderativo

Método de restricciones

Deducción de una relación funcional para el conjunto no inferior

Búsqueda adaptativa

**Técnicas que cuentan con una articulación previa de preferencias**

Programación por metas

Evaluación de las funciones de utilidad

Estimación de pesos óptimos

Método Electre

Método de intercambio de valores sustitutos

**Técnicas que se apoyan en la articulación progresiva de las preferencias**

Método por etapas

Método de ponderación por aproximaciones sucesivas

Resolución secuencial de los problemas de objetivos simples (Semops)

Los flujos de información son muy importantes porque ellos determinan el papel que el analista debe jugar en el proceso de planeación. El contexto de la toma de decisiones define la meta del analista.

En la Figura 2.2 se muestra de manera resumida un esquema categorizado del contexto de toma de decisiones en un ambiente multi-objetivo. Se conciben dos tipos de flujos de información: del tomador de decisiones hacia el analista (“top-down”) y del analista hacia el tomador de decisiones (“bottom-up”). El flujo analista -tomador de decisiones contiene resultados acerca del conjunto no inferior -alternativas no inferiores, sus impactos sobre los objetivos y los intercambios entre los objetivos. El flujo tomador de decisiones al analista ocurre cuando el tomador de decisiones explicita las preferencias articuladas con las que la solución “mejor transigida” puede estar identificada de antemano.

La evaluación de las técnicas de evaluación mostradas en la Tabla 2.2 se resume en la Tabla 2.3. La comparación de las técnicas se basa en los tres criterios que deben cumplir, según Cohon (1975), siendo en sí misma una problema multi-objetivo con tres criterios. Como se procede con cualquier problema multi-objetivo, el primer paso es excluir claramente alternativas inferiores de las demás consideraciones. Entonces el método Electre es dominado por los métodos de ponderación y de restricción, mientras la programación por metas y de funciones de utilidad son dominadas por la estimación de pesos óptimos.

La última conclusión implica que si se espera un juicio de valor del tomador de decisiones antes del análisis, entonces el analista debería estimar una cantidad simple y significativa tal como un factor ponderativo, más que metas y prioridades (como en programación por metas) o funciones multi-atributos de utilidad.

Esta revisión preliminar sobre las aproximaciones inferiores deja los siguientes cuatro métodos no inferiores: los métodos de ponderación y de restricción, la estimación de pesos óptimos y el método de intercambio de valores sustitutos. Estos acercamientos adoptan una consideración explícita de intercambios (Cohon, 1975), difiriendo solamente en los otros dos criterios; su eficiencia computacional y la información facilitada al tomador de decisiones, como lo muestra la Tabla 2.3. La selección entre los métodos restantes debe incluir valores de juicio

sobre la importancia relativa de los dos criterios mencionados, debido a que los acercamientos son no inferiores.

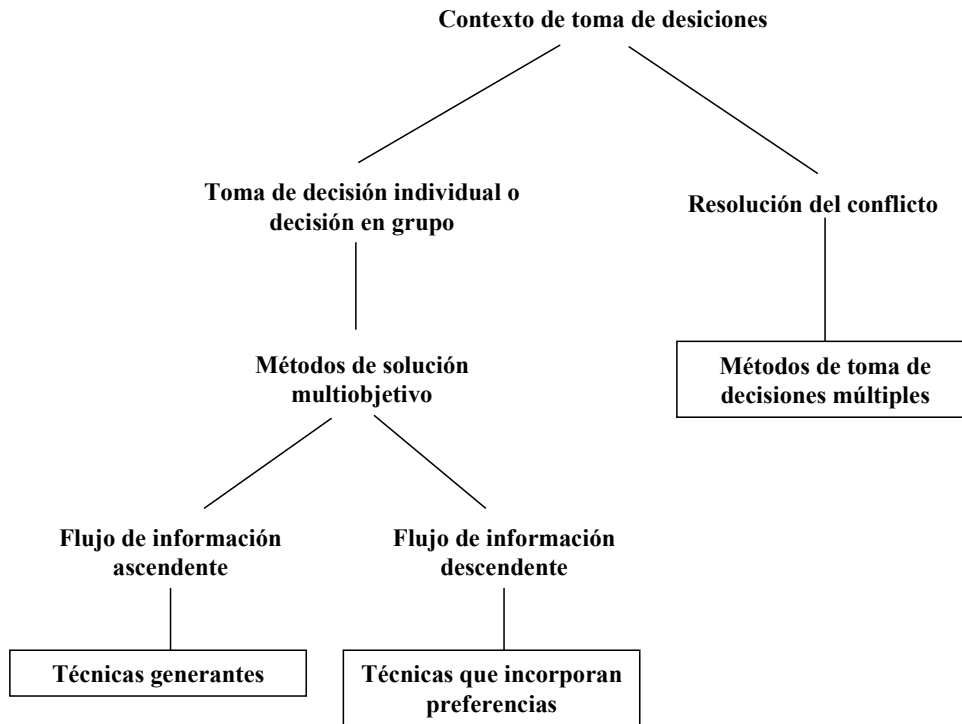


Figura 2.2. Relación entre categorías de los métodos de programación multi-objetivo (Cohon, 1978).

Tabla 2.3. Resumen de la evaluación de técnicas de solución multi-objetivo (Cohon, 1978)

	Eficiencia computacional (Número de soluciones)	¿Son explícitos los intercambios?	Información facilitada Al tomador de decisiones
<b>TÉCNICAS GENERADORAS</b>			
Métodos de ponderación y de restricción	$K^{p-1}$	si	Máxima
Derivación de relaciones funcionales, búsqueda adaptativa	no factible		
<b>ARTICULACIÓN PREVIA DE PREFERENCIAS</b>			
Programación por metas	$I+$	no	Insuficiente
Funciones de mejora de utilidad	$\neq K$	si	Insuficiente
Estimación de pesos óptimos	$I$	si	Insuficiente
Método Electre	$\$ K$	no	Suficiente
Método de intercambio de valores	$\$ Kp(p-1)$	si	Suficiente



sustitutos			
<b>ARTICULACIÓN PROGRESIVA DE PREFERENCIAS</b>			
Método por etapas, etc.	# <i>p</i>	no	Suficiente
Aquí <i>p</i> es el número de objetivos y <i>K</i> es el número de intervalos de cada objetivo considerado en el análisis paramétrico del conjunto no inferior.			

El conjunto de aproximaciones de preferencias debe además reducirse con argumentos contra el uso del método de pesos óptimos. El argumento es que la decisión tomada con una información insuficiente debe ser evitada, aún cuando se tienen ventajas computacionales obvias. La conclusión es que la planeación “top-down”, en la terminología de Marglin et al (1973), citado por Cohon (1975), no debe seguirse debido a que el tomador de decisiones es colocado en la posición de articular valores de juicio sin conocimiento de las implicaciones de sus decisiones.

Los resultados mostrados en la Tabla 2.4 y la observación de que los requerimientos computacionales del método de intercambio de valores sustitutos son realmente mayores que  $Kp(p - 1)$ , llegan a la conclusión que los métodos ponderado y restrictivo son preferidos al método de intercambio de valores sustitutos cuando  $p \neq 3$ , es decir, cuando existen menos de cuatro objetivos.

Tabla 2.4. Rango de *K* para el cual los requerimientos computacionales de los métodos ponderado y de restricción son menores que los del método de intercambio de valores sustitutos (Cohon, 1978).

Número de objetivos <i>p</i>	Soluciones para los métodos ponderado y de restricción $S_1 = K^{p-1}$	Soluciones para el método de intercambio de valores sustituto $S_2 = Kp(p-1)$	Rango de <i>K</i> para el cual $S_1 \neq S_2$
2	<i>K</i>	$2K$	cualquiera
3	$K^2$	$6K$	$K \neq 6$
4	$K^3$	$12K$	$K \neq 3$
5	$K^4$	$20K$	$K \neq 2$

Por otra parte, Cohon (1975, 1978) propone una metodología de planeación, lo cual se muestra en la Tabla 2.5:

Tabla 2.5. Pasos para una metodología de planeación multi-objetivo (Cohon, 1978):

1. Identificación y cuantificación de objetivos
1. Identificación y cuantificación de objetivos
2. Definición de las variables de decisión y las restricciones
3. Colección de datos
4. Generación y evaluación de alternativas
5. Selección de una alternativa preferida
6. Implantación de la alternativa seleccionada

También, Loucks **et al** (1981) de una manera más pragmática sugiere que el proceso de planeación multi-objetivo conste de tres fases: *cuantificación del objetivo, formulación del plan y selección del plan*. Que comparado con la metodología propuesta por Cohon (1978), simplifica el paso 1 e incluye en la *formulación del plan* los pasos 2, 3 y 4

Major (1977, 1979) publicó una monografía referente a un análisis costo-beneficio usando planeación multi-objetivo. Propuso cuatro pasos para proyectos regionales:

1. Identificar los objetivos de diseño del sistema
2. Convertir los objetivos de diseño del sistema en criterios de diseño
3. Usar los criterios de diseño para desarrollar diseños de sistemas que reflejen los objetivos.
4. Revisar los resultados del proceso de diseño.

Expone esta metodología para cuatro casos de estudios regionales, la cual tiene la característica de ser iterativa y en interacción permanente con todos los involucrados en el proyecto. Los cuatro pasos mencionados se ejecutan en tres momentos: primeramente se proponen los objetivos en conflicto, dándole prioridad a cada objetivo por separado; posteriormente se analizan los primeros resultados a manera de un ensayo considerando los objetivos múltiples; finalmente, se familiariza totalmente con el sistema y se ejecuta el plan final.

Haimes (1977) desarrolló la programación multi-objetivos desde el punto de vista de ingeniería de sistemas, subdividiendo de manera jerarquizada grandes sistemas en sub-sistemas, aplicando fundamentalmente la técnica de *intercambio de valores sustitutos*; la cual define una

escala desde -10 hasta +10, donde - 10 indica que las unidades marginales de la función objetivo  $f_i(\mathbf{x})$  cuesta mucho menos que una unidad marginal de  $f_j(\mathbf{x})$ , +10 indica lo opuesto y “0” significa un intercambio moderado.

Loucks **et al** (1981) menciona que más que una solución óptima se requiere una decisión política que resulte en una solución *mejor transigida* entre los objetivos en conflicto. Que a través del análisis multi-objetivo se determina el rango de decisiones posibles y el impacto de los planes y alternativas respectivos, apoyando así a los tomadores de decisiones políticas.

Más cercanamente Mays (1996) discute brevemente algunas de las técnicas más frecuentemente usadas a esa fecha, siendo, según la clasificación de Cohon (1978): *técnicas generadoras de soluciones no inferiores*: método de ponderación y método de restricción; y *técnicas que incorporan las preferencias previas de los tomadores de decisiones*: programación por metas e intercambio de valores sustitutos.

Técnicas generadoras de soluciones no inferiores:

- **Método de ponderación:**

$$\text{Maximizar } \sum_{k=1}^p [w_k f_k(\mathbf{x})] \tag{2.1a}$$

sujeto a

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \tag{2.1b}$$

donde  $w_k$  es el peso del  $k^{\text{vo}}$  objetivo. El método ponderado está basado en el hecho que la sustitución entre dos objetivos  $f_k(x)$  y  $f_{k'}(x)$  está representada por los pesos respectivos como  $w_k/w_{k'}$ . La solución óptima de las ecuaciones (2.1a-b) es inferior si es única bajo pesos estrictamente positivos. A través de asignaciones sistemáticas de pesos positivos a cada función objetivo y resolviendo las ecuaciones (2.1a-b) repetidamente, puede derivarse el conjunto de soluciones no inferiores.

- **Método de restricción:**

Se selecciona arbitrariamente un objetivo y se cambian todas las otras funciones objetivo al conjunto de restricciones como

$$\text{Maximizar } f_h(\mathbf{x}) \quad (2.2a)$$

sujeto a

$$f_k(\mathbf{x}) \leq f_k \quad \text{para toda } k \dots h \quad (2.2b)$$

donde  $f_k(\mathbf{x})$  es el objetivo seleccionado y  $f_k$  es la frontera menor especificada a ser alcanzada por el  $k^{\text{vo}}$  objetivo. El conjunto solución no inferior al problema de programación multi-objetivo, ecuaciones (2.2a-b) puede obtenerse por variación sistemática de  $f_k$  y resolviendo las ecuaciones (2.2a-b).

Como el punto óptimo no es alcanzable, se puede determinar la distancia mínima entre el punto óptimo y la frontera de la zona no inferior a partir de (ver Figura 2.1):

$$d_\alpha = \left\{ \sum_{k=1}^p |Z_k^* - Z_k(x)|^\alpha \right\}^{1/\alpha} \quad (2.3)$$

donde  $Z_k^*$  es el valor óptimo de la función objetivo  $k$ ,  $Z_k(x)$  es la función objetivo  $k$  a evaluar y “ $\alpha$ ” un parámetro de ajuste, el cual es normalmente igual a 2. Karamouz **et al** (2003).

Observar que tanto el método de ponderación como el método de restricción derivan el conjunto solución inferior al problema de programación multi-objetivo resolviendo repetidamente un problema de objetivo simple.

#### Técnicas que incorporan las preferencias previas de los tomadores de decisiones:

- **Programación por metas**

En la formulación de programación de metas, el problema multi-objetivo se transforma en:

$$\text{Minimizar } \sum_{k=1}^p (w_k^+ d_k^+ + w_k^- d_k^-) \quad (2.4a)$$

sujeto a

$$f_k(\mathbf{x}) - d_k^+ + d_k^- = G_k \quad \text{para } k=1,2,\dots,p \quad (2.4b)$$

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) = \mathbf{0} \quad (2.4c)$$

en donde  $d_k^+$  y  $d_k^-$  son las variables de decisión no negativas tradicionales representando, respectivamente, las desviaciones debidas al sobre-alcance y sub-alcance de la meta  $G_k$  para el  $k^{\text{vo}}$  objetivo,  $f_k(\mathbf{x})$ ;  $w_k^+$  y  $w_k^-$  son factores de peso asociados con los dos tipos de desviación, respectivamente;  $\mathbf{x}$  y  $\mathbf{g}(\mathbf{x})$  es el vector de las variables de decisión originales y restricciones, respectivamente. Las dos variables de decisión no negativas  $d_k^+$  y  $d_k^-$  satisfacen la condición que ambas no pueden ser simultáneamente mayores que cero. Los factores de peso  $w_k^+$  y  $w_k^-$  pueden ser usados para indicar la importancia relativa de los diferentes tipos de desviación para las varias funciones objetivo consideradas en el problema.

- **Intercambio de valores sustitutos**

El problema de programación multi-objetivo se escribe como

$$\text{Maximizar } f_l(\mathbf{x}) \quad (2.5a)$$

sujeto a

$$f_k(\mathbf{x}) \leq f_k^0 \quad \text{para toda } k \dots l \quad (2.5b)$$

en donde  $f_k^0$  son valores pre-especificados para las funciones objetivo. Haimes y Hall (1974) muestran que los valores de los multiplicadores de Lagrange  $\beta_k$  para la ecuación restricción es la Tasa Marginal de Transformación,  $TMT$ , entre  $f_k(\mathbf{x})$  y  $f_l(\mathbf{x})$ ,  $TMT_{kl}$ , indicando la cantidad de  $f_l(\mathbf{x})$  que puede ser ganada sacrificando una unidad de  $f_k(\mathbf{x})$ .

Para evitar la tarea difícil de evaluar la función utilidad real, el método requiere al tomador de decisiones para usar una escala ordinal que represente una preferencia de acuerdo con la diferencia relativa entre la sustitución factible  $TMT_{kl}$  y la sustitución deseable del tomador de decisiones Tasa Marginal de Sustitución,  $MRS_{kl}$  que sacrifique  $f_k(\mathbf{x})$  para ganar con  $f_l(\mathbf{x})$ . El valor asignado a la  $TMT_{kl}$  es llamado valor surrogado  $VS_{kl}$ , el cual, en turno, depende de  $f_k^0$ . La asignación del valor del precio surrogado puede hacerse usando

$$VS_{kl} = \begin{cases} > \min(0,10) & \text{si } TMS_{kl} > TMT_{kl} \\ > \min(-10,0) & \text{si } TMS_{kl} < TMT_{kl} \end{cases} \quad (2.6)$$

con +10 indicando una satisfacción completa al sustituir  $f_k(\mathbf{x})$  por  $f_l(\mathbf{x})$  y -10 indicando una insatisfacción completa. La mejor solución compromiso para  $f_k(\mathbf{x})$  puede obtenerse cuando  $VS_{kl} = 0$ . Esto puede alcanzarse resolviendo ec(2.5a-b) para  $\mathcal{S}_k = TMT_{kl}$  bajo diferentes  $f_k^0$  en la ec. (2.5b) y resultando el correspondiente precio surrogado del tomador de decisiones.

Hasta aquí se puede decir que se tienen las principales técnicas que históricamente han apoyado la programación multi-objetivo y que prácticamente no ha variado. A continuación se muestran metodologías y aplicaciones que de alguna u otra manera incluyeron algunas las técnicas mencionadas anteriormente para el manejo de los recursos hidráulicos.

Taylor **et al** (1975) tomando en cuenta que la legislación de los 70's incluía, además del beneficio económico neto en el manejo de las embalses, la conservación del ambiente como objetivo básico, propuso una técnica denominada *Sistema de Evaluación Ambiental*, la cual se basa en un arreglo jerárquico de indicadores de calidad, clasificando las áreas ambientales en cuatro categorías: ecología, contaminación ambiental, estética e interés humano; terminando con una propuesta de 78 parámetros ambientales de evaluación, los cuales se representan como variables ponderadas en un rango de 0 a 1. Las técnicas de programación multi-objetivo propuestas fueron las pertenecientes a los métodos *con preferencias previas (programación por metas e intercambio de valores sustitutos)*.

Lansford **et al** (1979), usando programación lineal, aplicaron el *método de ponderación* entre los objetivos de riego por gravedad y riego por aspersión, en un proyecto de irrigación del territorio Navajo, Kansas, USA. Se calcularon los impactos sobre los precios sombra del agua, el

ingreso de la agricultura y el empleo en función de la asignación hidráulica para uso agrícola, usando los sistemas de riego mencionados. Se concluyó que era factible económicamente que el sector agrícola vendiera derechos de agua para la hidro-generación eléctrica, siempre y cuando se cambiara de riego por gravedad a riego por aspersión, por lo que se debía invertir en investigación y apoyo a la agricultura.

Yeh y Becker (1982) desarrollaron un procedimiento para operar el sistema de California Central Valley Project, usando programación multi-objetivo lineal, para obtener el conjunto de puntos no inferiores con el *método de restricción*, conjuntamente con *programación dinámica* para proponer reglas de operación en tiempo real. Los objetivos en conflicto analizados fueron: (1) producción hidro-eléctrica, (2) protección de pesca, (3) conservación de la calidad del agua, (4) abastecimiento, y (5) recreación. Presentan en forma gráfica el impacto que sobre la generación de hidro-electricidad y sobre el volumen de almacenamiento tienen los otros usos, considerando un año seco y otro normal. Con base en bibliografía anterior, concuerdan con que no existe un algoritmo general para la solución de los problemas de optimización de embalses. Que la selección del método depende de las características del sistema, la disponibilidad de datos, y los objetivos y restricciones especificados.

Ghanchit y Terrel (1989) aplicaron una metodología apoyada por *programación por metas* y *programación probabilísticamente restringida* en un sistema de tres presas (dos de ellas en paralelo) ubicadas en el sistema de presas del Red River en Oklahoma, USA. El escurrimiento fue ajustado por medio de funciones de distribución de probabilidad para considerarlo dentro de las restricciones. Los objetivos analizados, según su peso, fueron: abastecimiento para uso agrícola e industrial, abastecimientos aguas abajo, hidro-generación eléctrica, recreación y control de avenidas. La metodología propuesta permite al analista introducir dos conceptos interesantes: la ponderación de cada una de las metas y la consideración de la probabilidad de ocurrencia del escurrimiento.

Mohan y Raipure (1992) aplicaron un modelo de *programación lineal de objetivos múltiples* usando la *técnica de restricción*. Aunque son varios los propósitos, los objetivos en conflicto analizados fueron el uso agrícola y la hidro-generación eléctrica. Resultando la curva clásica de mayor productividad para que los tomadores de decisiones seleccionen la solución mejor transigida, apoyándolos con los valores de la *tasa marginal de transformación* en los diferentes puntos no inferiores seleccionados al aplicar el *método de restricción* previamente.

Modelaron tres alternativas: una con el escurrimiento promedio y dos sumando y restando la desviación estándar del escurrimiento promedio, respectivamente.

Por otra parte, durante los 90's han comenzado a tener cierto auge algunas técnicas que, aunque fueron aplicadas anteriormente a otras áreas, en el caso de los recursos hidráulicos se podría decir que son novedosas. La *lógica difusa*, entre otras, es una de esas técnicas que, usadas conjuntamente con los métodos desarrollados anteriormente de programación multi-objetivo, generan nuevas opciones que se podrían considerar dentro de la clasificación propuesta por Cohon (1975), *generadoras* o con *preferencia previa del tomador de decisiones*.

Bellman, Sadeh y Zimmermann, y últimamente Sakawa, son parte importante del desarrollo y aplicación de la lógica difusa en general.

En general, un conjunto difuso se define como, Zadeh (1974) citado por Sakawa (2000): *Sea X un conjunto universal. Entonces un subconjunto difuso  $\tilde{A}$  de X se define por sus funciones de pertenencia (o membresía).*

$$: \tilde{A} : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.7)$$

*el cual asigna a cada elemento  $x \in X$  un número real  $: \tilde{A}(x)$  en el intervalo  $[0, 1]$ , donde el valor de  $: \tilde{A}(x)$  en  $x$  representa el grado de número de miembros de  $x$  en  $\tilde{A}$ . Entonces, el más cercano valor de  $: \tilde{A}(x)$  es unitario, el grado mayor de pertenencia de  $x$  en  $\tilde{A}$ .*

Un subconjunto difuso  $\tilde{A}$  puede caracterizarse como un conjunto de pares ordenados de elemento  $x$  y grado  $: \tilde{A}(x)$  y es frecuente escrito como:

$$\tilde{A} = \{(x, : \tilde{A}(x)) \mid x \in X\} \quad (2.8)$$

Un número difuso  $\tilde{m}$  de tipo triangular está definido por una función pertenencia triangular como (Sakawa, 2000):

$$\mu_{\tilde{m}} = \begin{cases} 0, & x < l, x > r \\ 1 - \frac{x-l}{l-m}, & l \leq x \leq m \\ 1 - \frac{x-m}{r-m}, & m \leq x \leq r \\ 1, & x = m \end{cases} \quad (2.9)$$



La Figura 2.3 muestra un ejemplo de una función membresía de un número difuso triangular  $\tilde{m}$ .

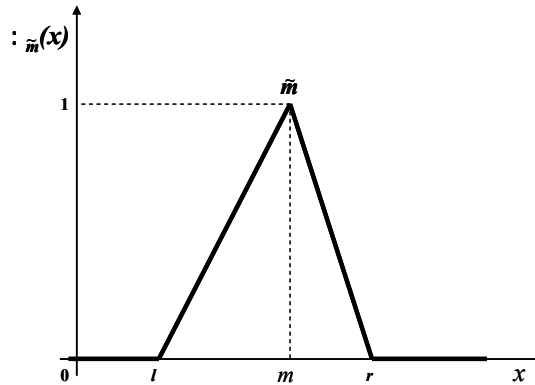


Figura 2.3. Función membresía triangular.

Una de las operaciones básicas en conjuntos difusos es la intersección, la cual considera dos conjuntos difusos  $A$  y  $B$  en  $X$ , denotada por  $A \_ B$ , definida por

$$A \_ B = : A \_ B(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \text{ para toda } x \in X. \quad (2.10)$$

La intersección  $A \_ B$  es el mayor conjunto difuso contenido en  $A$  y  $B$ .

Gómez (s.f.) presenta la función de pertenencia  $\gamma$  (gamma), definida por su límite inferior  $a$  y el valor  $k > 0$ . Ver Figura 2.4.

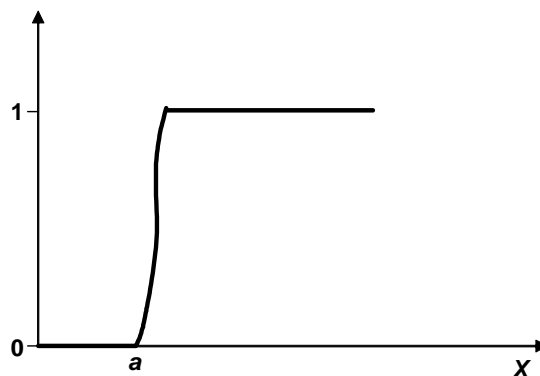


Figura 2.4. Función de pertenencia gamma

Definida por:

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ 1 - e^{-k(x-a)^2}, & \text{si } x > a \end{cases} \quad (2.11)$$

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{k(x-a)^2}{1+k(x-a)^2}, & \text{si } x > a \end{cases} \quad (2.12)$$

Aproximando linealmente se obtiene lo siguiente:

$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{si } x \in (a, m) \\ 1, & \text{si } x \geq m \end{cases} \quad (2.13)$$

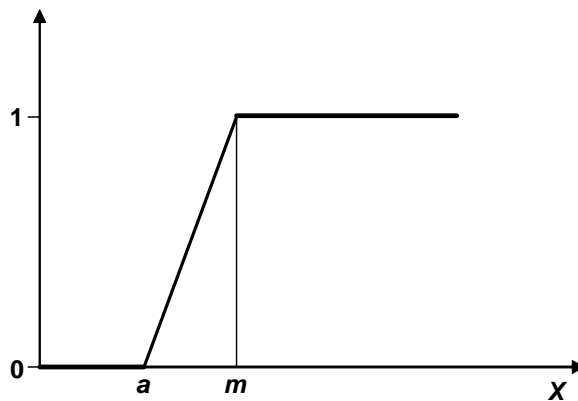


Figura 2.5. Función de pertenencia gamma linealizada.

Karamouz **et al** (2003) presenta algunas de las operaciones básicas con conjuntos difusos. Considere los conjuntos difusos esquematizados en la Figura 2.6.

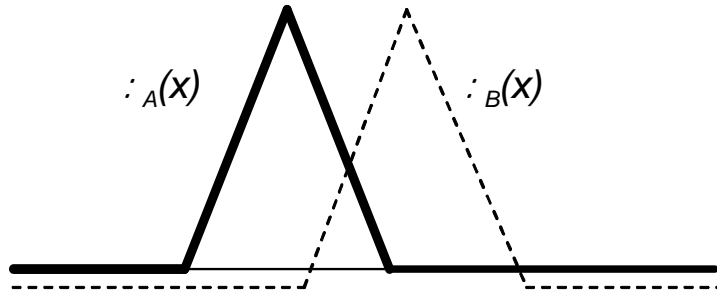


Figura 2.6. Funciones membresía de A y B

La intersección de los conjuntos difusos A y B se define como:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x); \mu_B(x)\} \quad (\text{para toda } x \in X) \quad (2.14)$$

La unión de los conjuntos difusos A y B está dada por:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x); \mu_B(x)\}, \quad \text{para toda } x \in X \quad (2.15)$$

El producto algebraico de los conjuntos difusos A y B se denota por AB y se define por la relación:

$$\mu_{AB}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x), \quad \text{para toda } x \in X \quad (2.16)$$

La suma algebraica de los conjuntos difusos A y B se denota por A + B y tiene la función de membresía:

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - 2\mu_A(x)\mu_B(x), \quad \text{para toda } x \in X \quad (2.17)$$

En la Figura 2.7 se aprecia el comportamiento de las operaciones anteriores.

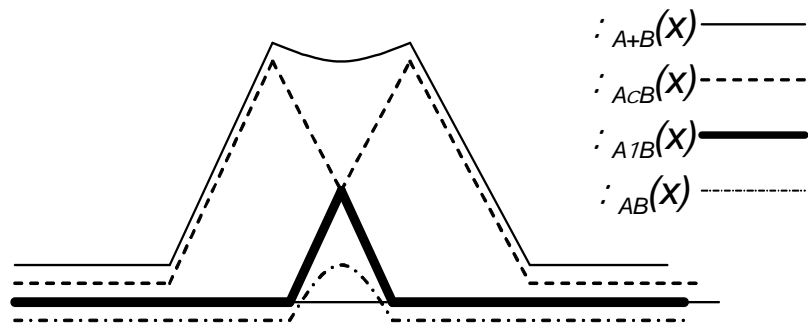


Figura 2.7. Operaciones de conjuntos difusos  $A \cap B$ ,  $A \cup B$ ,  $A \cdot B$  y  $A + B$ .

Zimmermann (1978) propone desde entonces la teoría de conjuntos difusos como una técnica más de programación lineal multi-objetivo. Plantea un ejemplo de asignación de recursos para maximizar el beneficio neto y el intercambio de materiales, y compara los posibles resultados que se pudieran obtener de la solución mejor transigida usando métodos como el de *utilidad* o el de *programación por metas* y usando conjuntos difusos. Con lo que propone que los conjuntos difusos podrían complementar los métodos multi-objetivo usados entonces.

Conservando su vigencia desde los 70's, Zimmermann (1996, 3° edición) hace un análisis exhaustivo de lo que son las Matemáticas difusas y una gran variedad de Aplicaciones de la teoría difusa, incluyendo a la programación lineal, dinámica y multi-objetivo. Sosteniendo la posibilidad de aplicar esta herramienta por su sencillez y poder.

Bellman y Zadeh (1970), citados por Zimmermann (1996) introducen tres conceptos básicos: objetivo (meta) difuso, restricción difusa y decisión difusa y exploran la aplicación de estos conceptos en los procesos de toma de decisiones bajo difusividad.

Zimmermann (1996), introduce el marco conceptual para toma de decisiones en un ambiente difuso de la siguiente manera:

Sea  $X$  un conjunto dado de alternativas posibles que contienen la solución de un problema de toma de decisión en consideración.

Un objetivo difuso  $G$  es un conjunto difuso en  $X$  caracterizado por su función membresía,

$$\mu_G : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.18)$$

Una restricción difusa  $C$  es un conjunto difuso en  $X$  caracterizado por su función membresía,

$$\mu_C : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.19)$$

Entendiendo que ambos, el objetivo difuso y la restricción difusa, son pretendidamente satisfechos simultáneamente, Bellman y Zadeh (1970) definieron la decisión difusa  $D$  resultante de un objetivo difuso  $G$  y una restricción difusa  $C$  como la intersección de  $G$  y  $C$ .

Para ser más explícito, la decisión difusa de Bellman y Zadeh (1970) en el conjunto difuso  $D$  en  $X$  definido como:

$$D = G \cap C \quad (2.20)$$

y está caracterizado por su función membresía,

$$\mu_D(x) = \min(\mu_G(x), \mu_C(x)). \quad (2.21)$$

La decisión de maximización es entonces definida como:

$$\text{maximizar } \mu_D(x) = \text{maximizar } \min(\mu_G(x), \mu_C(x)). \quad (2.22)$$

$$x \in X \quad x \in X$$

Más generalmente, la decisión difusa  $D$  resultante de  $k$  objetivos difusos  $G_1, \dots, G_k$  y  $m$  restricciones difusas  $C_1, \dots, C_m$  se define por:

$$D = G_1 \cap \dots \cap G_k \cap C_1 \cap \dots \cap C_m \quad (2.23)$$

y la decisión maximizante correspondiente se define como:

$$\text{maximizar } \mu_D(x) = \text{maximizar } \min(\mu_{G_1}(x), \dots, \mu_{G_k}(x), \mu_{C_1}(x), \dots, \mu_{C_m}(x)). \quad (2.24)$$

$$x \in X \quad x \in X$$

Es muy importante entender aquí que en la decisión difusa definida por Bellman y Zadeh (1970), los objetivos difusos y las restricciones difusas entran dentro de la expresión para  $D$  en la

misma manera exactamente. En otras palabras, en la definición de decisión difusa, no existe mayor diferencia entre los objetivos difusos y las restricciones difusas.

Sin embargo, dependiendo de las situaciones, pueden considerarse otros patrones agregados para el objetivo difuso  $G$  y para la restricción difusa  $C$ . Cuando los objetivos difusos y las restricciones difusas tienen importancia desigual, Bellman y Zadeh (1970) también sugieren lo que llaman la *decisión difusa transmitida* definida por

$$\mu_D^{co}(x) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \mu_{G_i}(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j \mu_{C_j}(x), \quad (2.25)$$

$$\sum_{i=1}^k \alpha_i + \sum_{j=1}^m \beta_j = 1, \quad \alpha_i, \beta_j \geq 0 \quad (2.26)$$

donde los coeficientes ponderados reflejan la importancia relativa entre los objetivos difusos y las restricciones difusas.

Como un ejemplo de una definición alternativa de una decisión difusa, la *decisión difusa producto* definida por

$$\mu_D^{pr}(x) = \left( \prod_{i=1}^k \mu_{G_i}(x) \right) * \left( \prod_{j=1}^m \mu_{C_j}(x) \right) \quad (2.27)$$

ha sido propuesta.

Para la decisión difusa transmitida o decisión difusa producto, se definen de manera similar a la decisión de maximización para la decisión difusa, la decisión de maximización para seleccionar  $x^*$  es

$$\mu_D^{co}(x^*) = \max_{x \in X} \left[ \sum_{i=1}^k \alpha_i \mu_{G_i}(x) \right] \quad (2.28)$$

o

$$\mu_D^{pr}(x^*) = \max_{x \in X} \left[ \left( \prod_{i=1}^k \mu_{G_i}(x) \right) * \left( \prod_{j=1}^m \mu_{C_j}(x) \right) \right] \quad (2.29)$$

Debe notarse aquí que entre estos tres tipos de decisiones difusas :  $\mu_D^{co}(x)$ ,  $\mu_D^{pr}(x)$  y  $\mu_D(x)$ ,

existen la siguiente relación:

$$\mu_D^{pr}(x) \leq \mu_D(x) \leq \mu_D^{co}(x) \quad (2.30)$$

Por otro lado, Kirsch (2001) plantea las funciones de pertenencia de maximización y minimización, así como la de un valor objetivo de la siguiente manera:

- Funciones de pertenencia de maximización y minimización,  $m(y_i)$ :

En la Figura 2.8 se aprecia el comportamiento de estas funciones de pertenencia, las cuales pueden ser expresadas como:

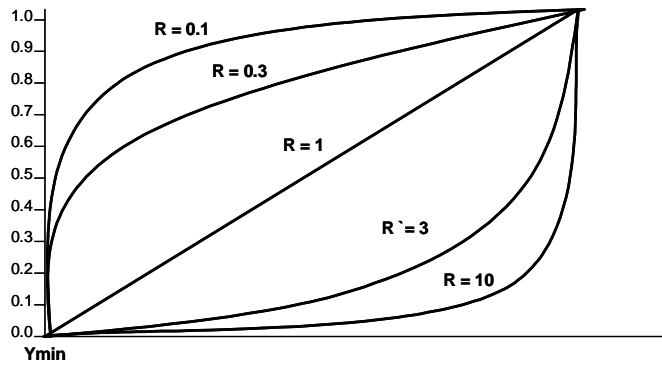


Figura 2.8. Funciones de pertenencia de maximización y minimización,  $m(y_i)$

$$m(y_i) = \begin{cases} 0, & y_i \leq y_{\min} \\ \left( \frac{y_i - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \right)^R, & y_{\min} < y_i < y_{\max} \\ 1, & y_i \geq y_{\max} \end{cases} \quad (2.31)$$

- Funciones de pertenencia con valor objetivo especificado

En la Figura 2.9 se aprecia el comportamiento de estas funciones de pertenencia cuando

se especifica un valor específico del objetivo  $C_i$ , las cuales pueden ser expresadas como:

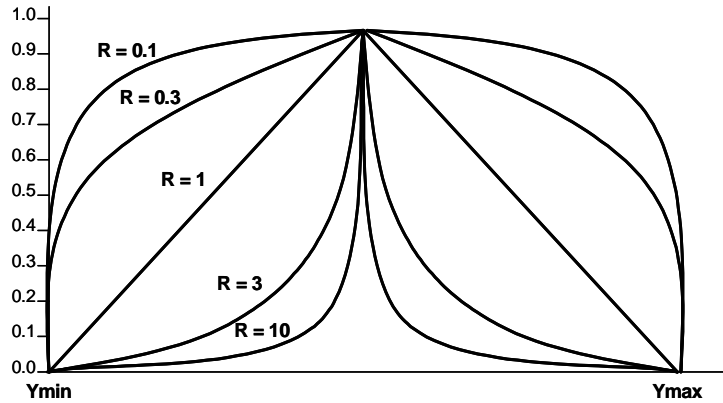


Figura 2.9. Comportamiento de estas funciones de pertenencia cuando se asigna un valor específico del objetivo

$$m(y_i) = \begin{cases} \left( \frac{y_i - y_{\min}}{C_i - y_{\max}} \right)^R, & y_{\min} < y_i \leq C_i \\ \left( \frac{y_i - y_{\max}}{C_i - y_{\max}} \right)^R, & C_i < y_i < y_{\max} \\ 0, & y_i \leq y_{\min} \text{ o } y_i \geq y_{\max} \end{cases} \quad (2.32)$$

Russell y Campbell (1996) aplicaron tanto simulación (usando conjuntos difusos para escurrimientos y precios de energía) como programación dinámica para proponer reglas de operación mensuales en una presa con propósito de hidro-generación eléctrica en Vancouver, Canada. Al comparar los resultados de ambos métodos, se apreció que eran más apropiados los de programación dinámica. Sin embargo, la diferencia entre los óptimos era de aproximadamente un 3.5% entre ambos métodos, por lo que los autores, a pesar de obtener mejores resultados con programación dinámica, justifican la pequeña diferencia comparando la sencillez de ambos modelos, recomendando como otra alternativa más factible de usar en la práctica a la simulación con el uso de conjuntos difusos.



Shrestha **et al** (1996) determinaron las reglas difusas de operación diaria para una presa multi-propósito en el Tenkiller Lake, Oklahoma. Usaron la regla de control difusa denominada *if then else*; en donde, a partir de un período de tiempo observado del comportamiento del sistema, se calibra el modelo de simulación y se obtienen dichas reglas de control. Se consideraron variables como almacenamiento, escurrimiento, demanda, evaporación neta con el fin de determinar la extracción. Se usó el período de 1980-88 y 1990-92 para calibración de las reglas de control difusas y se validó el modelo con el año de 1989. Al comparar los resultados con el manejo real de 1989, se observó que con el modelo se tenía un comportamiento más regular de los volúmenes de la presa.

Yin **et al** (1999) presentan un resumen de los esfuerzos de un comité denominado Working Committee 4 (WC4) dirigidos a determinar el impacto que la fluctuación de los niveles de los Great Lakes-St. Lawrence River Basin, en Canadá y EUA. Se optó por aplicar el análisis de relación difusa sobre otros métodos multi-criterio, para evaluar el impacto sobre incertidumbre, debido a ciertas ventajas como disponibilidad de datos, requerimientos computacionales e interpretación de resultados. Para este estudio se requirió la intensa participación de todos los implicados en el fenómeno que comparten diferentes criterios, muchos de ellos en conflicto. Una vez determinadas las medidas de alternativas, sus criterios de evaluación y el posible impacto (causas y efectos), se ponderó, según las preferencias previas de los implicados obtenidas a través de encuestas, cada uno de los posibles impactos (similar al método de *intercambio de valores sustitutos* en programación multi-objetivo). Los resultados sirvieron, sobre todo a los gobiernos, para identificar medidas deseables a través de las cuales se pueden aliviar los impactos adversos de las fluctuaciones de niveles.

Panigrahi y Mujumdar (2000) desarrollaron un modelo, usando programación dinámica estocástica, para determinar reglas de operación difusas para el uso agrícola en la presa Malaprabha. El enfoque es similar al aplicado por Russel y Campbell (1992) y Shrestha **et al** (1996), con la diferencia de que el marco teórico de las reglas difusas se deriva de un modelo estocástico explícito.

Sakawa (2000) muestra un análisis teórico detallado de la programación multi-objetivo difusa interactiva a gran escala. El desarrollo se fundamenta en el concepto de que se pueden determinar objetivos, restricciones y decisiones difusas. Para lo cual se aplica la programación

matemática (haciendo énfasis en programación lineal) para resolver el problema *Minimax*, obteniendo la intersección entre objetivos, restricciones y decisiones difusas con el fin de plantear la solución a una alternativa multi-objetivo planteada.

Dubrovin y Turunen (2000), se propone un modelo de control basado en conjuntos difusos, simulando con la metodología IF THEN ELSE. Se examina la variación estacional de las variables hidrológicas y las metas operacionales, considerando las entradas como valores relativos dependientes de la estación, en lugar de valores absolutos. Se aplicó en un lago regulado de Finlandia, Lago Paijanne. Se consideraron dos variables independientes: la extracción y los volúmenes almacenados.

Mays (2001), sobre el rol del agua en la hidro-generación eléctrica se puede decir que: la demanda de electricidad (carga) puede expresarse en términos de demanda de energía (o uso de la demanda de potencia) o demanda de capacidad (o demanda pico de potencia). Con el fin de satisfacer las demandas de electricidad a lo largo de un período de tiempo, es dividida en carga base (demanda durante todo el período de tiempo), carga pico (demanda máxima durante el período de tiempo) y carga intermedia (demanda entre las dos cargas anteriores). Ver Figura 2.10.

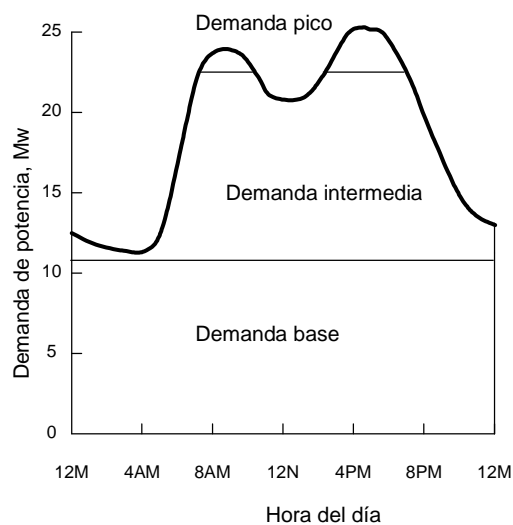


Figura 2.10. Tipos de demanda eléctrica

La carga para el día pico del año determina la capacidad de generación requerida; y la carga semanal o mensual pico dicta la cantidad de energía almacenada en formas de combustible para plantas termoeléctricas o de agua para hidroeléctricas.

Tilmant, Vanclooster, Duckstein y Persoons (2002), desarrollaron un modelo de simulación para la presa Manssur Eddahbi, Marruecos, aplicando Programación dinámica estocástica y difusa y no difusa, considerando la hidro-generación y la irrigación como objetivos en conflicto. Aplicaron el método de ponderación. A pesar de las diferencias considerables en la representación matemática de los objetivos y restricciones, se muestra que ambas formulaciones arrojan mediciones similares en el desempeño del sistema.

Labadie (2004) presenta una revisión del estado del arte para la operación óptima de hidro-sistemas múltiples. Después de analizar métodos de optimización basados en características multi-dimensionales, dinámicas, no-lineales y estocásticas, concluye que la aplicación de métodos heurísticos como redes neuronales, algoritmos genéticos y conjuntos difusos, ha sido lenta debido a su escasa fundamentación teórica o científica, a pesar de su gran ventaja.

Otros términos importantes para satisfacer los requerimientos de energía eléctrica para un período de tiempo  $t$  son:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{carga promedio de la planta}}{\text{carga pico}} \quad (2.33)$$

donde los factores de carga se expresan diaria, semanal, mensual o anualmente. Si un factor de carga es alto, el valor unitario de la energía es bajo porque el sistema opera tanto cerca de su capacidad, así como de su máxima eficiencia. Para un factor de carga pequeño, mucha de la capacidad del sistema de generación está desperdiciado en una gran parte del tiempo.

También, para un  $t$ ,

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{carga promedio sobre la planta}}{\text{capacidad instalada}} \quad (2.34)$$

por ejemplo, un factor de planta se puede calcular dividiendo la energía anual promedio (Kwh) entre la capacidad instalada (Mw) multiplicada por 8,760 horas.

Finalmente, un número de indicadores son usados para descubrir el posible comportamiento de los sistemas de embalses, tales como: *qué tan a menudo falla* (**confiabilidad**), *qué tan rápido se recobra el sistema a su estado normal satisfactorio una vez*

pasada la falla (**elasticidad**) y qué tan significativas son las consecuencias de las fallas (**vulnerabilidad**). Es común expresar estos parámetros como la probabilidad de que alguna respuesta del sistema alcance ciertos niveles durante un horizonte de tiempo (Amisial y Barrios, 1986)

Estas medidas ofrecen una mejor descripción del comportamiento del sistema y de aquí que pueden contribuir en la evaluación de una alternativa tanto en reglas de operación como en diseños propuestos.

Confiabilidad ("):

$$Z_t = \begin{cases} 1, & \text{Si } X_t \in S \\ 0, & \text{Si } X_t \in F \end{cases} \quad (2.35)$$

$$\alpha = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N Z_t \quad (2.36)$$

donde:

$X$ : Variable que representa el estado del sistema

$S$ : Estados satisfactorios del sistema, es decir, sin falla

$F$ : Estado insatisfactorio del sistema

$N$ : No. de períodos de tiempo

$t$ : Período determinado,  $t = 1, \dots, N$

$Z$ : Variable que representa falla o éxito.

Elasticidad (R):

La elasticidad se define como *el inverso del valor esperado del tiempo que dura el sistema en un estado insatisfactorio*

Si  $W_t$  es el indicador de transición de un estado exitoso a otro de falla, este indicador puede definirse como:

$$W_t = \begin{cases} 1, & \text{Si } X_t \in S \text{ y } X_{t+1} \in F \\ 0, & \text{de cualquier otra forma} \end{cases} \quad (2.37)$$

A largo plazo, el valor promedio de  $W_t$  es igual a la probabilidad  $P$  de que el sistema esté en S en un período y pase a F en otro.

$$P = \text{Prob}(X_t \in S, X_{t+1} \in F) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N W_t \quad (2.38)$$

La elasticidad está dada por el inverso del valor esperado de ese tiempo, es decir:

$$\psi = \frac{P}{1-\alpha} = \frac{\text{Prob}(X_t \in S \text{ y } X_{t+1} \in F)}{\text{Prob}(X_t \in F)} \quad (2.39)$$

Vulnerabilidad (<):

Para expresarla matemáticamente, sea  $X_t$  la variable que representa el comportamiento del sistema, que puede tomar valores discretos desde  $X_1$  hasta  $X_N$ . Para construir un indicador cuantitativo de la vulnerabilidad del sistema para fallas severas que ocurran, se asigna a cada estado de falla discreta un indicador numérico de la severidad del estado  $S_j$ , siendo  $E_j$  la probabilidad de que  $X_j$  correspondiente a  $S_j$  sea la más insatisfactoria que ocurra en la permanencia del conjunto en estado insatisfactorio F. La vulnerabilidad puede entonces describirse como:

$$v = \sum_{j \in F} S_j E_j \quad (2.40)$$

- Major, D.C. 1977. Multiobjective Water Resource Planning. AGU. Water Resources Monograph. USA.
- Major, D.C. y Lenton, R.L. 1979. Applied Water Resource Systems. Prentice-Hall. USA.
- Mays, L.W. y Tung, Y.K. 1992. Hydrosystems: Engineering & Management. Mc-Graw Hill. USA.
- Mays, L. W., 1996. Water Resources Handbook. McGraw-Hill. New York, USA
- Mays, L.W. 2001. Water Resources Engineering. John Wiley & Sons. USA. p. 491-493.
- Mohan, S. Y Raipure, M. 1992. Multiobjective Analysis of Multireservoir System. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 118, No. 4, p. 356-370
- Panigrahi, D.P. y Mujumdar, P.P. 2000. Reservoir Operation Modelling with Fuzzy Logic.
- Russell, S. y Campbell, P. 1996. Reservoir Operating Rules with Fuzzy Programming. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 122, No.3, p. 165-170.
- Shrestha, P., Duckstein, L. y Stakhiv, E. 1996. Fuzzy Rule-Based Modeling of Reservoir Operation. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 122, No.4, p. 262-269.
- Sakawa, M. 2000. Large Scale Interactive Fuzzy Multiobjective Programming. Physikal-Verlag. USA.
- Taylor, B., David, R. y North, R. 1975. Approaches to Multiobjective Planning in Water Resources Projects. Water Resources Bulletin. AWRA. Vol. 11, No. 5, p. 999-1008.
- Tilmant, A.; Vancooster, M.; Duckstein, L. y Persoons, E. Comparison en Fuzzy and Non Fuzzy Optimal Reservoir Operating Policies. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 128, No.6, p. 390-398.
- Yeh, W. Y Becker, L. 1982. Multiobjective Analysis of Multireservoir Operations. Water Resources Research. AWRA. Vol. 18, No. 5, p- 1326-1336.
- Yeh, C.H. y Labadie, J.W. 1997. Multiobjective Watershed-Level Planning of Storm Water Detention Systems. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 123, No.64, p. 336-343.
- Yin, Y., Huang, G. y Hipel, K. 1999. Fuzzy Relation Analysis for Multicriteria Water Resources Management. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. Vol. 125, No.1, p. 41-47.

Zimmermann, H.J. 1978. Fuzzy Programming and Linear Programming with Several Objective Functions. Fuzzy Sets and Systems. North-Holland Publishing Company. Vol. 1, p. 45-55

Zimmermann, H.J. 1996. Fuzzy Set Theory - and Its Applications. Kluwer Academic Publishers. USA.

### III. METODOLOGÍA

Como se puede apreciar en la Fundamentación, la programación multi-objetivo se ha aplicado en la planeación del manejo de recursos hidráulicos prácticamente con las mismas técnicas descritas por Cohon en 1978, solamente han variado en su combinación con los diversos métodos de programación matemática. Ello se puede explicar debido a su efectividad al cumplir con los tres criterios propuestos por el mismo Cohon (1975), con respecto a su factibilidad y eficiencia computacional, a la claridad en el intercambio de objetivos en conflicto y a que el tomador de decisiones selecciona una alternativa lo mejor informado posible.

Por otro lado, considerando la sencillez y efectividad de los conjuntos difusos; y a que hasta ahora sus aplicaciones para sistemas de presas se han delimitado principalmente a obtener reglas de operación, aplicando la regla de control difuso *if then else* a través de simulación, se considera relevante enfrentar el problema del conflicto entre objetivos implantando una técnica novedosa de optimización para la planeación de los recursos hidráulicos, mediante el concepto propuesto por Bellman y Zadeh (1970) y posteriormente retomado por Zimmermann (1996) denominado objetivo, o meta, dentro de un ambiente de difusividad.



Otro aspecto a considerar de la aplicación de los conjuntos difusos es que, aunque en ocasiones se obtienen mejores resultados con otras técnicas de programación multi-objetivo apoyándose programación matemática, como la dinámica, su sencillez y aplicación en la práctica lo hace recomendable, ya que por lo general los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos aplicando técnicas de programación matemática tradicionales más complejas, Russell y Campbell ( 1996).

A través del presente trabajo se pretende desarrollar una técnica generadora para programación multi-objetivo usando conjuntos difusos, con el fin de generar y evaluar alternativas para la planeación del recurso hídrico.

Se procurará que la técnica de programación multi-objetivo a desarrollar cumpla con los siguientes criterios:

- Ser computacionalmente factible;
- Que se cuantifique explícitamente el intercambio entre los objetivos en conflicto;
- Proveer suficiente información para que se tome una decisión bien informada.

También, se aspira a que la técnica se ajuste a las características del sistema bajo estudio, a la disponibilidad de datos y a los objetivos y restricciones especificados.

Finalmente, se persigue solventar la desventaja de las técnicas generadoras más usadas actualmente, la cual consiste en recomendar su aplicación a un máximo de tres objetivos.

La planeación es un proceso que debe desarrollarse interactivamente entre el analista y el tomador de decisiones. El analista percibe un problema, lo define, adquiere los datos correspondientes, lo formula a través de un modelo matemático y crea y evalúa alternativas con el fin de resolverlo, el tomador de decisiones selecciona una alternativa para su implementación. Por supuesto que la planeación no es tan lineal, se puede redefinir el proceso por parte del analista ante la evaluación de las alternativas por parte del tomador de decisiones. De aquí que el presente estudio se pretende desarrollar conjuntamente con personal de la Comisión Nacional de Agua, CNA, Usuarios del Distrito de Riego del Valle del Yaqui, S de RL, y de la Comisión Federal de Electricidad, CFE.

Considerando las fases de la planeación propuestas por Cohon (1978):

1. Identificación y cuantificación de objetivos
2. Definición de las variables de decisión y las restricciones
3. Colección de datos
4. Generación y evaluación de alternativas
5. Selección de una alternativa preferida
6. Implantación de la alternativa seleccionada

Se inicia con la identificación y cuantificación de objetivos y la definición de las variables de decisión y restricciones (modelo de programación matemática). Esto es, determinar qué es lo importante (los objetivos), los controles que tienen disponibles los tomadores de decisión (las variables de decisión) y las reglas de control (las restricciones), deben ser identificadas primero en el ejercicio de planeación.

Después de que se adquieren los datos en el paso (3), las alternativas que son factibles en términos de las restricciones son generadas y evaluadas por sus impactos en los objetivos, paso (4).

En el paso (5) se selecciona una alternativa preferida por el tomador de decisiones a través de un proceso típico de selección.

Aquí es interesante considerar las implicaciones para la metodología con un objetivo simple. Si se usa un modelo de objetivo simple, entonces los pasos (4) y (5) podrían ser combinados en uno.

Aunque la programación multi-objetivo es el punto focal y está relacionado fuertemente con la planeación multi-objetivo, se diferencian en que aquella es un proceso formalmente estructurado y ordenado, en cambio la última puede ser un proceso relativamente informal a poder desarrollarse por aproximaciones sucesivas. Es decir, la programación multi-objetivo incluye los cuatro primeros pasos del proceso de planeación anterior, el resto de las fases complementa la planeación multi-objetivo.

Como también dice Cohon (1978): “Los modelos tienen un rol en el proceso de planeación, no pueden reemplazarla”.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Canales, E.A. y Díaz, M.S. 1985. Planeación del Uso Conjunto de Aguas Superficiales y Subterráneas en el Valle del Yaqui, Sonora. 1ra Parte. Informe Técnico. SARH- CPNH-ITSON.
- De la Peña, I. 1997. Disponibilidad hidráulica superficial y subterránea en la cuenca hidrológica del río Yaqui, Sonora. En el marco de una explotación agrícola. Gerencia Regional del Noroeste. Comisión Nacional del Agua.
- Díaz, M.S. 2001. Un modelo para asignación agrícola del sistema de presas del río Yaqui, Sonora, a través de una técnica de optimización y simulación. Revista de divulgación científica ITSON-DIEP. Artículo aceptado, por publicarse 2001. Instituto Tecnológico de Sonora.
- Hensel, D.R. y Hirsch, R.M 1992. Statistical methods in water resources. Ed. Elsevier Science Publishers B.V. New York, U.S.A.
- Lozano, C. L. 1992. Un modelo de programación lineal para la planeación del uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas en el Valle del Yaqui, Sonora. Tesis de Maestría en Ingeniería (Optimización de Sistemas Productivos). Instituto Tecnológico de Sonora.
- Palacios, T.G. 1999. Análisis del funcionamiento del sistema de presas del río Yaqui, Sonora, mediante un modelo de simulación con movimiento de embalse. Tesis de Maestría en Ingeniería (Administración de Recursos Hidráulicos). Instituto Tecnológico de Sonora.
- Segundo, C.I. 1996 Un modelo de programación lineal determinístico para planear la operación de extracción del sistema de presas del río Yaqui, Sonora, México, para el período de octubre de 1993 a marzo de 1996. Tesis de Maestría en Ingeniería (Optimización de Sistemas Productivos). Instituto Tecnológico de Sonora.
- Vargas, M. J. 2003. LOS DEPREDADORES. Testimonio de la expropiación agraria en el Valle del Yaqui en 1975-76. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Wagner, A., Rivera, B.J. y Villalobos, A.A. 1996. Políticas de operación óptimas de una presas en función del escurrimiento. Memorias del XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Guayaquil, Ecuador.

De lo anterior se puede inferir que el producto del presente estudio será resultado de la programación multi-objetivo, como parte esencial de la planeación multi-objetivo.

Considerando que para este tipo de estudios las técnicas generadoras son de las más adecuadas por el éxito que han tenido y por la libertad que tiene el analista para proponer alternativas de solución al ir el flujo de información de él hacia el tomador de decisiones, se pretende precisamente trabajar en el desarrollo de una técnica bajo este enfoque aplicando la teoría de los conjuntos difusos, aportando una técnica más de programación multi-objetivo para la planeación del manejo de los recursos hidráulicos.

Con el fin de validar la técnica a proponer, se comparará con los resultados de una de las técnicas más populares como es el Método de Restricción.

Para proponer una solución al problema de objetivos en conflicto entre el uso agrícola y la hidro-generación eléctrica dentro del sistema de presas del río Yaqui, se seguirán los cuatro primeros pasos de la planeación, referentes a la programación multi-objetivo:

1. Identificación y cuantificación de objetivos
2. Definición de las variables de decisión y las restricciones
3. Colección de datos
4. Generación y evaluación de alternativas

El primer resultado será el modelo matemático, cubierto por los pasos 1 y 2, considerando la opinión de los tomadores de decisiones en cuanto a ciertos controles del sistema algunos de los cuales son: los volúmenes de almacenamiento mínimos de operación (tanto para el uso agrícola en la presa Oviáchic, así como para la hidro-generación en la presa El Novillo), los volúmenes mensuales de extracción para satisfacer el riego de toda el área de cultivo, los volúmenes mensuales comprometidos para otros usos (industrial y urbano), además del comportamiento mensual de la hidro-generación en función del comportamiento correspondiente de la demanda de energía eléctrica.

Posteriormente se colectarán los datos correspondientes y finalmente se generarán y evaluarán las alternativas de solución al problema de los objetivos en conflicto en el sistema de

presas del río Yaqui.

En la Figura 3.1 se esquematiza el proceso propuesto tanto para evaluar la técnica aquí propuesta comparándola con otra técnica similar (VALIDACIÓN), de tal manera que se aprecie la aportación del presente trabajo, tomando un horizonte de planeación de 33 años (1964-65 a 1996-97); así como también la confrontación de los resultados obtenidos con las reglas de extracción de la misma técnica aquí propuesta (para años seco, medio, húmedo y observado) versus manejo histórico para el ciclo 1997-98 (ESTIMACIÓN).

En la Figura 3.2 se muestra lo que sería el proceso de aplicación validando con un horizonte de planeación de 34 años (1964-65 a 1997-98) y estimando para el ciclo 1998-99.

Vale la pena mencionar dos aspectos: (1) que debido a que la hidro-generación está sujeta al uso agrícola y a que la capacidad instalada responde a 6 de los 12 meses, la demanda media es la indicada a abastecer, como se ha hecho hasta ahora por la Comisión Federal de Electricidad; (2) en los últimos cinco años se ha roto dos veces el registro histórico de máxima sequía.

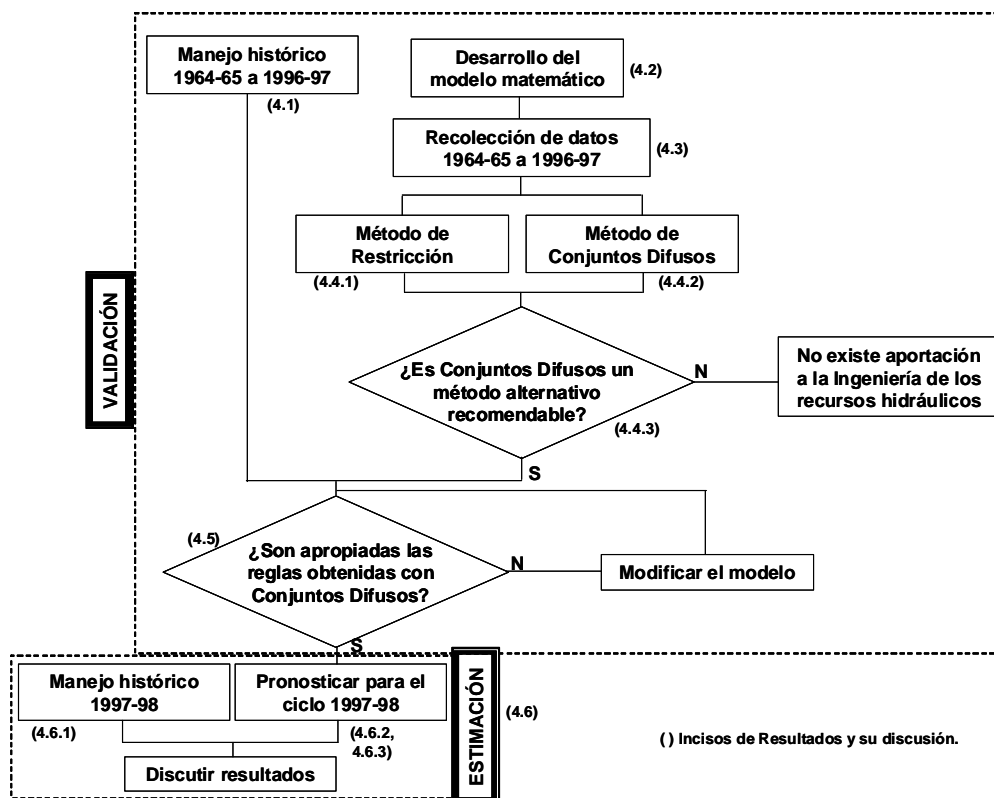
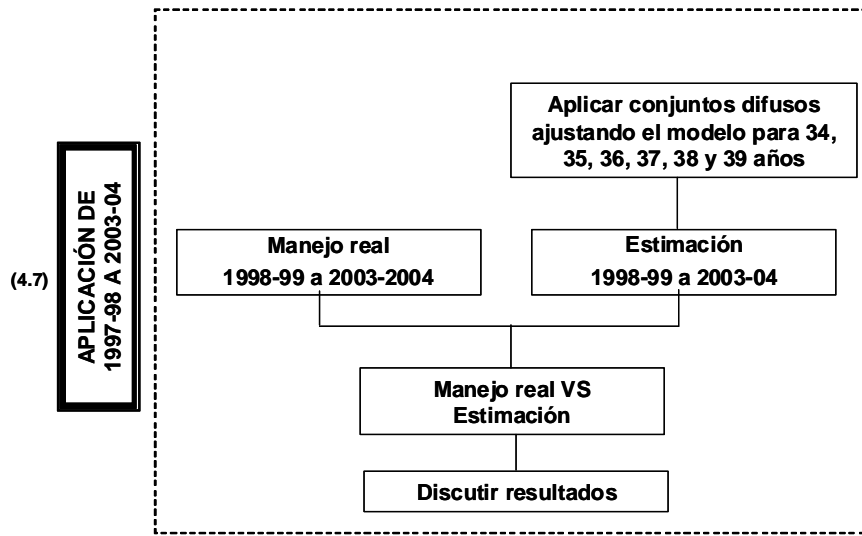


Figura 3.1. Procesos de Validación y Estimación del método de Conjuntos Difusos



( ) Inciso de Resultados y su discusión.

Figura 3.2. Proceso de Aplicación del método de Conjuntos Difusos

#### **IV. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN**

En la Figura 4.1 se muestra el sistema conceptual de presas del Yaqui.

Considerando los pasos de la metodología propuesta en el capítulo anterior, se obtienen los siguientes resultados:

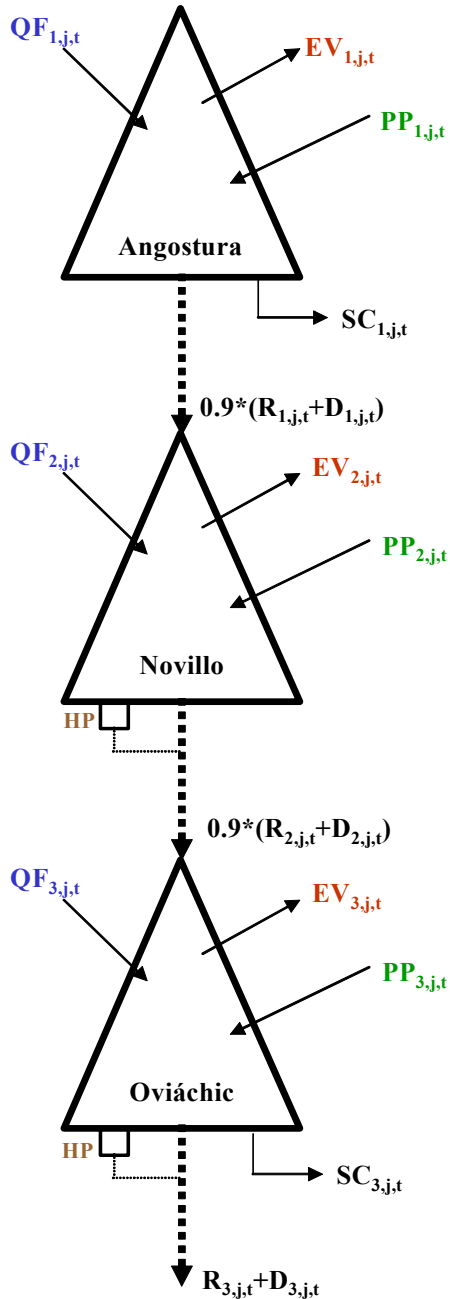
### **VALIDACIÓN**

#### **4.1 Manejo histórico**

##### **4.1.1 Manejo observado del período 1964-65 a 1996-97 (33 años)**

Con los datos de funcionamiento de los vasos del hidro-sistema del Yaqui (facilitada por la C.N.A.) se puede obtener información que refleja su comportamiento histórico, alguna de la información básica considerada para el presente trabajo como representativa de la eficiencia general con la que se ha manejado el hidro-sistema es la siguiente:

- Los volúmenes de almacenamiento iniciales y finales,
- La extracción promedio anual para uso agrícola,



donde

$j = j^{\text{vo}}$  mes, 1 a 12

$t = t^{\text{vo}}$  año, 1 a NA

1 = Presa Angostura

2 = Presa El Novillo

3 = Presa Oviáchic

NA = número de años

$QF$  = escurrimiento mensual,  $hm^3$

$PP$  = precipitación mensual,  $hm^3$

$EV$  = evaporación mensual,  $hm^3$

$D$  = derrame mensual,  $hm^3$

$R$  = extracción mensual,  $hm^3$

$SC$  = volumen mensual comprometido,  $hm^3$

$HP$  = hidro-generación, Mw

Nota: Históricamente se ha observado una

pérdida del 10% del flujo entre

presas, CNA.

Figura 4.1. Sistema conceptual de presas del Yaqui



- c. La hidro-generación en El Novillo (comportamientos “efectivo,  $e$ ” y “residual,  $r$ ”);
- d. La hidro-generación en el Oviáchic.

En la Tabla 4.1 se muestra un resumen de la información histórica considerada.

Tabla 4.1. Comportamiento del manejo histórico 1964-65 a 1996-97 (33 años) del sistema de presas del Yaqui.

<b>MANEJO HISTÓRICO DE LOS USOS EN ESTUDIO: 1964-65 A 1996-97</b>		
Volúmenes de almacenamiento iniciales (oct/64), $\text{hm}^3$ : $V_{\text{Ang}} = 469.88$ , $V_{\text{Nov}} = 1,707.84$ , $V_{\text{Ovi}} = 1,368.93$ Volúmenes de almacenamiento finales (oct/97), $\text{hm}^3$ : $V_{\text{Ang}} = 301.20$ , $V_{\text{Nov}} = 1,358.02$ , $V_{\text{Ovi}} = 1,118.48$ Volumen total derramado, $\text{hm}^3 = 1,760.758$ Volumen evaporado, $\text{hm}^3 = 13,054.884$ (Promedio anual: 395.603) Pérdidas entre presas, $\text{hm}^3 = 9,722.561$ (Promedio anual: 294.623)		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
84,482 $\text{hm}^3$ (promedio: 2,560 $\text{hm}^3/\text{año}$ )	17,981,395 Mwh (Promedio: 544,891 Mwh/año) 8,113,829 Mwh ( $e$ , 45.12%) 9,867,565 Mwh ( $r$ , 54.88%)	3,784,591 Mwh (Promedio: 114,683 Mwh/año)

donde  $e$  = hidro-generación efectiva, acorde con el comportamiento interanual de la demanda  
 $r$  = hidro-generación residual, desfasada interanualmente de la demanda.

Cabe recordar que tanto De la Peña (1997) como Díaz (2001) proponen un volumen de extracción promedio aproximado de 2,330  $\text{hm}^3/\text{año}$  para uso agrícola en el D.R. 041 Valle del Yaqui.

En lo que respecta a la hidro-generación eléctrica en El Novillo, en la Figura 4.2 se muestra su comportamiento mensual. Observando se aprecia una alta variabilidad, reflejándose en el comportamiento mensual de la desviación estándar y sus valores máximo y mínimo; sin un comportamiento temporal ordenado, sino más bien procurando hidro-generar la mayor energía sin importar la demanda, confirmando la priorización del uso agrícola sobre la hidro-generación; que aunque no es necesariamente negativo, se considera recomendable revisar las condiciones de diseño del hidro-sistema en donde el Oviáchic se diseñó para abastecer 2,300  $\text{hm}^3/\text{año}$  promedio según el patrón de cultivo, y El Novillo para hidro-generar cuando el comportamiento de la demanda lo requiere.

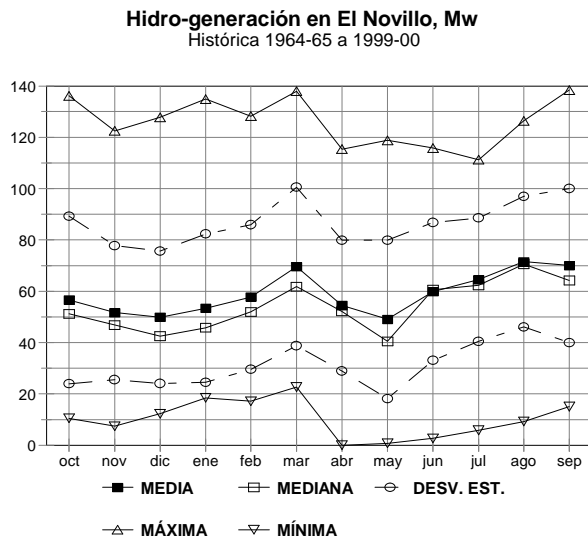


Figura 4.2. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo

Con el fin de analizar el comportamiento histórico de la hidro-generación desde el punto de vista de su relación con la temporalidad de la demanda mensual, es decir, observar qué tan eficiente ha sido su manejo mensual con respecto a la demanda del servicio; en la Figura 4.3 se muestra este comportamiento “apropiado”, el cual se calculó separando los comportamientos “efectivo” y “residual” de la energía.

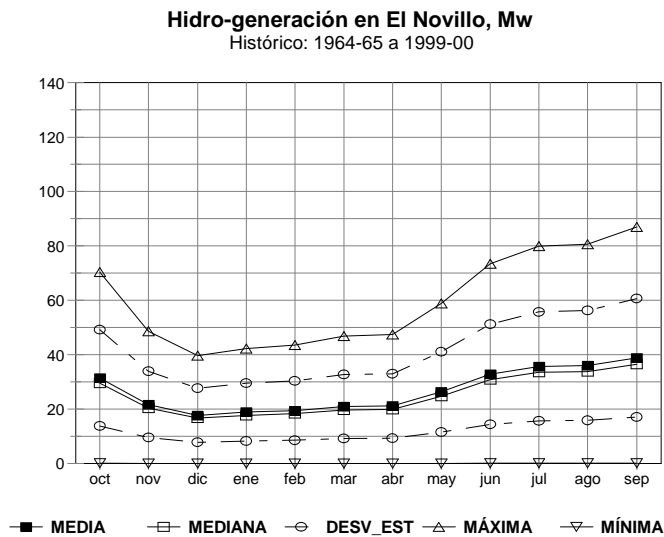


Figura 4.3. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo, considerando la temporalidad acorde con la demanda de electricidad (“comportamiento efectivo” de la energía).

Se aprecia que la hidro-generación promedio disminuye drásticamente, así como la desviación estándar y la máxima en comparación a lo mostrado en la Figura 4.2. En cuanto a la mínima, se puede ver que hubo algunos meses que prácticamente no hubo una hidro-generación apropiada para la demanda requerida. Sin embargo, en la Figura 4.3 el comportamiento temporal promedio es correspondiente con la demanda mensual, por lo que sería recomendable determinar reglas de manejo del sistema que procuren aumentar la hidro-generación con ese mismo comportamiento; lo cual es uno de los principales objetivos del presente trabajo.

#### 4.2 Modelo matemático propuesto

A continuación se muestra el modelo matemático propuesto y en el Apéndice A se expone de manera más detallada su elaboración.

Objetivo 1: Maximizar la extracción anual para uso agrícola, minimizando los derrames en la Angostura y El Novillo,

$$MAX \quad Z_1 = \sum_{t=1}^{NA} R_{3,t} - \sum_{k=1}^2 \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} D_{k,t,j} \quad (4.1)$$

donde

$R_{3,t}$  = extracción en el Oviáchic durante el año  $t$ ,  $hm^3$  (variable de decisión)

$NA$  = número de años del horizonte de planeación (dato)

$D_{k,j,t}$  = derrame de la presa  $k$ , durante el mes  $j$  del año  $t$  (Angostura,  $k = 1$ ; Novillo,  $k = 2$ ; y Oviáchic,  $k=3$ ),  $hm^3$  (variable de decisión)

(el motivo por el cual se incluye la minimización del derrame en la Angostura y en El Novillo en el objetivo, es debido a que la optimización produce un derrame inexplicable físicamente cuando se maximiza solamente la extracción anual en el Oviáchic, lo cual es debido tanto a la complejidad del modelo, así como al comportamiento propio del modelo de optimización. Sin embargo, como posteriormente se verá, este contratiempo se supera aplicando simulación con los resultados arrojados por la optimización, con lo que se logra una modelación más real del fenómeno).

Objetivo 2: Maximizar la hidro-generación de energía en El Novillo:

$$MAX \quad Z_2 = \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} (eP_j * MWH_{2,t}) \quad (4.2)$$

donde

$MWH_{2,t}$  = energía producida en El Novillo durante el año  $t$ , Mwh (variable de decisión)

$eP_j$  = porcentaje acorde a la demanda de hidrogenación mensual en El Novillo (dato).

SUJETO A

Continuidad

Angostura:

$$(1 + a_{1,j,t}) * SP_{1,j,t+1} - (1 - a_{1,j,t}) * SP_{1,j,t} + qP_{1,j} * R_{1,t} = Q_{1,j,t} - A_{01} * en_{1,j,t} - SC_{1,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=1, \dots, 11 \quad (4.3)$$

$$(1 + a_{1,j,t}) * SP_{1,1,t+1} - (1 - a_{1,j,t}) * SP_{1,j,t} + qP_{1,j} * R_{1,t} = Q_{1,j,t} - A_{01} * en_{1,j,t} - SC_{1,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=12 \quad (4.4)$$

Novillo:

$$(1 + a_{2,j,t}) * SP_{2,j,t+1} - (1 - a_{2,j,t}) * SP_{2,j,t} + D_{2,j,t} + qP_{2,j} * R_{2,t} - 0.9 * (qP_{1,j} * R_{1,t} + D_{1,j,t}) = Q_{2,j,t} - A_{02} * en_{2,j,t} - SC_{2,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=1, \dots, 11 \quad (4.5)$$

$$(1 + a_{2,j,t}) * SP_{2,1,t+1} - (1 - a_{2,j,t}) * SP_{2,j,t} + D_{2,j,t} + qP_{2,j} * R_{2,t} - 0.9 * (qP_{1,j} * R_{1,t} + D_{1,j,t}) = Q_{2,j,t} - A_{02} * en_{2,j,t} - SC_{2,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=12 \quad (4.6)$$

Oviáchic:

$$(1 + a_{3,j,t}) * SP_{3,j,t+1} - (1 - a_{3,j,t}) * SP_{3,j,t} + D_{3,j,t} + qP_{3,j} * R_{3,t} - 0.9 * (qP_{2,j} * R_{2,t} + D_{2,j,t}) = Q_{3,j,t} - A_{03} * en_{3,j,t} - SC_{3,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=1, \dots, 11 \quad (4.7)$$

$$(1 + a_{3,j,t}) * SP_{3,1,t+1} - (1 - a_{3,j,t}) * SP_{3,j,t} + D_{3,j,t} + qP_{3,j} * R_{3,t} - 0.9 * (qP_{2,j} * R_{2,t} + D_{2,j,t}) = Q_{3,j,t} - A_{03} * en_{3,j,t} - SC_{3,j,t}, \quad t=1, \dots, NA, \quad j=12 \quad (4.8)$$

donde

- $SP_{i,j,t}$  -> volumen almacenado en la presa  $i$ , el mes  $j$  y del año  $t$ ,  $hm^3$  (variable de decisión)
- $A_{0i}$  -> área correspondiente al volumen muerto en la presa  $i$ ,  $hm^3$  (dato)
- $R_{1,t}$  -> extracción de la Angostura del año  $t$ ,  $hm^3$  (variable de decisión)
- $R_{2,t}$  -> extracción del Novillo del año  $t$ ,  $hm^3$  (variable de decisión)
- $qP_{1,j}$  -> porcentaje mes  $i$  de la extracción anual en la Angostura, % (dato)
- $qP_{2,j}$  -> porcentaje mes  $i$  de la extracción anual en El Novillo, % (variable de decisión)
- $qP_{3,j}$  -> porcentaje mes  $i$  de la extracción anual en El Oviáchic, % (variable de decisión)
- $Q_{i,j,t}$  -> escurrimiento de la presa  $i$ , en el mes  $j$  del año  $t$ ,  $hm^3$  (dato)
- $en_{i,j,t}$  -> evaporación neta de la presa  $i$ , en el mes  $j$  del año  $t$ ,  $hm^3$  (dato)
- $SC_{i,j,t}$  -> volumen comprometido de la presa  $i$  en el mes  $j$  y año  $t$ ,  $hm^3$  (dato)
- $i$  -> presa  $i$ ,  $i = 1, 2, 3$  ( $i=1$ : Angostura,  $i=2$ : Novillo,  $i=3$ : Oviáchic)

Siendo

$$\sum_{j=1}^{12} qP_{k,j} = 1 \quad (4.9)$$

$$a_{1,j,t} = 0.5 * Aa_1 * en_{1,j,t}$$

$$a_{2,j,t} = 0.5 * Aa_2 * en_{2,j,t}$$

$$a_{3,j,t} = 0.5 * Aa_3 * en_{3,j,t}$$

donde

- $Aa_k$  -> área de evaporación neta unitaria sobre el volumen muerto en la presa  $k$  (dato)

(4) Estacionariedad

$$SP_{i,1,1} = SP_{i,1,NA+1} \quad i = 1, 2, 3 \quad (4.10)$$

con esta restricción se pretende obtener políticas de operación a largo plazo al considerarla

estacionaria.

(5) Capacidad máxima de cada presa

$$SP_{i,j,t} \leq SP_{\max,i} \text{ (dato)}, \quad i=1,2,3; j=1,\dots,12; t=1,\dots,NA \quad (4.11)$$

(6) Capacidad mínima en cada presa

$$SP_{i,j,t} \geq SP_{\min,i} \text{ (dato)}, \quad i=1,2,3; j=1,\dots,12; t=1,\dots,NA \quad (4.12)$$

(7) Descarga mensual máxima de cada presa

$$R_{1,j,t} + CompAng_j \leq R_{1,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t=1,\dots,NA \quad (4.13)$$

$$R_{2,j,t} \leq R_{2,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t=1,\dots,NA \quad (4.14)$$

$$R_{3,j,t} + CompOvi_j \leq R_{3,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t=1,\dots,NA \quad (4.15)$$

(8) Descarga anual máxima Oviáchic

$$R_{3,t} \leq R_{3,\max} \text{ (dato)}, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.16)$$

(9) Descarga anual mínima Oviáchic

$$R_{3,t} \geq R_{3,\min} \text{ (dato)}, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.17)$$

(10) Generación de hidroelectricidad El Novillo

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWHr_{2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,j+1,t} + 370.06 \right) \cdot \eta \quad (4.18)$$

$t=1,\dots,NA, j=1,\dots,11$

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWHr_{2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,1,t+1} + 370.06 \right) \cdot \eta \quad (4.19)$$

$t=1,\dots,NA, j=12$

donde

$h_{2,j,t}$  carga mes  $j$ , año  $t$  en El Novillo, m

$h_{2,j,t+1}$  carga mes  $j$ , año  $t+1$  en El Novillo, m

(11) Restricción de cálculo de carga

$$H_{2,j,t} - 216.11488 + 0.00542 * SP_{2,j,t} - 1.65855 * \sqrt{SP_{2,j,t}} = 0, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.20)$$

$$H_{2,1,NA+1} - 216.11488 + 0.00542 * SP_{2,1,NA+1} - 1.65855 * \sqrt{SP_{2,1,NA+1}} = 0 \quad (4.21)$$

(12) Límite superior de la carga en El Novillo ( $H_2$ )

$$H_{2,j,t} \leq H_2, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.22)$$

$$H_{2,1,NA+1} \leq H_2 \quad (\text{dato}) \quad (4.23)$$

(13) Energía máxima en El Novillo ( $MWh_{\text{máx}}$ )

$$MWh_{2,t} \leq MWh_{\text{máx}} \quad (\text{dato}), \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.24)$$

(14) Generación de hidroelectricidad el Oviáchic

$$MWH_{3,j,t} = 2.725 \cdot RR_{3,j,t} \cdot \left( \frac{h_{3,j,t} + h_{3,j,t+1}}{2} - 63.5 \right) \cdot \eta \quad t = 1,\dots,NA, \quad j=1,\dots,11 \quad (4.25)$$

$$MWH_{3,j,t} = 2.725 \cdot RR_{3,j,t} \cdot \left( \frac{h_{3,j,t} + h_{3,1,t+1}}{2} - 63.5 \right) \cdot \eta \quad , \quad t=1,\dots,NA, \quad j=12 \quad (4.26)$$

donde

$VolDom_j =$  volumen extraído mensualmente para uso urbano,  $hm^3$

$VolO18_j =$  volumen extraído mensualmente para uso agrícola del D.R. Col. Yaquis,  $hm^3$

(15) Cálculo de cargas en el Oviáchic

$$H_{3,j,t} - 57.5928 - 2.224 * (SP_{3,j,t})^{0.384} = 0, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.27)$$

$$H_{3,1,NA+1} - 57.5928 - 2.224 * (SP_{3,1,NA+1})^{0.384} = 0 \quad (4.28)$$

donde

$H_{3,j,t}$  carga en el mes  $j$  y año  $t$  en el Oviáchic, m

(16) Límite superior de la carga en el Oviáchic ( $H_3$ )

$$H_{3,j,t} \leq H_3 \text{ (dato)}, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.29)$$

$$H_{3,1,NA+1} \leq H_3 \quad (4.30)$$

(17) Descarga mensual máxima del Oviáchic ( $R_{3 \text{ mensual}}$ )

$$0.6 * qP_j * RP_{3,j} + 405 \leq R_{3 \text{ mensual, (dato)}}, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.31)$$

(18) Energía máxima en el Oviáchic ( $MWh_{3 \text{ máx}}$ )

$$MWh_{3,j} \leq MWh_{3 \text{ máx, (dato)}}, \quad j=1,\dots,12, \quad t=1,\dots,NA \quad (4.32)$$

### 4.3 Recolección de datos

El Anexo 1 contiene los datos topográficos y las variables hidrológicas mensuales de cada una de las tres presas del río Yaqui (escurrimiento, evaporación y precipitación), las cuales se usarán en el planteamiento del modelo matemático.

### 4.4 Modelación con un horizonte de planeación de 1964-65 a 1996-97 (33 años).

#### 4.4.1 Método de restricción.



Inicialmente, para determinar la zona en donde los objetivos se encuentran en conflicto, que es la zona a estudiar, se evalúa el modelo con los objetivos (4.1) y (4.2) aislados.

**NOTA:** Al resolver el modelo de optimización se tuvieron derrames exagerados en la Angostura, por lo que, considerando que es una presa muy pequeña comparada con El Novillo y el Oviáchic, se optó por modelarla aislada del resto del sistema, con extracción mensual constante, obteniendo las siguientes reglas de extracción (las cuales se considerarán fijas en el resto de las modelaciones futuras):

$$\text{Extracción anual} = f(\text{Volumen inicial, Escurrimiento anterior})$$

$$R_{l,t} = 0 + 0.7910791 * SP_{l,l,t} \quad (4.33)$$

Además de la regla de extracción anual, también se obtienen los porcentajes mensuales con la que será extraída (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Porcentajes de extracción mensual en la Angostura, (%):

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{l,j}$	8.34	8.34	8.34	8.34	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33

Prosiguiendo con la modelación de todo sistema, al resolver el modelo maximizando ambos objetivos separadamente se obtiene:

$$Z_1 \text{ máx} = 64,519.88 \text{ hm}^3, \quad Z_2 \text{ mín} = 4,518,307 \text{ Mwh}$$

$$Z_1 \text{ mín} = 45,144.11 \text{ hm}^3, \quad Z_2 \text{ máx} = 17,356,430 \text{ Mwh}$$

Una vez determinada la región en la cual los objetivos  $Z_1$  y  $Z_2$  están en conflicto, región no inferior, se aplica el Método de Restricción maximizando uno de los objetivos ( $Z_2$  en este caso) y considerando el otro como restricción ( $Z_1$ ). Entonces, aplicando el modelo usando los objetivos de las ecs. (4.1) y (4.2) se obtiene:

$$MAX \quad Z_2 = \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} (eP_j \bullet MWH_{2,t}) \quad (4.34)$$

Sujeto a:

$$Z_1 = \sum_{t=1}^{NA} R_{3,t} - \sum_{k=1}^2 \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} D_{k,j,t} \geq Li \quad (4.35)$$

...

donde  $L_i$  son los valores de  $Z_i$  en los cuales se evalúa  $Z_2$ .

Resolviendo con el modelo de optimización, los valores de  $Z_1$  y  $Z_2$  obtenidos se muestran en la Tabla 4.3.

En la Figura 4.4 se grafican los valores obtenidos, lo cual muestra la zona en la cual los objetivos están en conflicto (zona no inferior):

Para simplificar el calculo, se considera que el Punto 9 de la Figura 4.4 está suficientemente cercano al punto óptimo en donde  $Z_1$  y  $Z_2$  son máximos, obteniéndose que:  $Z_1 = 63,300$  y  $Z_2 = 16,056,850$ .

Tabla 4.3. Resultados obtenidos aplicando el método de Restricción

	OPTIMIZACIÓN:	
	$Z_1$	$Z_2$
0	45,144.11	17,356,430
1	50,000.00	17,179,990
2	55,000.00	17,168,470
3	57,000.00	17,114,390
4	60,000.00	16,931,930
5	61,000.00	16,811,890
6	62,000.00	16,454,790
7	62,500.00	16,353,150
8	63,000.00	16,216,160
<b>9</b>	<b>63,300.00</b>	<b>16,056,850</b>
10	63,500.00	15,839,240
11	64,000.00	14,451,250
12	64,519.88	4,518,307

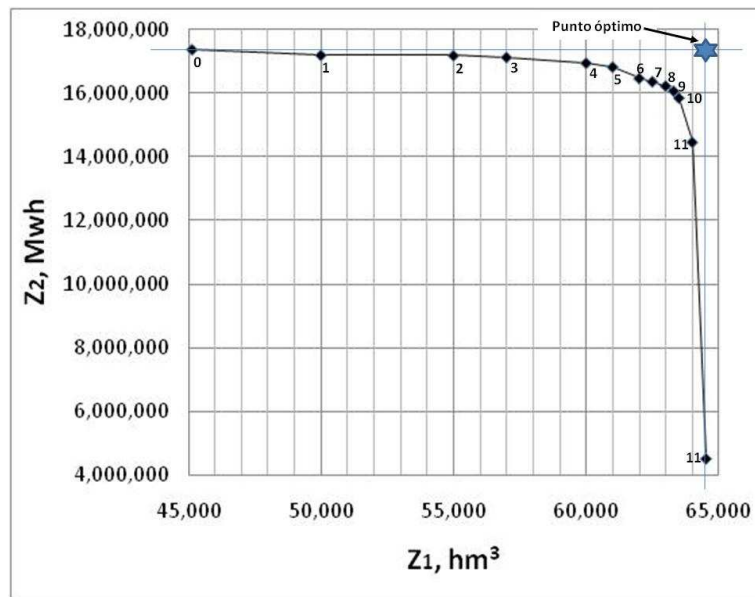


Figura 4.4. Región no inferior

La alternativa para el Punto 9 arrojó los siguientes resultados de operación con el modelo de optimización:

$$R_{2,t} = 1,599.341 + 0*SP_{2,1,t} + 2.089983*R_{1,t} \quad (4.36)$$

Tabla 4.4. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{2,j}$	10.00	6.37	6.04	5.45	5.52	5.85	5.62	8.18	11.02	11.61	11.79	11.65

$$R_{3,t} = 63.51034 + 0.8834021*SP_{3,1,t} + 0.149716*R_{3,t} \quad (4.37)$$

En el Apéndice B se puede apreciar el comportamiento anual obtenido con la optimización en el Punto 9 seleccionado.

Con el fin de verificar los resultados obtenidos con la optimización, en el mismo Apéndice B se muestran también los resultados de la simulación para el mismo intervalo de tiempo (33 años), usando los valores obtenidos con optimización de los porcentajes de extracción en El Novillo, las reglas de extracción anual y los volúmenes iniciales de cada presa .

En la Tabla 4.5 se muestran algunos de los resultados obtenidos con la simulación para el punto

no inferior seleccionado. Aunque posteriormente aquí se hace una comparación con el método de conjuntos difusos y con el manejo histórico, preliminarmente se puede comentar que aunque históricamente se extrajo un volumen promedio anual mayor, 2,560 hm<sup>3</sup>/año, estudios anteriores han comprobado que se ha sobreexplotado el hidro-sistema del Yaqui para uso agrícola.

También, al comparar con los resultados históricos expuestos en la Tabla 4.1, se aprecia que la hidro-generación arrojada por el modelo es muy similar a la histórica, sin embargo, la coincidencia con la demanda interanual es mucho mayor aplicando el modelo. Por lo que la política de extracción arrojada por esta alternativa de evaluación del Punto 9, es de considerarse como una opción de planeación para el manejo del recurso a largo plazo.

Tabla 4.5. Resultados de la simulación, usando los resultados obtenidos con el modelo de optimización, para el punto 9, aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.

Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 28.24 V <sub>Nov</sub> = 1,347.62, V <sub>Ovi</sub> = 1,460.32 Volúmenes finales almacenados(oct/97), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 42.06, V <sub>Nov</sub> = 1,781.81, V <sub>Ovi</sub> = 1,614.95 Volumen total derramado, hm <sup>3</sup> = 7,822.15 Volumen evaporado, hm <sup>3</sup> = 14,077.47 (Promedio anual = 426.59) Pérdidas entre presas (extracción +derrames), hm <sup>3</sup> = 10,357.33 (Promedio anual = 313.86) Déficit Angostura = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Novillo = 28.66 hm <sup>3</sup> / Déficit Oviáchic = 0.00 hm <sup>3</sup> Confiabilidad = 1.00 / Elasticidad = 1.00 / Vulnerabilidad = 0.00		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
79,769 hm <sup>3</sup> (Promedio: 2,417 hm <sup>3</sup> /año)	17,988,916 Mwh (Promedio: 545,119 Mwh/año) 16,547,651 Mwh ( <i>e</i> , 91.99%) 1,441,265 Mwh ( <i>r</i> , 8.01%)	4,121,787 Mwh (Promedio: 124,903 Mwh/año)

donde  $e =$  "comportamiento efectivo" acorde con el comportamiento temporal de la demanda  
 $r =$  "comportamiento residual" desfasada temporalmente de la demanda.

#### 4.4.2 Método de conjuntos difusos

El ambiente difuso que abarca la zona no inferior determinada en el inciso anterior:

$$\begin{aligned}
 Z_{1 \text{ máx}} &= 64,519.88 \text{ hm}^3, & Z_{2 \text{ mín}} &= 4,518,307 \text{ Mwh} \\
 Z_{1 \text{ mín}} &= 45,144.11 \text{ hm}^3, & Z_{2 \text{ máx}} &= 17,356,430 \text{ Mwh}
 \end{aligned}$$

será mapeado para ser procesado como conjuntos difusos, es decir, considerando los conjuntos clásicos u ordinarios. Sea  $X$  un conjunto universal:

$$\mathbf{Z}_1 = \{ 45,856.58 < z < 62,369.05 \mid z \in \mathbf{X} \} \quad (4.38)$$

$$\mathbf{Z}_2 = \{ 8,714,031 < z < 16,986,850 \mid z \in \mathbf{X} \} \quad (4.39)$$

Y con base en lo expuesto de la ec. 2.7 y 2.8 se pueden plantear los siguientes conjuntos difusos correspondientes:

$$\mathbf{\tilde{O}}_1 = \{(z, : \tilde{\mu}_1(z)) \mid z \in \mathbf{Z}\} \quad (4.40)$$

$$\mathbf{\tilde{O}}_2 = \{(z, : \tilde{\mu}_2(z)) \mid z \in \mathbf{Z}\} \quad (4.41)$$

donde  $: \tilde{\mu}_1$  y  $: \tilde{\mu}_2$  son los conjuntos difusos correspondientes:  $\mathbf{Z} \rightarrow [0, 1]$ ,  $\mathbf{Z} \subset \mathbf{X}$  y  $: \tilde{\mu}_1(z)$  y  $: \tilde{\mu}_2(z)$  representan el grado de pertenencia de  $z$  en  $\mathbf{Z}$ . Es decir, se asigna a cada elemento  $z$  en  $\mathbf{Z}$  un número real  $: \tilde{\mu}_1$  y  $: \tilde{\mu}_2$ , en el intervalo  $[0, 1]$ .

#### 4.4.2.1 Decisión difusa: MAX L

En las ecs. (2.20) a (2.20) se expone el concepto de la intersección de los conjuntos difusos como una de las opciones para tomar decisiones difusas. Esta intersección se determina a través la minimización, ec. (2.21). Por lo que la solución óptima se obtiene maximizando la intersección, ec. (2.22). O de manera más generalizada, la ec. (2.24).

Con base en lo anterior, y considerando la función Gamma linealizada de la Fig. 2.5, la ec. 2.13 quedaría:

$$\begin{aligned} : \tilde{\mu}_1(z) &= 0, \text{ si } z \notin 45,144.11 \\ : \tilde{\mu}_1(z) &= (Z_1 - 45,144.11)/19,375.77, \quad \text{si } 45,144.11 < z < 64,519.88 \\ : \tilde{\mu}_1(z) &= 1, \text{ si } z \geq 64,519.88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} : \tilde{\mu}_2(z) &= 0, \text{ si } z \notin 4,518,307 \\ : \tilde{\mu}_2(z) &= (Z_2 - 4,518,307)/12,838,123, \quad \text{si } 4,518,307 < z < 17,356,430 \\ : \tilde{\mu}_2(z) &= 1, \text{ si } z \geq 17,356,430 \end{aligned}$$

En las Figuras 4.5 y 4.6 se muestran los mapeos de los objetivos  $Z_1$  y  $Z_2$ , respectivamente.

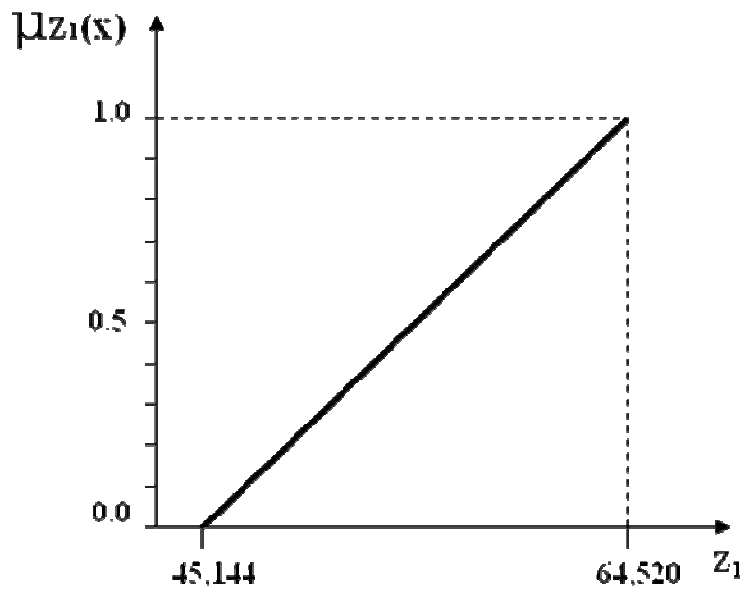


Figura 4.5. Mapeo del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $L$

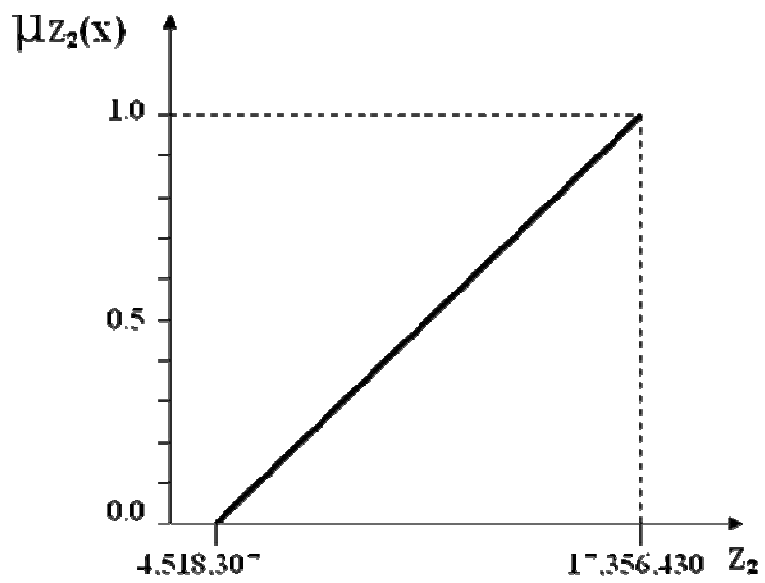


Figura 4.6. Mapeo del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $L$

Por lo tanto, la primera decisión difusa propuesta es a partir de la maximización del conjunto difuso  $L$ , el cual se debe satisfacer simultáneamente los dos objetivos difusos, presentada como:

$$\begin{aligned} & \text{MAX } L; && \text{(maximiza la intersección)} \\ \text{s. a.} & && \text{(restricciones que satisfacen simultáneamente los dos objetivos )} \\ & (Z_1 - 45,144.11)/19,375.77 \$ L; \\ & (Z_2 - 4,518,307)/12,838,123 \$ L; \\ & \dots \end{aligned}$$

Obteniéndose mediante optimización el grado de pertenencia o membresía y ambos objetivos difusos:

$$L = 0.7637689, \quad Z_1 = 59,942.72, \quad Z_2 = 14,323,670$$

En las Figuras 4.7 y 4.8 se muestra el resultado del comportamiento de ambos objetivos bajo la técnica de conjuntos difusos.

La alternativa también arrojó los siguientes resultados con optimización (ver Apéndice C):

$$R_{1,t} = 0 + 0.7910791 * SP_{1,1,t} \tag{4.42}$$

$$R_{2,t} = 0 + 1.130743 * SP_{2,1,t} + 0 * R_{1,t} \tag{4.43}$$

Tabla 4.6. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{2,j}$	10.13	6.50	6.27	5.55	5.62	5.91	6.57	8.24	11.14	11.55	11.44	11.08

$$R_{3,t} = 752.745 + 0.2572878 * SP_{3,1,t} + 0.340181 * R_{3,t} \tag{4.44}$$

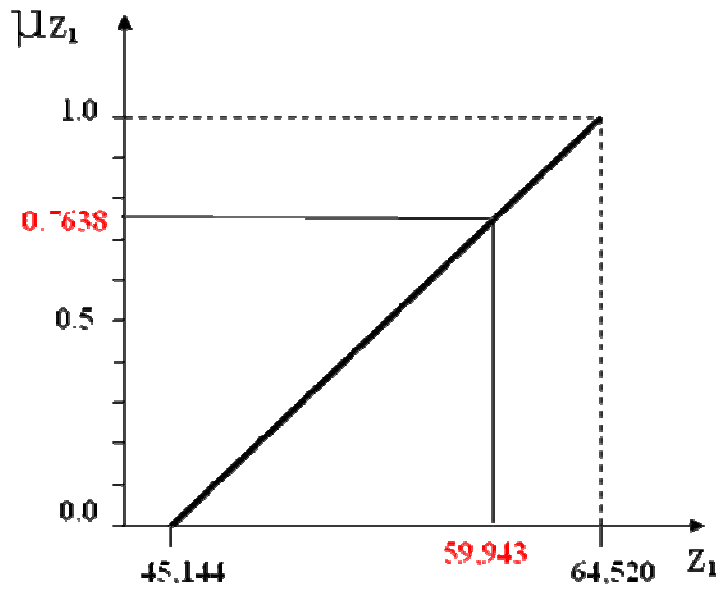


Figura 4.7. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $L$

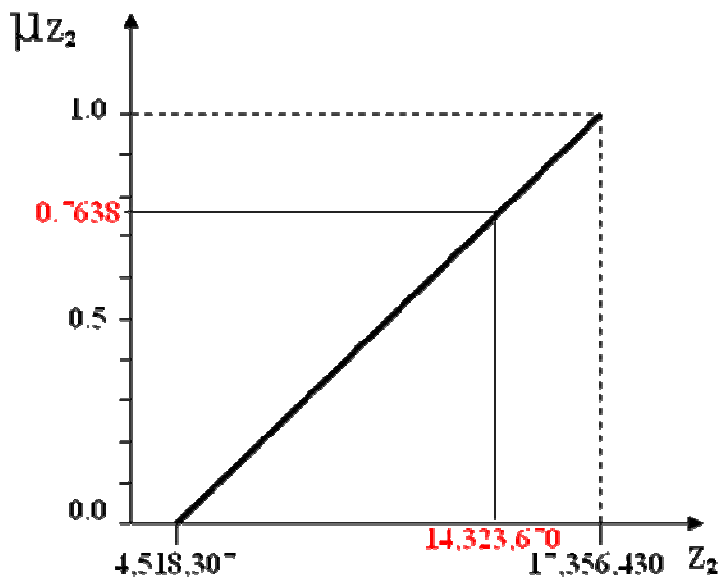


Figura 4.8. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX  $L$

Como siguiente paso se obtuvieron los resultados obtenidos con optimización-simulación se resumen en la Tabla 4.7.



Tabla 4.7. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.

<b>MAX L</b>		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), $\text{hm}^3$ : $V_{\text{Ang}} = 28.27$ , $V_{\text{Nov}} = 1,062.76$ , $V_{\text{Ovi}} = 2,203.33$ Volúmenes finales almacenados (oct/97), $\text{hm}^3$ : $V_{\text{Ang}} = 42.06$ , $V_{\text{Nov}} = 1,126.67$ , $V_{\text{Ovi}} = 2,702.86$ Volumen total derramado, $\text{hm}^3 = 13,652.72$ Volumen evaporado $\text{hm}^3 = 14,949.99$ (Promedio anual = 453.03) Pérdidas entre presas (incluyendo derrames), $\text{hm}^3 = 10,416.12$ (Promedio anual = 315.64) Déficit Angostura = $0.00 \text{ hm}^3$ / Déficit Novillo = $0.99 \text{ hm}^3$ / Déficit Oviáchic = $21.42 \text{ hm}^3$ Confiabilidad = 0.97 / Elasticidad = 1.00 / Vulnerabilidad = 21.42		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
$73,173 \text{ hm}^3$ (Promedio: $2,217 \text{ hm}^3/\text{año}$ )	$18,518,398 \text{ Mwh}$ (Promedio: $520,210 \text{ Mwh/año}$ ) $17,166,936 \text{ Mwh}$ ( <i>e</i> , 92.70%) $1,351,462 \text{ Mwh}$ ( <i>r</i> , 7.30%)	$4,152,421 \text{ Mwh}$ (Promedio: $125,831 \text{ Mwh/año}$ )

#### 4.4.2.2 Decisión difusa: MAX ( $L_1 \& L_2$ )

Cuando los objetivos en conflicto tienen importancia desigual, se sugieren lo expuesto en las ecs. (2.25) y (2.26). Obteniéndose:

$$\text{MAX } (L_1 \& L_2)$$

s. a.

$$(Z_1 - 45,144.11)/19,375.77 \leq L_1$$

$$(Z_2 - 4,518,307)/12,838,123 \leq L_2$$

...

Los grados de membresía y objetivos arrojados por el modelo de optimización fueron:

$$L = 0.7582246, L_1 = 0.9218870, L_2 = 0.8224702, Z_1 = 63,006.38, Z_2 = 15,077,280$$

En las Figuras 4.9 y 4.10 se muestran los resultados del comportamiento de ambos objetivos con sus respectivos grados de membresía.

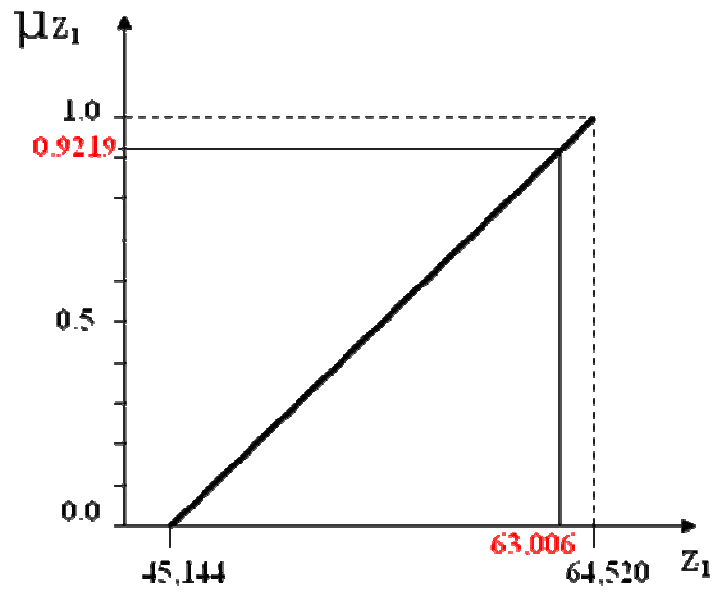


Figura 4.9. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX ( $L_1 @ L_2$ )

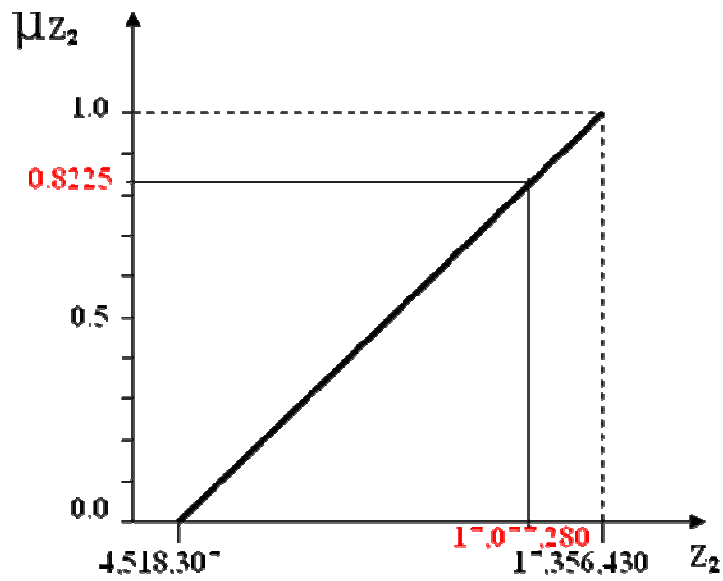


Figura 4.10. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX ( $L_1 @ L_2$ )

La alternativa arrojó los siguientes resultados con optimización (ver Apéndice C):

$$R_{1,t} = 0 + 0.7910791 * SP_{1,t} \quad (4.45)$$

$$R_{2,t} = 0 + 1.091461 * SP_{2,t} + 0 * R_{1,t} \quad (4.46)$$

Tabla 4.8. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %:

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{1,j}$	9.96	6.41	6.10	5.53	5.60	5.89	6.53	8.23	11.15	11.56	11.58	11.49

$$R_{3,t} = 1,439.743 + 5.467789 \times 10^{-2} * SP_{3,t} + 0.1117784 * R_{3,t} \quad (4.47)$$

Los resultados obtenidos con la simulación se resumen en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.

MAX ( $L_1 @ L_2$ )		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), $hm^3$ : $V_{Ang} = 28.24$ , $V_{Nov} = 1,140.49$ , $V_{Ovi} = 2,497.76$ Volúmenes finales almacenados (oct/97), $hm^3$ : $V_{Ang} = 42.06$ , $V_{Nov} = 1,201.12$ , $V_{Ovi} = 2,989.17$ Volumen total derramado $hm^3 = 24,062.53$ Volumen evaporado, $hm^3 = 15,776.98$ (Promedio anual = 478.09) Pérdidas entre presas (incluye derrames), $hm^3 = 10,409.62$ (Promedio anual = 315.44) Déficit Angostura = 0.00 $hm^3$ / Déficit Novillo = 0.00 $hm^3$ / Déficit Oviáchic = 0.00 $hm^3$ Confiabilidad = 1.00 / Elasticidad = 1.00 / Vulnerabilidad = 0.00		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
62,174 $hm^3$ (Promedio: 1,884 $hm^3$ /año)	18,499,719 Mwh (560,598 Mwh/año) 17,268,946 Mwh ( <i>e</i> , 93.35%) 1,230,773 Mwh ( <i>r</i> , 6.65%)	3,773,622 Mwh (Promedio: 114,352 Mwh/año)

#### 4.4.2.3 Decisión difusa: MAX ( $0.5 @ L_1 + 0.5 @ L_2$ )

De manera similar al inciso anterior, de la ec. (2.27) se obtiene:

$$MAX (0.5 @ L_1 + 0.5 @ L_2);$$

s. a.

$$(Z_1 - 45,856.58)/16,512.47 \# L_1;$$

$$(Z_2 - 8,714,031)/8,272,819 \# L_2;$$

...

Los grados de membresía y objetivos difusos obtenidos con optimización fueron:

$$L = 0.7666302, \quad L_1 = 0.9406965, \quad L_2 = 0.5925640, \quad Z_1 = 63,370.83, \quad Z_2 = 12,125,720$$

En las Figuras 4.11 y 4.12 se muestran los resultados del comportamiento de ambos objetivos con sus respectivos grados de membresía.

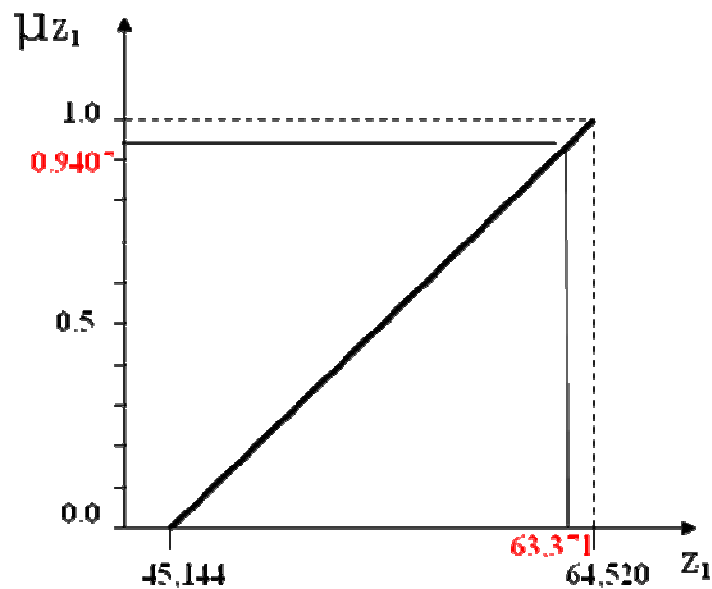


Figura 4.11. Grado de membresía del objetivo  $Z_1$  de la decisión difusa MAX  $(0.5 * L_1 @ 0.5 * L_2)$

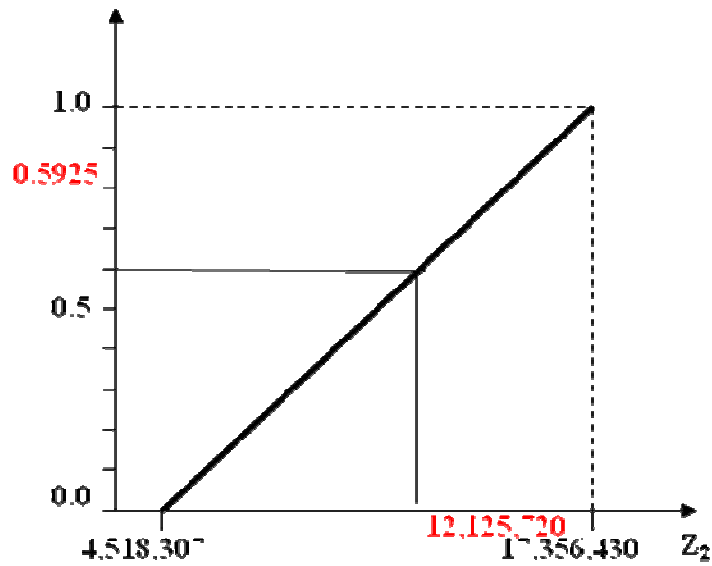


Figura 4.12. Grado de membresía del objetivo  $Z_2$  de la decisión difusa MAX ( $0.5*L_1+0.5*L_2$ )

Esta alternativa arrojó los siguientes resultados con optimización (ver Apéndice C):

$$R_{1,t} = 0 + 0.7910791 * SP_{1,1,t} \quad (4.47)$$

$$R_{2,t} = 1,610.1 + 0 * SP_{2,1,t} + 2.05321 * R_{1,t} \quad (4.48)$$

Tabla 4.10. Porcentajes de extracción mensual en El Novillo, %.

	oct	nov	dic	ene	feb	Mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{1,j}$	10.42	6.71	6.19	5.55	5.53	5.82	6.43	8.04	10.88	11.45	11.58	11.40

$$R_{3,t} = 80.89145 + 0.8941924 * SP_{3,1,t} + 0.1375203 * R_{3,t} \quad (4.49)$$

Los resultados obtenidos con simulación se resumen en la Tabla 4.11.

Por otro lado, de los valores de las funciones objetivo obtenidos por el modelo de optimización aplicando conjuntos difusos, se observa que se cumple la relación matemática entre las tres decisiones difusas (ec. 2.30):

$$\underline{\mu_D^{pr} \leq \mu_D \leq \mu_D^{co}}$$

[Max  $L_1 * L_2$ : **0.7582246** # Max  $L$ : **0.7637689** # Max  $(0.5 * L_1 + 0.5 * L_2)$ : **0.7666302**]

Tabla 4.11. Resultados de la simulación con los resultados obtenidos con el modelo de optimización aplicado para el período 1964-65 a 1996-97.

<b>MAX (0.5L<sub>1</sub> + 0.5L<sub>2</sub>)</b>		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 28.24, V <sub>Nov</sub> = 1,364.27, V <sub>Ovi</sub> = 1,444.19 Volúmenes finales almacenados (oct/97), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 42.06, V <sub>Nov</sub> = 1,803.17, V <sub>Ovi</sub> = 1,595.13 Volumen total derramado, hm <sup>3</sup> = 7,717.77 Volumen evaporado, hm <sup>3</sup> = 14,055.22 (Promedio anual = 425.92) Pérdidas entre presas (incluyendo derrames), hm <sup>3</sup> = 10,357.56 (Promedio anual = 313.87) Déficit Angostura = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Novillo = 27.19 hm <sup>3</sup> / Déficit Oviáchic = 0.00 hm <sup>3</sup> Confiabilidad = 1.00 / Elasticidad = 1.00 / Vulnerabilidad = 0.00		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
79,890 hm <sup>3</sup> (Promedio: 2,421 hm <sup>3</sup> /año)	17,982,503 Mwh (Promedio: 544,924 Mwh/año) 16,484,161 Mwh ( <i>e</i> , 91.67%) 1,498,342 Mwh ( <i>r</i> , 8.33%)	4,116,020 Mwh (Promedio: 124,728 Mwh/año)

#### 4.4.3 Método de Restricción vs Método de Conjuntos Difusos.

En la Tabla 4.12 se resumen los resultados obtenidos con la modelación usando el Método de Restricción y la aplicación de Conjuntos Difusos. Como se aprecia, en general existe gran similitud entre los resultados obtenidos por ambos métodos.

Si se consideran las características que deben cumplir las técnicas de programación multi-objetivo según Cohon (1975): (1) Computacionalmente factible y eficiente, (2) claridad entre el intercambio de objetivos en conflicto y (3) proveer suficiente información al tomador de decisiones para seleccionar la mejor alternativa; se considera que ambas técnicas, Restricción y Conjuntos Difusos, los cumplen completamente.

También, ambas técnicas mencionadas en el párrafo anterior pueden resolver problemas que contienen objetivos en conflicto con diferentes unidades.

Tabla 4.12. Resultados para un horizonte de 33 años (1964-65 a 1996-97)

	SIMULACIÓN			
	Restricción	MAX L	MAX ( $L_1 * L_2$ )	MAX ( $0.5 * L_1 + 0.5 * L_2$ )
Vol. almacenado, oct/64*, hm <sup>3</sup>	2,836.18*	3,295.36*	3,666.49*	2,836.70*
Vol. almacenado, sep/97**, hm <sup>3</sup>	3,438.82**	3,871.59**	4,232.35**	3,440.36**
Derrame, hm <sup>3</sup>	7,822.15	13,652.72	24,062.53	5,717.77
Evaporación, hm <sup>3</sup>	14,077.47	14,949.99	15,776.98	14,055.22
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	10,357.33	10,416.12	10,409.62	10,357.56
Déficit, hm <sup>3</sup>	28.66 <sub>Nov</sub>	0.99 <sub>Nov</sub> 21.42 <sub>Ovi</sub>	0.00	27.19 <sub>Nov</sub>
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	2,417	2,217	1,884	2,421
Novillo, Mwh	17,988,916: 16,547,651 (e, 91.99%) 1,441,265 (r, 8.01%)	18,518,398: 17,166,936 (e, 92.70%) 1,351,462 (r, 7.30%)	18,499,719: 17,268,946 (e, 93.25%) 1,230,773 (r, 6.65%)	17,982,503: 16,484,161 (e, 91.67%) 1,498,342 (r, 8.33%)
Oviáchic, Mwh	4,121,787	4,152,421	3,773,622	4,116,020
Confiabilidad/Elasticidad/Vulnerabilidad	1.00/1.00/0.00	0.97/1.00/21.42	1.00/1.00/0.00	1.00/1.00/0.00

\* Volumen calculado con el modelo de optimización al usar la restricción de estacionareidad, en la que se igualan los volúmenes iniciales y los finales en las presas.

\*\* Volumen calculado con el modelo de simulación al iniciar con los volúmenes calculados con el modelo de optimización.

Como se aprecia en la Tabla 4.12, los resultados del método de Restricción y de la decisión difusa MAX ( $0.5 * L_1 + 0.5 * L_2$ ) son muy similares. Las otras dos decisiones difusas arrojan resultados más conservadores.

Existen dos aspectos básicos que aquí se recomiendan para inclinar al analista en el uso de Conjuntos Difusos en lugar del Método de Restricción:

- (1) Con el Método de Restricción se requiere solucionar el modelo tantas veces como sean necesarias hasta tener un enfoque claro de la situación entre el comportamiento de los objetivos en conflicto y su solución óptima, de tal manera que se pueda seleccionar un punto adecuado de la zona no inferior, lo cual, en el caso de la aplicación de Conjuntos Difusos, se encuentra en el primer intento, simplificando así el proceso al disminuir el tiempo de cálculo drásticamente. Sobre todo considerando modelos grandes y complejos como el aquí desarrollado;
- (2) El otro aspecto es que no se recomienda aplicar el Método de Restricción cuando se

tienen más de tres objetivos en conflicto (Cohon, 1975) debido a la dificultad de encontrar la solución apropiada, lo cual es ampliamente superado al aplicar Conjuntos Difusos.

En referencia al punto (2), el hidro-sistema del Yaqui, además de sus volúmenes comprometidos y los usos agrícola e hidro-generación eléctrica, es ampliamente usado para pesca y recreación, manejándose además la posibilidad de abastecer a Hermosillo, Guaymas y Empalme para uso urbano. Esto hace que el número de objetivos aquí considerados puedan aumentar potencialmente, lo que haría aún más recomendable aplicar Conjuntos Difusos para modelar una planeación adecuada del recurso en el futuro.

#### 4.5 Manejo histórico vs Modelación: Horizonte de planeación de 1964-65 a 1996-97 (33 años)

En la Tabla 4.13 se resumen los resultados obtenidos de los análisis del manejo histórico y de modelación aplicando Conjuntos Difusos.

Tabla 4.13. Resultados para un horizonte de 33 años (1964-65 a 1996-97)

	Real	SIMULACIÓN		
		MAX L	MAX (L <sub>1</sub> *L <sub>2</sub> )	MAX (0.5*L <sub>1</sub> +0.5*L <sub>2</sub> )
Vol. almacenado, oct/64*, hm <sup>3</sup>	3,546.65*	3,295.36*	3,666.49*	2,836.70*
Vol. almacenado, sep/97**, hm <sup>3</sup>	2,777.70**	3,871.59**	4,232.35**	3,440.36**
Derrame, hm <sup>3</sup>	1,760.76	13,652.72	24,062.53	5,717.77
Evaporación, hm <sup>3</sup>	13,055	14,949.99	15,776.98	14,055.22
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	9,723	10,416.12	10,409.62	10,357.56
Déficit, hm <sup>3</sup>		0.99 <sub>Nov</sub> 21.42 <sub>Ovi</sub>	0.00	27.19 <sub>Nov</sub>
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	2,560	2,217	1,884	2,421
Novillo, Mwh	17,981,395: 8,375,269 (e, 46.58 %) 9,606,126 (r, 53.42%)	18,518,398: 17,166,936 (e, 92.70%) 1,351,462 (r, 7.30%)	18,499,719: 17,268,946 (e, 93.25%) 1,230,773 (r, 6.65%)	17,982,503: 16,484,161 (e, 91.67%) 1,498,342 (r, 8.33%)
Oviáchic, Mwh	3,784,591	4,152,421	3,773,622	4,116,020
Confiabilidad/Elasticidad/Vulnerabilidad	1.00/1.00/0.00	0.97/1.00/21.42	1.00/1.00/0.00	1.00/1.00/0.00

\* Volumen calculado con el modelo de optimización al usar la restricción de estacionareidad, en la que se igualan los volúmenes iniciales y los finales en las presas.

\*\* Volumen calculado con el modelo de simulación al iniciar con los volúmenes calculados con el modelo de optimización.



Como se observa en la Tabla 4.13, la extracción promedio anual para uso agrícola es mayor con el manejo histórico que cualesquiera de los resultados de los diferentes modelos, además, el manejo histórico ha sido mejor en cuanto a derrames evaporación y perdidas entre presas. Sin embargo, si se consideran las referencias de la contextualización del primer capítulo del presente trabajo, que calcula una disponibilidad para uso agrícola de  $2,333 \text{ hm}^3$  y que evidencian la sobreexplotación del agua superficial, se puede cambiar la percepción anterior. Por lo que se podría considerar que cualquiera de los modelos estudiado es adecuado de aplicar para planear la extracción para uso agrícola.

Con respecto a la hidro-generación en el Oviáchic, se aprecia un comportamiento favorable con la modelación.

La energía producida históricamente en El Novillo fue de 17,981,395 Mwh, similar a la producida por la decisión difusa MAX  $(0.5*L_1+0.5*L_2)$ , y por el método de Restricción. La coincidencia de la producción con la demanda interanual es mucho más adecuada con cualquiera de las decisiones difusas modeladas.

Por otro lado, en las Figuras 4.13 y 4.14 se muestran los comportamientos de la hidro-generación en El Novillo aplicando el modelo MAX  $L$ . Se observa en la Figura 4.13 que existe una menor variabilidad, evidenciada por la desviación estándar mensual, que con el manejo histórico esquematizado en la Figura 4.2. También, de las Figuras 4.14 y 4.3 se aprecia que, además de reducirse la variabilidad en cuanto al “comportamiento efectivo” aplicando el modelo, la cantidad promedio del comportamiento efectivo de la energía producida al aplicar el modelo, se eleva de manera considerable.

Prosiguiendo con el análisis de estos resultados al considerar el cumplimiento simultáneo de ambos objetivos difusos, se observa que se cumplirían en 76.38% ambos objetivos en conflicto, ecs. (4.1) y (4.2), aplicando las reglas de extracción propuestas en las ecs. (4.33), (4.42) y (4.43). Además, se produciría una hidro-generación en El Novillo acorde con el comportamiento mensual de la demanda, lo cual se muestra en la Tabla 4.8; mejorando el comportamiento efectivo de la energía producida.

Para concluir este apartado, en las Figuras 4.15 y 4.16 se resumen los resultados para el modelo MAX  $(L_1*L_2)$ . Y en las en las Figuras 4.17 y 4.18 para el modelo MAX  $(0.5*L_1+0.5*L_2)$ . En todas ellas se percibe un comportamiento similar con respecto al

comportamiento histórico.

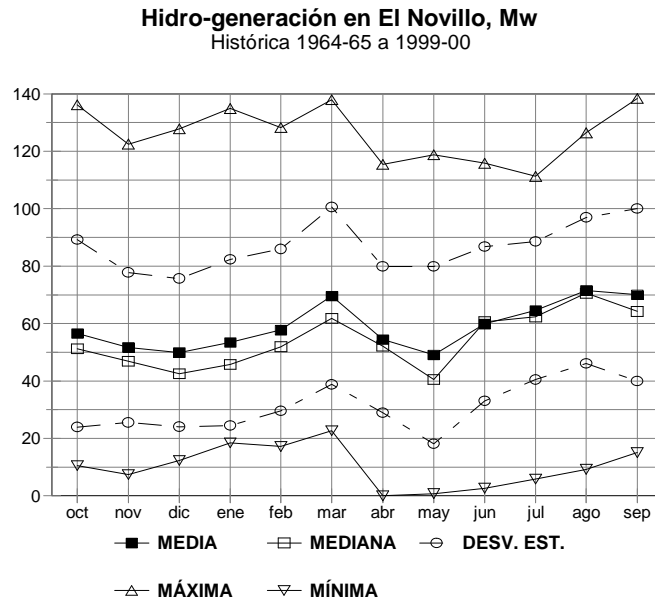


Figura 4.2. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo.

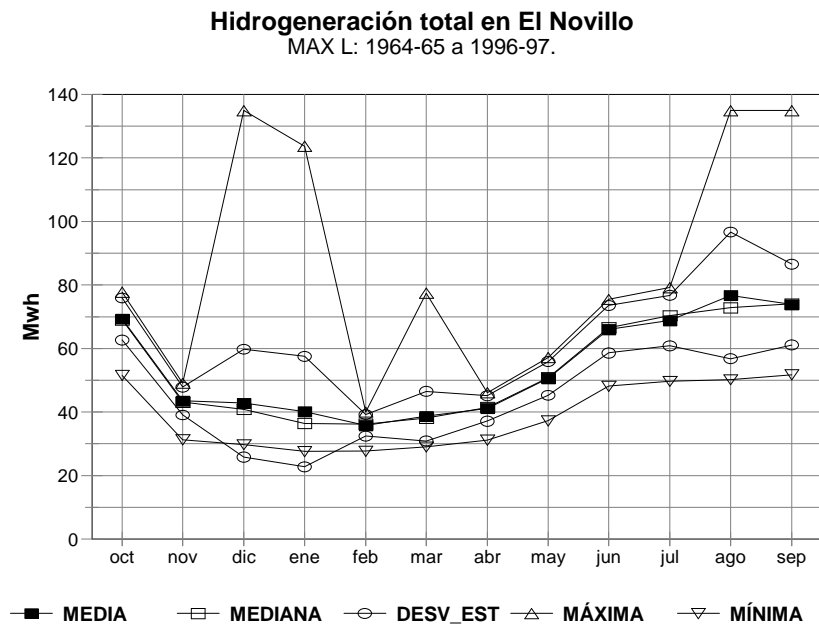


Figura 4.13. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX L

**Hidro-generación en El Novillo, Mw**  
 Histórico: 1964-65 a 1999-00

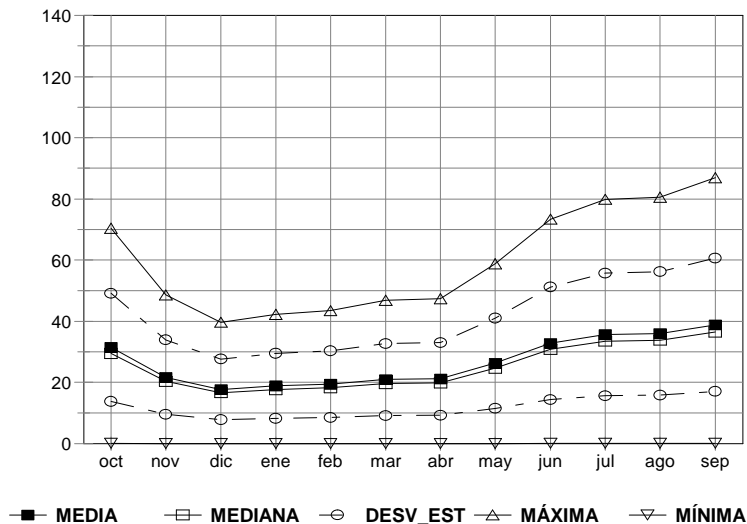


Figura 4.3. Comportamiento histórico de la hidro-generación de potencia en El Novillo, considerando la temporalidad acorde con la demanda de electricidad.

**Hidrogenación en El Novillo**  
 MAX L: 1964-65 a 1996-97

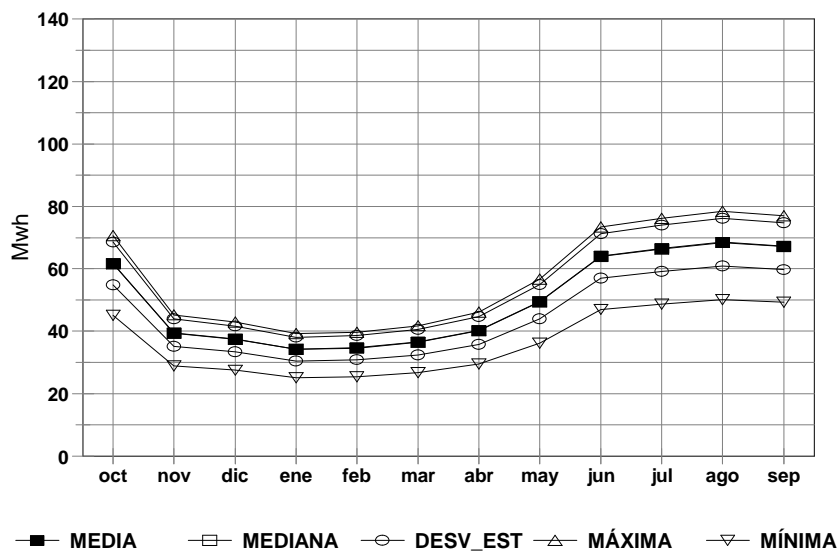


Figura 4.14. Hidro-generación efectiva con el modelo MAX L

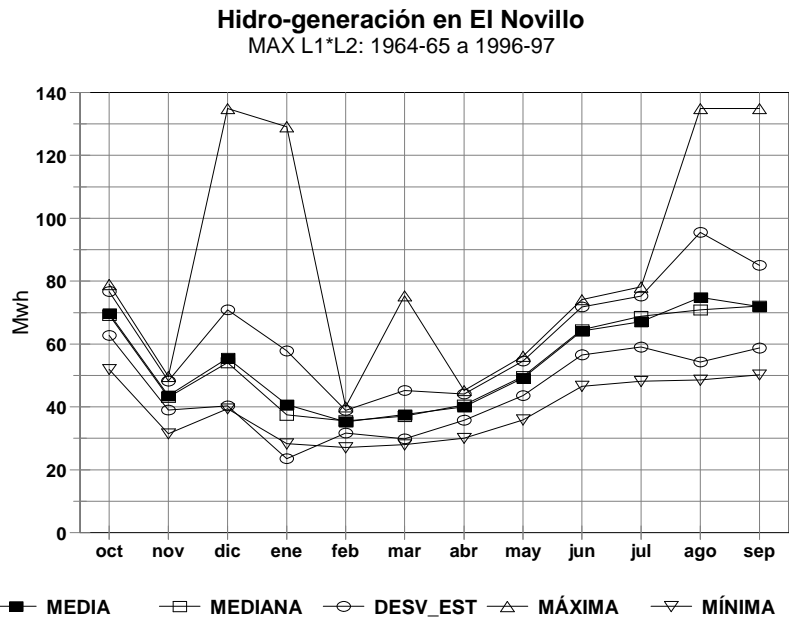


Figura 4.15. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX ( $L_1 * L_2$ )

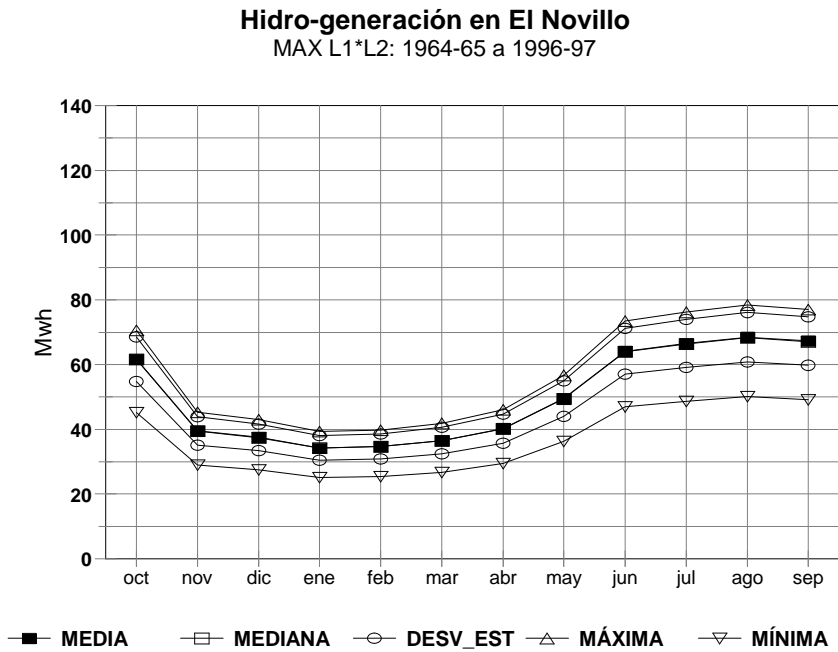


Figura 4.16. Hidro-generación efectiva con la decisión difusa MAX ( $L_1 * L_2$ )

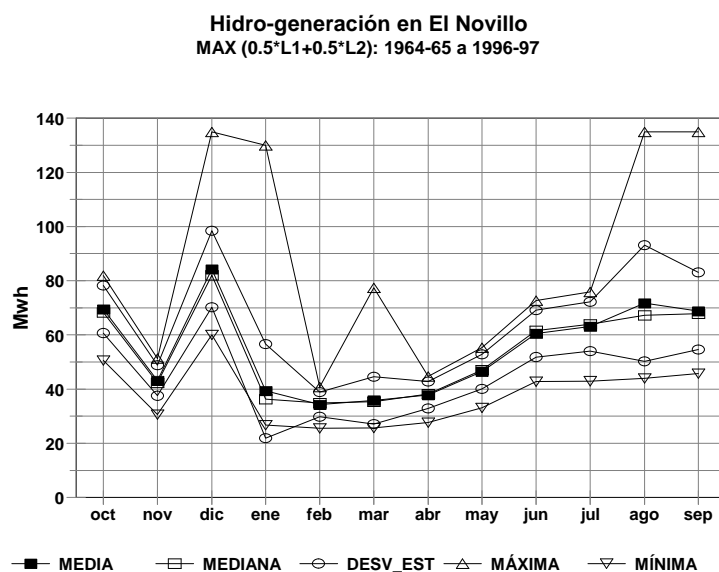


Figura 4.17. Hidro-generación total con la decisión difusa MAX ( $0.5*L_1+0.5*L_2$ )

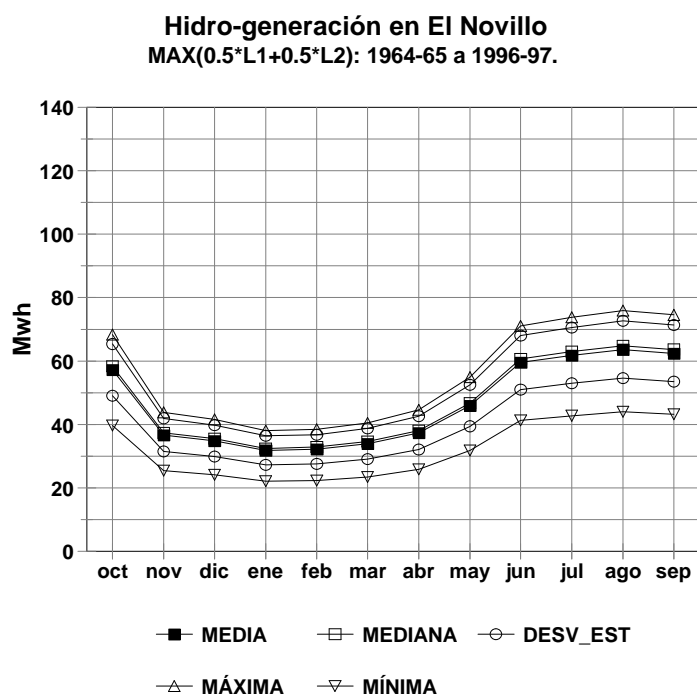


Figura 4.18. Hidro-generación efectiva con la decisión difusa MAX ( $0.5*L_1+0.5*L_2$ )

## ESTIMACIÓN

### 4.6 Ciclo 1997-98

Como se ha observado, durante la etapa de diseño y desarrollo del modelo matemático, se consideró un índice de repetición igual a 1 en el distrito, es decir, el compromiso es determinar reglas de operación que permitan irrigar una vez toda el área.

Sin embargo, debido a que lo anterior no se puede cumplir siempre y que lo real es que se asigna el recurso según los volúmenes almacenados al principio del primer y segundo subciclo agrícolas, octubre y marzo, respectivamente, se estimará y validará considerando diferentes índices de repetición, desde 0.7 hasta 1.5, con sus respectivos patrones de cultivo (Palacios, T.G. 1999).

Tabla 4.14. Extracciones mensuales para diferentes valores de IR. (Palacios, T.G. 1999)

IR	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	T
0.7	95.29	230.85	135.93	166.28	212.85	275.85	112.21	48.99	33.68	17.69	4.02	2.96	1,336.55
	7.13%	17.27%	10.17%	12.44%	15.92%	20.64%	8.40%	3.67%	2.52%	1.32%	0.30%	0.22%	100.00%
0.8	113.61	262.98	153.42	190.76	240.85	312.42	132.26	67.33	53.34	27.55	4.34	2.96	1,561.82
	7.27%	16.84%	9.82%	12.21%	15.42%	20.00%	8.47%	4.31%	3.42%	1.76%	0.28%	0.19%	100.00%
0.9	122.24	288.41	168.72	218.56	274.01	356.53	161.55	97.60	84.31	42.95	5.23	3.17	1,823.43
	6.70%	15.82%	9.25%	11.99%	15.03%	19.55%	8.86%	5.35%	4.62%	2.36%	0.29%	0.17%	100.00%
1.0	138.83	305.00	180.55	237.67	289.72	378.42	188.62	140.60	139.52	79.93	88.31	43.21	2,210.38
	6.28%	13.80%	8.17%	10.75%	13.11%	17.12%	8.53%	6.36%	6.31%	3.62%	4.00%	1.95%	100.00%
1.1	154.19	322.92	192.45	250.77	301.96	394.49	201.64	162.09	172.64	106.04	119.00	57.70	2,435.88
	6.33%	13.26%	7.90%	10.29%	12.40%	16.19%	8.28%	6.65%	7.09%	4.35%	4.89%	2.37%	100.00%
1.2	154.19	322.97	193.15	253.61	305.49	402.91	216.11	196.86	226.46	157.00	158.41	72.97	2,660.11
	5.80%	12.14%	7.26%	9.53%	11.48%	15.15%	8.12%	7.40%	8.51%	5.90%	5.96%	2.74%	100.00%
1.3	183.70	345.52	207.20	264.72	311.55	412.82	231.45	227.76	270.34	194.79	199.86	91.54	2,941.25
	6.25%	11.75%	7.04%	9.00%	10.59%	14.04%	7.87%	7.74%	9.19%	6.62%	6.80%	3.11%	100.00%
1.4	183.70	345.52	207.20	264.72	311.55	412.82	232.56	246.73	313.80	243.07	257.95	116.71	3,136.32
	5.86%	11.02%	6.61%	8.44%	9.93%	13.16%	7.41%	7.87%	10.01%	7.75%	8.22%	3.72%	100.00%

1.5	183.70	345.52	207.20	264.72	311.55	412.82	234.03	266.39	356.87	292.46	317.94	141.83	3,335.02
	5.51%	10.36%	6.21%	7.94%	9.34%	12.38%	7.01%	7.99%	10.70%	8.77%	9.53%	4.25%	100.00%

Por otro lado, debido a la grave sequía que sufre la cuenca de Yaqui durante los últimos 10 años, se selecciona una decisión difusa conservadora, MAX *L*, además de considerarse el ciclo 1981-82 como referencia de pronóstico por ser el más desfavorable históricamente.

#### 4.6.1 Manejo observado

La Tabla 4.15 muestra el comportamiento real para el ciclo 1997-98. Se aprecia en los volúmenes almacenados inicial y finalmente, así como en el bajo volumen extraído, el impacto que ha tenido la sequía durante los últimos años.

Tabla 4.15. Comportamiento del manejo histórico 1997-98 del sistema de presas del Yaqui.

MANEJO HISTÓRICO DE LOS USOS EN ESTUDIO: 1997-98		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/97), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 351.04, V <sub>Nov</sub> = 1,351.99, V <sub>Ovi</sub> = 1,175.60		
Volúmenes finales almacenados (oct/98), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 292.00, V <sub>Nov</sub> = 1,408.16, V <sub>Ovi</sub> = 1,195.94		
Volumen total derramado, hm <sup>3</sup> = 0.00		
Volumen evaporado, hm <sup>3</sup> = 106.71		
Pérdidas entre presas, hm <sup>3</sup> = 250.43		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
1,813.79 hm <sup>3</sup>	417,327 Mwh 163,944 Mwh ( <i>e</i> , 39.28%) 253,383 Mwh ( <i>r</i> , 60.72%)	72,922 Mwh

#### 4.6.2 Método de conjuntos difusos

Procediendo de manera similar al inciso anterior, se evalúa el modelo con la decisión difusa MAX *L*. Considerando, como se comentó previamente, las variables hidrológicas del ciclo 1981-82 considerando que la región está inmersa en una etapa de sequía severa.

Al simular con las reglas de extracción y porcentajes mensuales de extracción obtenidos con optimización, se decidió seleccionar la decisión difusa MAX *L* por cumplir simultáneamente con los dos objetivos en conflicto, ya que las tres arrojaron prácticamente los mismos resultados

(Apéndice D). En la Tabla 4.16 se muestra un resumen de los resultados obtenidos considerando las variables hidrológicas del ciclo histórico más desfavorable hasta 1997 (1981-82); además de un IR = 0.7 (1,336.55 hm<sup>3</sup>). Esto con el fin de proponer el manejo de la presa para el ciclo 1997-98.

Tabla 4.16. Resultados de la simulación para el período 1997-98 considerando las variables hidrológicas observadas durante el ciclo 1981-82 e IR = 0.7.

<b>MAX L</b>		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 351.04, V <sub>Nov</sub> = 1,351.99, V <sub>Ovi</sub> = 1,175.60 Volúmenes finales almacenados (oct/97), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 148.78, V <sub>Nov</sub> = 826.34, V <sub>Ovi</sub> = 1,435.49 Volumen total derramado, hm <sup>3</sup> = 0.00 Volumen evaporado, hm <sup>3</sup> = 265.72 Pérdidas entre presas (incluyendo derrames), hm <sup>3</sup> = 180.65 Déficit Angostura = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Novillo = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Oviáchic = 61.20 hm <sup>3</sup>		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
1,275.35 hm <sup>3</sup>	272,987 Mwh 263,148 Mwh ( <i>e</i> , 96.40%) 9,839 Mwh ( <i>r</i> , 3.60%)	75,066 Mwh

Y en la Tabla 4.17 se muestra el resumen de los resultados obtenidos con las variable hidrológicas observadas durante el ciclo 1997-98 y un IR = 0.7.

Tabla 4.17. Resultados de la simulación para el período 1997-98 considerando las variables hidrológicas observadas durante el mismo ciclo.

<b>MAX L</b>		
Volúmenes iniciales almacenados (oct/64), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 351.04, V <sub>Nov</sub> = 1,351.99, V <sub>Ovi</sub> = 1,175.60 Volúmenes finales almacenados (oct/97), hm <sup>3</sup> : V <sub>Ang</sub> = 487.62, V <sub>Nov</sub> = 1,834.58, V <sub>Ovi</sub> = 1,384.74 Volumen total derramado, hm <sup>3</sup> = 0.00 Volumen evaporado, hm <sup>3</sup> = 304.98 Pérdidas entre presas (incluyendo derrames), hm <sup>3</sup> = 180.65 Déficit Angostura = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Novillo = 0.00 hm <sup>3</sup> / Déficit Oviáchic = 165.24 hm <sup>3</sup>		
Extracción para uso agrícola	Hidro-generación en El Novillo	Hidro-generación en el Oviáchic
1,171.31 hm <sup>3</sup>	308,515 Mwh 292,924 Mwh ( <i>e</i> , 94.95%) 15,591 Mwh ( <i>r</i> , 5.05%)	74,437 Mwh



Como se observa, en octubre/1997 se terminó con un volumen almacenado total de 2,878.63 hm<sup>3</sup> y en octubre/1998 con el modelo se terminaría con 3,706.94 hm<sup>3</sup>. Considerando que se terminó con 828.31 hm<sup>3</sup> más que el ciclo anterior, y que la diferencia entre la extracción con un IR = 0.7 e IR = 0.8 es de 224.27 hm<sup>3</sup>, se recomienda aumentar la extracción anual a 1,561.82 hm<sup>3</sup>, correspondiente a IR=0.8; esto para el siguiente ciclo 1998-99.

Aquí vale la pena mencionar que con el método de Restricción se obtienen mejores resultados, al igual que con la decisión difusa MAX (0.5\*L<sub>1</sub>+0.5\*L<sub>2</sub>); sin embargo, por las condiciones de sequía, se decidió ser más conservador usando la decisión difusas MAX L.

#### 4.6.3 Manejo observado vs Modelación: 1997-98

En la Tabla 4.18 se muestran de manera resumida los resultados obtenidos para el ciclo 1997-98, tanto con el manejo así como el obtenido con la modelación.

Comparando el manejo real, usando las variables hidrológicas observadas, con los resultados arrojados por la decisión difusa MAX L, usando las ecs. (4.33), (4.42) y (4.43) como reglas de extracción en la modelación, así como los porcentajes de hidro-generación  $eP_{2,j}$  mostrados en la Tabla 4.6; y considerando que no se modificaron dichas reglas durante la operación del hidro-sistema de presas en todo el ciclo agrícola, se puede ver que se extraen 539 hm<sup>3</sup> más que con el modelo. Aplicando el modelo se cumplió con el volumen comprometido (62 hm<sup>3</sup> más que el real asignado), además se terminó con mayor volumen almacenado (811 hm<sup>3</sup>). Es decir, considerando los volúmenes de almacenamiento final, comprometido y extraído, se observa que la decisión difusa seleccionada maneja conservadoramente bien el hidro-sistema. También se puede notar la simplicidad de las reglas de extracción obtenidas con el modelo, las cuales fueron conservadas a lo largo de todo el ciclo agrícola.

Tabla 4.18. Resultados de la modelación para el ciclo 1997-98.

	Real	Conjuntos difusos MAX L	
		Estimado (seco -ciclo 1981-82)	Modelado (real)
Vol. almacenado, oct/97, hm <sup>3</sup>	2,879	2,879	2,879
Vol. almacenado, oct/98, hm <sup>3</sup>	2,896	2,411	3,707
Derrame, hm <sup>3</sup>	0	0	0

Evaporación, hm <sup>3</sup>	290	266	305
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	250	181	181
Déficit, hm <sup>3</sup>		0.00 / 0.00 / 61	0.00 / 0.00 / 165
Volumen comprometido, hm <sup>3</sup>	386	448	448
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	1,814	1,275	1,171
Novillo, Mwh	417,327	272,987	308,515
	163,927	263,148	292,924
	(e. 39.28%)	(e. 96.40%)	(e. 94.95%)
Oviáchic, Mwh	253,401	9,839	15,591
	(r. 60.72%)	(r. 3.60%)	(r. 5.05%)
Oviáchic, Mwh	72,922	75,066	74,437

Por otro lado, en cuanto a la hidro-generación en El Novillo, con el modelo se produce un 26.07% menos en todo el ciclo (108,812 Mwh menos), sin embargo, el comportamiento fçde hidro-generación efectiva se aumenta de 39.28% a 94.95% con la decisión difusa MAX L. En las Figuras 4.19 a 4.24 se muestra el comportamiento gráfico del ciclo 1997-98 real vs modelo. Se aprecia que con el modelo resulta un comportamiento mucho más regular que el real.

Es muy importante notar que las propuestas de manejo interanual del hidro-sistema del Yaqui se da en un horizonte de sequías máximas históricas, por lo que en algunos casos lo más adecuado es disminuir la incertidumbre, más que extraer mayor volumen. También, en ocasiones de puede tener déficit en el Oviáchic para uso agrícola (ver MAR/98 de la Figura 4.24), esto podría resolverse extrayendo más volumen de El Novillo, sin embargo, en el presente trabajo de decidió conservar las extracciones interanuales (mensuales) obtenidas por las reglas de extracción determinadas con el modelo de optimización para cada una de las presas.

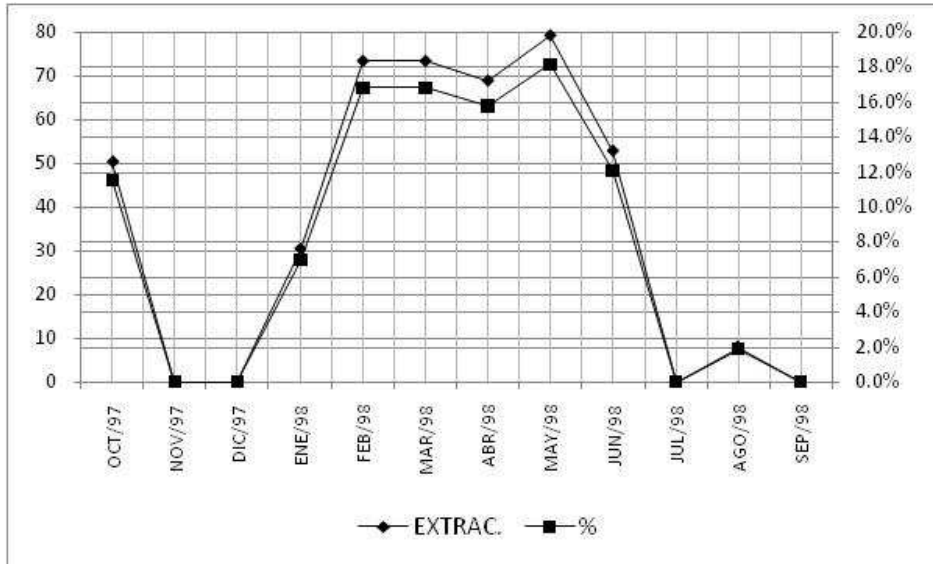


Figura 4.19. Angostura. Manejo real 1997-98.

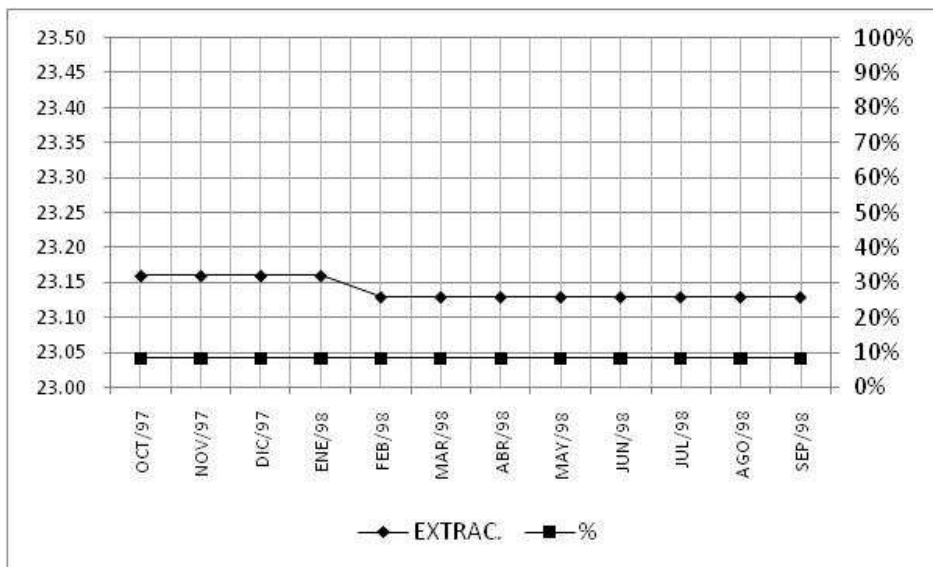


Figura 4.20. Angostura. Manejo modelo 1997-98.

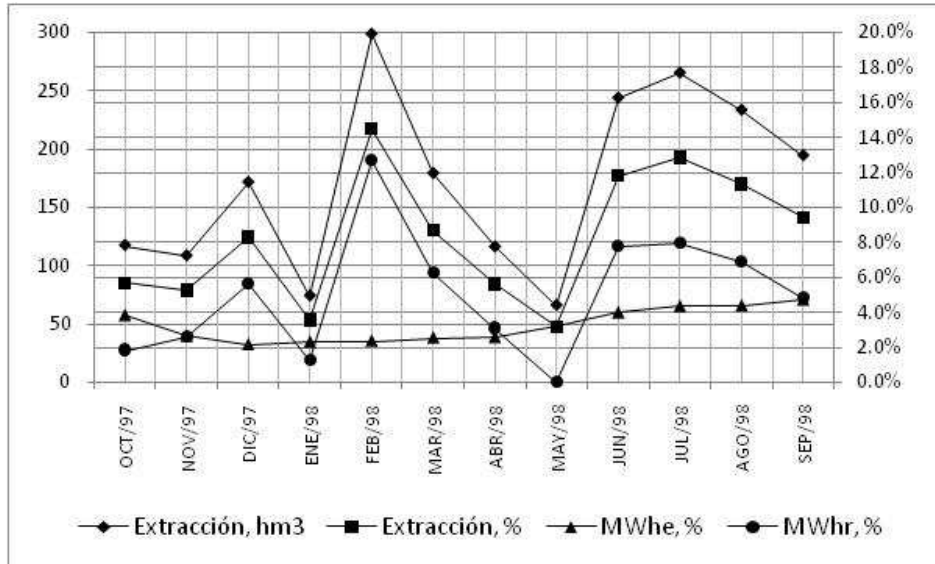


Figura 4.21. El Novillo Manejo real 1997-98.

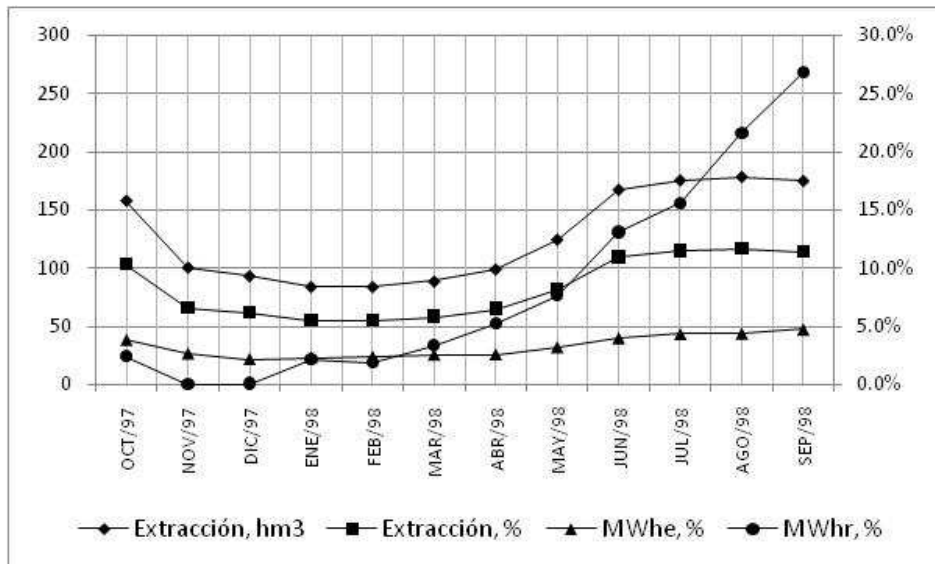


Figura 4.22. El Novillo. Manejo modelo 1997-98.

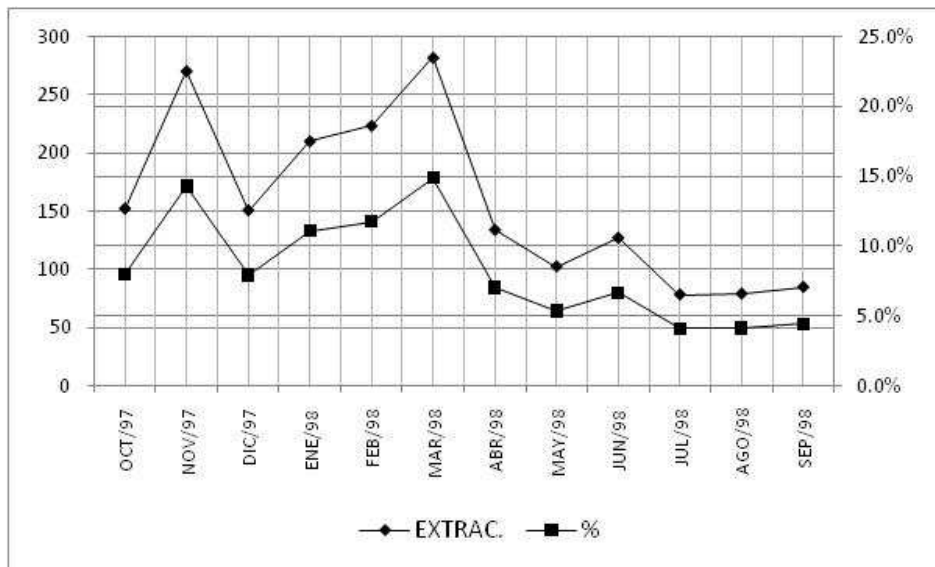


Figura 4.23. Oviáchic. Manejo real 1997-98.

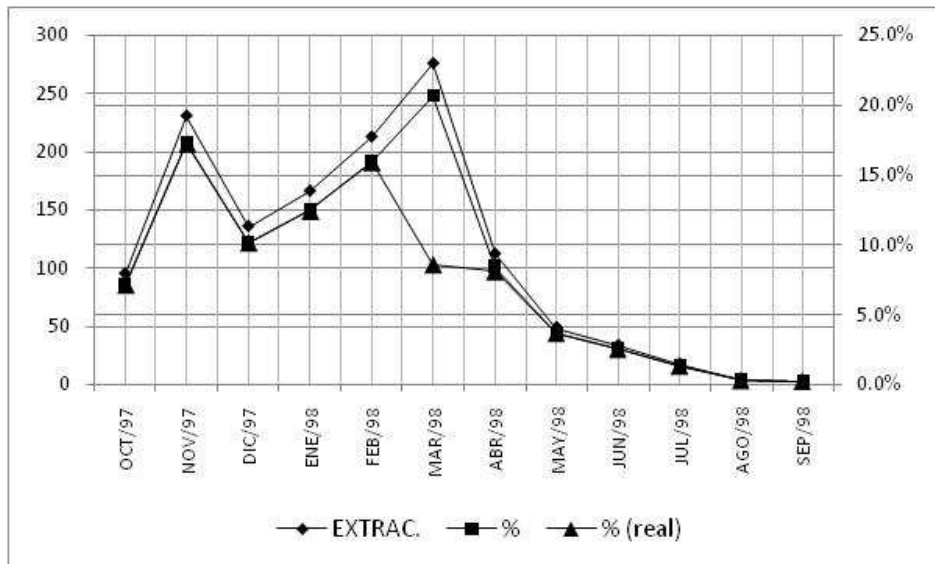


Figura 4.24. Oviáchic. Manejo modelo 1997-98.

## APLICACIÓN

### 4.7 Aplicación ciclos 1998-99 a 2003-04.

De manera similar se determinaron reglas de extracción para en hidro-sistema del Yaqui usando períodos de 34, 35, 36, 37, 38 y 39 años, aplicándolas del ciclo 1998-99 a 2003-04, respectivamente.

En el Apéndice D se muestran los resultados de la aplicación de la decisión difusa MAX  $L$  con los valores reales de las variables hidrológicas. Mencionando que para pronosticar el ciclo siguiente se tomaron los años históricamente más secos: desde 1997 hasta 2000-01 fue el ciclo 1981-82 y del 2002-03 hasta el 2003-04 fue el 2002-03. En la Tabla 4.19 se puede apreciar un resumen detallado de todas estas modelaciones.

Es importante mencionar que en este período seleccionado se presentaron los años más desfavorables, como lo muestra la Tabla 4.20.

En la Tabla 4.21 se presenta un resumen de la extracción para uso agrícola del período de los 7 años procesados con el modelo de 1997-98 a 2003-2004, comparando con el histórico.

Al final de los períodos de estimación se observa lo siguiente:

- Históricamente se aprovecharon 9,088.81 hm<sup>3</sup> para la agricultura del Distrito 041, contra 9,067.93 hm<sup>3</sup> obtenidos con el modelo.
- Históricamente se comprometieron 3,064.11 hm<sup>3</sup>, mientras con el modelo 3,138.17 hm<sup>3</sup>. Es decir, con el modelo se garantizó el compromiso anual sobre todo con los Pueblos Yaquis y Cajeme.
- En octubre del 2004, históricamente se terminó con un volumen almacenado total de 1,819.72 hm<sup>3</sup>, con el modelo fue de 2,157.71 hm<sup>3</sup>.
- Entonces, con el modelo se extraerían 20.88 hm<sup>3</sup> menos para uso agrícola, 74.07 hm<sup>3</sup> más de volúmenes comprometidos y se terminaría con 337.99 hm<sup>3</sup> más en volumen almacenado. Es decir, el balance final resulta favorable con el modelo por 391.18 hm<sup>3</sup>.
- También, se hidro-generarían 343,528 Mwh más con el modelo, aumentando de un 18% de coincidencia histórica con la demanda interanual, a un 92% aplicando el modelo.

De manera similar, en la Tabla 4.22 se presenta un resumen de la hidro-generación en El Novillo perteneciente al período de los 7 años procesados con el modelo de 1997-98 a 2003-2004, comparando con el histórico. Observándose lo siguiente:

- Históricamente se aprovecharon 1,767,344 Mwh contra 2,110,872 Mwh obtenidos con el modelo (343,528 Mwh más con el modelo; 19.44% más).
- Históricamente se genera un 18% acorde con el comportamiento de la demanda interanual y un 61% fuera de dicho comportamiento. Con el modelo se hidro-genera 95% y 5%, respectivamente.

Tabla 4.19. Resultados históricos y obtenidos con el modelo.

	<u>1997-98</u>			<u>1998-99</u>		
	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones
		Modelado (real)			Modelado (real)	
Vol. almacenado, oct	2,878.63	2,878.63	* IR = 0.7 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. * El método de Restricción y el de la decisión difusa MAX (0.5*L <sub>1</sub> +0.5*L <sub>2</sub> ) son muy similares. Se seleccionó MAX L procurando ser conservadores en esta sequía extrema. * Se termina con un volumen mayor que el histórico, apropiado para la etapa de sequía. Confiabilidad = 0.97 Elasticidad = 1.00 Vulnerabilidad = 21.42	2,896.00	3,706.94	IR = 0.8 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. * Hay que dar seguimiento permanente mensual de las variables hidrológicas y volúmenes almacenados. Confiabilidad = 0.97 Elasticidad = 1.00 Vulnerabilidad = 301.23
Vol. almacenado, sep	2,896.00	3,706.94		3,059.50	3,807.58	
Derrame, hm <sup>3</sup>	0.00	0.00		0.00	0.00	
Evaporación, hm <sup>3</sup>	289.72	304.98		262.07	304.93	
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	250.43	180.65		138.87	251.41	
Déficit (Ang/Nov/Ovi), hm <sup>3</sup>		0.00 / 0.00 / 165.24			0.00 / 0.00/0.00	
Volumen comprometido, hm <sup>3</sup>	461.03	448.31		422.42	448.31	
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	1,820.52	1,171.31		1,601	1,561.66	
Novillo, Mwh	417,769 163,944 (e. 39.24%) 253,825. (r. 60.76%)	308,515 292,924 (e. 94.95%) 15,591 (r. 5.05%)		243,306 38,174 (e. 15.69%) 205,132 (r. 84.37%)	413,353 384,629 (e. 93.05%) 28,724 (r. 6.95%)	
Oviáchic, Mwh	72,922	74,437	63,412	91,370		



Tabla 4.19. Resultados históricos y obtenidos con el modelo (cont.)

	<u>1999-00</u>			<u>2000-01</u>		
	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones
		Modelado (real)			Modelado (real)	
Vol. almacenado, oct	3,059.50	3,807.58	* IR = 0.8 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. Confiabilidad = 1.00 Elasticidad = 1.00 Vulnerabilidad = 0.00	2,060.30	2,930.54	* IR = 0.7 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. Confiabilidad = 0.94 Elasticidad = 1.0 Vulnerabilidad = 270.26
Vol. almacenado, sep	2,060.30	2,930.54		2,846.59	3,757.26	
Derrame, hm <sup>3</sup>	0.00	0.00		0.00	0.00	
Evaporación, hm <sup>3</sup>	280.97	353.26		274.13	359.93	
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	237.28	218.35		172.24	159.75	
Déficit (Ang/Nov/Ovi), hm <sup>3</sup>		0.00 / 0.00 / 0.00			0.00 / 0.00 / 0.00	
Volumen comprometido, hm <sup>3</sup>	456.14	448.31		456.14	448.67	
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	1,662	1,561.66		1,468.62	1,336.55	
Novillo, Mwh	395,821	357,430		271,847	284,748	
	19,041	341,871		41,221	261,204	
	(e, 4.81%)	(e, 95.65%)	(e, 15.16%)	(e, 91.73%)		
	376,780	15,559	230,626	23,544		
	(r, 95.19%)	(r, 4.35%)	(r, 84.84%)	(r, 8.27%)		
Oviáchic, Mwh	55,359	99,752	52,671	90,829		

Tabla 4.19. Resultados históricos y obtenidos con el modelo (cont.)

	<u>2001-02</u>			<u>2002-03</u>		
	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones	Real	Conjuntos difusos MAX L	Observaciones
		Modelado (real)			Modelado (real)	
Vol. almacenado, oct	1,490.01	3,757.26	* IR = 0.8 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. * Cero déficits. Confiabilidad = 0.97 Elasticidad = 1.00 Vulnerabilidad = 180.93	1,882.84	3,030.36	* IR = 0.7 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 1981-82. Confiabilidad = 0.95 Elasticidad = 1.00 Vulnerabilidad = 287.34
Vol. almacenado, sep	1,882.84	3,030.36		1,105.54	2,008.60	
Derrame, hm <sup>3</sup>	0.00	0.00		0.00	0.00	
Evaporación, hm <sup>3</sup>	269.89	352.04		182.14	295.86	
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	146.17	216.51		97.88	98.31	
Déficit (Ang/Nov/Ovi), hm <sup>3</sup>		0.00 / 0.00 / 0.00			20.11 / 0.00 / 0.00	
Volumen comprometido, hm <sup>3</sup>	471.60	448.31		465.04	448.13	
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	1,468.62	1,561.66		1,116.26	1,336.55	
Novillo, Mwh	242,168	329,855		138,197	138,552	
	43,078	298,179		1,954	119,565	
	(e, 17.79%)	(e, 90.40%)	(e, 1.41%)	(e, 86.30%)		
	199,090	31,676	136,243	18,987		
	(r, 82.21%)	(r, 9.60%)	(r, 98.59%)	(r, 13.70%)		
Oviáchic, Mwh	53,767	103,975	40,787	94,051		

Tabla 4.19. Resultados históricos y obtenidos con el modelo (cont.)

	<b>2003-04</b>				
	<b>Real</b>	<b>Conjuntos difusos MAX L</b>	<b>Observaciones</b>		
		<b>Modelado (real)</b>			
Vol. almacenado, oct	1,105.54	2,008.60	IR = 0.7 * Se pronostica con las variables hidrológicas del ciclo más seco hasta la fecha: 2002-03. Confiabilidad = Elasticidad = Vulnerabilidad =		
Vol. almacenado, sep	1,819.72	2,157.71			
Derrame, hm <sup>3</sup>	0.00	0.00			
Evaporación, hm <sup>3</sup>	175.80	209.59			
Pérdidas, hm <sup>3</sup>	33.57	149.28			
Déficit, hm <sup>3</sup>		66.76 / 0.00 / 1,014.82			
Volumen comprometido, hm <sup>3</sup>	338.12	448.31			
R <sub>3,t</sub> , hm <sup>3</sup>	139.60	538.54			
Novillo, Mwh	58,235	239,596			
	9,439 (e, 16.21%)	217,757 (e, 90.89%)			
	48,796 (r, 83.79%)	21,839 (r, 9.11%)			
Oviáchic, Mwh	12,750	76,453			

Tabla 4.20. Comportamiento del escurrimiento anual en el sistema de presas del río Yaqui

Ciclo	ANG	NOV	OVI	Total
1964-65	353.50	1,334.40	493.90	2,181.80
1965-66	936.71	3,271.60	561.30	4,769.61
1966-67	303.22	1,712.80	421.50	2,437.52
...	...	...	...	...
1980-81	519.30	2,757.50	744.70	4,021.50
1981-82	223.10	820.80	601.60	<b>1,645.50</b>
1982-83	1,016.00	3,785.40	910.20	5,711.60
1983-84	682.61	3,205.60	899.20	4,787.41
...	...	...	...	...
1995-96	207.39	1,946.50	642.60	2,796.49
1996-97	128.60	1,334.40	465.00	1,928.00
1997-98	554.21	1,829.90	457.51	2,841.62
1998-99	395.23	1,776.40	426.40	2,598.03
1999-00	172.33	1,028.30	441.01	1,641.64
2000-01	526.32	2,009.50	534.17	3,069.99
2001-02	222.91	929.90	634.30	1,787.11
2002-03	<b>96.52</b>	<b>671.50</b>	<b>327.01</b>	<b>1,095.03</b>
2003-04	109.88	903.41	<b>307.33</b>	1,320.61

Escurrecimientos mínimos históricos

Tabla 4.21. Resumen del comportamiento histórico vs comportamiento modelo para el ciclo de estimación 1996-97 a 2003-04, referente a la extracción para uso agrícola.

Ciclo	Histórico			Modelo		
	R <sub>3,t</sub>	Oct <sub>obs</sub>	Comprometidos	R <sub>3,t</sub>	Oct <sub>obs</sub>	Comprometidos
1997-98	1,820.52	2,878.63	461.02	1,171.31	2,878.63	448.31
1998-99	1,600.82		422.42	1,561.66		448.31
1999-00	1,662.26		456.14	1,561.66		448.31
2000-01	1,377.91		449.75	1,336.55		448.31
2001-02	1,468.62		471.61	1,561.66		448.31
2002-03	1,116.26		465.04	1,336.55		448.31
2003-04	42.42	1,819.72	338.12	538.54	2,157.71	448.31
Sumas	9,088.81		3,064.10	9,067.93	<b>337.99</b>	3,138.17
		<b>Histórico =</b>	<b>12,152.91</b>		<b>Modelo =</b>	<b>12,206.10</b>
					<b>Diferencia =</b>	<b>53.19</b>

Tabla 4.22. Resumen del comportamiento histórico vs comportamiento modelo para el ciclo de estimación 1996-97 a 2003-04, referente a la hidro-generación en El Novillo.

	REAL		MODELO		
	MWH2e	MWH2r	MWH2e	MWH2r	
1997-98	163,944	253,825	292,924	15,591	
1998-99	38,174	205,132	384,629	28,724	
1999-00	19,041	376,780	339,835	15,464	
2000-01	41,221	230,626	261,275	23,537	
2001-02	43,078	199,090	298,291	31,660	
2002-03	1,954	136,243	150,001	29,345	
2003-04	9,439	48,796	217,757	21,839	
	<b>316,852</b>	<b>1,450,492</b>	<b>1,944,712</b>	<b>166,160</b>	
		<b>1,767,344</b>		<b>2,110,872</b>	<b>-343,528</b>
	18%	82%	92%	8%	

1997-98	163,944	253,825	292,924	15,591	
	<b>163,944</b>	<b>253,825</b>	<b>292,924</b>	<b>15,591</b>	
		<b>417,769</b>		<b>308,515</b>	<b>109,254</b>
	39%	61%	95%	5%	



## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En hidro-sistema de la cuenca del Yaqui es muy complejo en la toma de decisiones sobre extracciones, considerando que la información depende del tiempo, resalta la importancia de la operación en tiempo real. La tarea del operador es cumplir los objetivos tanto como le sea posible a la vez que debe cumplir con cuestiones legales y otras restricciones. La operación tiene incertidumbres e inexactitudes. Incertidumbre en los objetivos, que pueden cambiar con el tiempo. Incertidumbre e inexactitud en los pronósticos de las entradas al hidro-sistema.

Debido a que el modelo aquí propuesto, además de planear a largo plazo, ofrece una validación de su operatividad, es muy importante considerar que esta operación es un proceso continuo de toma de decisiones para determinar tanto el volumen almacenado en el hidro-sistema, así como su extracción.

- ❖ La extracción promedio histórica de 2,560 hm<sup>3</sup> para uso agrícola, es mayor que la obtenida con cualesquiera de los métodos de programación multi-objetivo aquí utilizados (Restricción y Conjuntos difusos).
- ❖ De la Peña (1997) y Díaz (2001) obtuvieron resultados similares de aproximadamente 2,330 hm<sup>3</sup>/año. Observando una sobre-explotación del agua superficial para uso agrícola.

- ❖ Entonces, es factible considerar la aplicación de los métodos aquí propuestos.
- ❖ Con la decisión difusa  $MAX L$ , se tendría un balance positivo de  $391.18 \text{ hm}^3$  en el manejo del hidro-sistema del Yaqui, y se producirían  $343,528 \text{ Mwh}$  más que el histórico (incrementándose de un 18% histórico a un 92% con el modelo, en coincidencia con la demanda interanual).
- ❖ Entonces, considerando la conclusión anterior, se justifica considerar la aplicación de la técnica multi-objetivo aquí presentada.
- ❖ Se elaboró una técnica multi-objetivo para determinar reglas de extracción de las presas, acorde con las temporalidades mensuales tanto de la extracción para uso agrícola, así como de la demanda de energía eléctrica.
- ❖ La técnica aquí propuesta cumple con los criterios de: factibilidad computacional, claridad en el intercambio de objetivos en conflicto, y en facilitar información a los tomadores de decisiones para seleccionar la alternativa adecuada.
- ❖ También puede inferir fácilmente que las técnicas de programación multi-objetivo usando conjuntos difusos, como la aquí desarrollada, tiene el potencial de manejar tres o más objetivos en conflicto de manera sencilla, incluyendo objetivos con unidades de medición diferentes entre sí.
- ❖ El número de cálculos de la técnica es reducido, ya que se requiere solamente de una ejecución para obtener los resultados dentro del espacio no inferior, en donde los objetivos a analizar están en conflicto.
- ❖ Entonces, la técnica de programación multi-objetivo usando conjuntos difusos aquí desarrollada para la planeación del manejo de los recursos hidráulicos, es de gran potencial dentro de las técnicas generadoras de alternativas.

Por otro lado, considerando el comportamiento de la técnica aquí propuesta en la predicción de alternativas de manejo para el siguiente ciclo, se recomienda usar los resultados de la decisión difusa  $MAX L$  cuando se tiene sequía; y  $MAX (0.5*L_1+0.5*L_2)$  en los otros años, ya que el primero es más conservador. Aunque no se descartaría presentar los resultados de ambos modelos a los tomadores de decisiones.

Debido a la irregularidad del comportamiento del escurrimiento y la precipitación, es



recomendable ajustar las reglas de extracción cada año.

Hacer otros proyectos de planeación del manejo del recurso incluyendo otros objetivos en conflicto, los cuales se puede decir que ya están haciendo cierta presión sobre el uso agrícola. Ellos son, los usos: industrial (cuyo crecimiento e impacto sobre el producto interno bruto estatal se incrementa continuamente), recreativo (existen zonas a lo largo del río Yaqui, aguas abajo de la presa Oviáchic, con gran potencial turístico, además de la explosión que en aspecto de pesca deportiva está teniendo dicha presa) y acuacultural (siendo la presa Oviáchic una fuente de ingreso cada vez más importante para el sector social a través de la pesca comercial).

Considerando las herramientas aquí desarrolladas para planear el manejo del recurso hídrico, operar el hidro-sistema del Yaqui ajustando la regla según el comportamiento de las variables hidrológicas, sobretodo el escurrimiento. Pudiéndose aplicar inclusive otras técnicas de conjuntos difusos para precisamente la operación, las cuales consideran el aspecto de incertidumbre.

Finalmente, por el potencial del impacto social, económico y ambiental que pueden tener las decisiones en la planeación del manejo de hidro-sistemas complejos, como el aquí estudiado, se considera que estas técnicas de programación multi-objetivo son especialmente adecuadas para la generalización de su aplicación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Amisial, R. y Barrios, A. 1986. Modelo de simulación de la operación de un embalse de usos múltiples. CIDIAT, OEA.
- Changchit, C. y Terrel, P. 1989. CCGP Model for Multiobjective Reservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE. Vol. 115, No.54, p. 658-670.
- Cohon, J.L. 1975. A Review and Evaluation of Multiobjective Programming Techniques. *Journal of Water Resources Research*. Vol 11, No. 2, p. 208-220
- Cohon, J.L. 1978. *Multiobjective Programming and Planning*. Academic Press. USA.
- Dubrovin, T y Turunen, E. 2002. Fuzzy Model for Real-Time Reservoir Operation. *Journal of Water Resources Research*. Vol 128, No. 1, p. 66-73.
- Fuentes, M.S. 1987. Políticas de operación de presas. *Ingeniería Hidráulica en México*. Mayo-agosto.
- Galindo, G.J. (s.f.). *Conjuntos y Sistemas Difusos (Lógica Difusa y Aplicaciones)*. Depto. de lenguajes y Ciencias de la Computación. Universidad de Málaga. <http://polaris.lcc.uma.es/~ppgg/FSS/FSS7.pdf>
- Haimes, Y.Y.. 1977. *Hierarchical Analyses of Water Resources Systems. Modeling and Optimization of Large-Scale Systems*. Mc-Graw Hill. USA.
- Helweg, O.J. 1992. *Recursos Hidráulicos: Planeación y Administración*. LIMUSA. México.
- Karamouz, M., Szidarovszky, F. y Zahraie, B. 2003. *Water Resources System Analysis*. Lewis Publishers, USA.
- Labadie, J.W. 2004. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. *Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE. Vol. 130, No.2, p. 93-111.  
*Journal of Water Resources Planning and Management*. ASCE. Vol. 123, No.64, p. 336-343.111.
- Lansford, R., Gorman, D. y Creel, B. 1979. Water Trade-Off Between Electric Energy and Agriculture in the Four Corners Area. *Water Resources Research*. AGU. Vol. 15, No. 3, p. 529-538
- Kirsch, D.A. 2001. Fuzzy sets in multiobjective optimization. <http://www.grabitech.com/multicriteria.htm>
- Loucks, D. Stedinger, J. y Haith, D. 1981. *Water Resource Systems Planning and Analysis*. Prentice-Hall. USA.

**ANEXO 1**  
**DATOS TOPOGRÁFICOS E HIDROLÓGICOS (1964-65 A 2003-04) EN EL**  
**SISTEMA DE PRESAS DEL YAQUI**

**Angostura: Datos topográficos.**

Elev (m.s.n.m)	Area (ha)	Volumen hm <sup>3</sup>	Elev (m.s.n.m)	Area (ha)	Volumen hm <sup>3</sup>
771.00	10.00	0.419	807.00	1843.00	212.500
772.00	20.00	0.825	808.00	1920.00	230.000
773.00	30.00	1.238	809.00	1993.00	250.000
774.00	40.00	1.650	810.00	2065.00	270.000
775.00	50.00	2.063	811.00	2138.00	290.000
776.00	60.00	2.476	812.00	2210.00	310.000
777.00	70.00	2.888	813.00	2285.00	334.000
778.00	86.00	3.904	814.00	2360.00	358.000
779.00	108.00	4.920	815.00	2435.00	383.000
780.00	130.00	5.936	816.00	2510.00	408.000
781.00	150.00	6.952	817.00	2590.00	433.000
782.00	170.00	7.968	818.00	2670.00	458.000
783.00	190.00	8.984	819.00	2750.00	485.000
784.00	210.00	10.000	820.00	2830.00	512.000
785.00	233.00	12.500	821.00	2915.00	541.000
786.00	255.00	15.000	822.00	3000.00	570.000
787.00	288.00	17.500	823.00	3088.00	600.000
788.00	320.00	20.000	824.00	3175.00	630.000
788.70	348.00	22.800	825.00	3263.00	665.000
789.00	360.00	24.000	826.00	3350.00	700.000
790.00	400.00	28.000	827.00	3443.00	734.000
791.00	455.00	33.000	828.00	3535.00	768.000
792.00	510.00	38.000	829.00	3628.00	803.000
793.00	578.00	44.000	830.00	3720.00	838.000
794.00	645.00	50.000	831.00	3823.00	875.500
795.00	725.00	57.500	832.00	3925.00	913.000
796.00	805.00	65.000	833.00	4028.00	954.000
797.00	898.00	74.000	834.00	4130.00	995.000
798.00	990.00	83.000	835.00	4240.00	1037.500
799.00	1100.00	94.000	836.00	4350.00	1080.000
800.00	1210.00	105.000	837.00	4460.00	1125.000
801.00	1310.00	118.500	838.00	4570.00	1170.000
802.00	1410.00	132.000	839.00	4685.00	1215.000
803.00	1505.00	146.000	840.00	4800.00	1260.000
804.00	1600.00	160.000	840.19	4824.00	1268.600
805.00	1683.00	177.500			
805.15	1695.32	180.130			
806.00	1765.00	195.000			

**El Novillo: Datos topográficos.**

Elev	Area	Volumen	Elev	Area	Volumen
(m.s.n.m)	(ha)	hm <sup>3</sup>	(m.s.n.m)	(ha)	hm <sup>3</sup>
230	809	73.077	267	5253	1143.333
231	865	85.143	268	5397	1196.667
232	926	97.966	269	5540	1250.000
233	990	111.567	270	5695	1308.414
234	1059	125.970	271	5850	1366.828
235	1107	141.195	272	6013	1427.414
236	1210	157.266	273	6175	1488.000
237	1291	174.206	274	6348	1549.000
238	1377	192.135	275	6520	1610.000
239	1467	210.777	276	6708	1678.500
240	1521	220.616	277	6895	1747.000
241	1575	230.454	278	7088	1818.500
242	1660	251.087	279	7280	1890.000
243	1763	272.701	280	7484	1966.856
244	1870	295.315	281	7687	2043.711
245	1981	318.954	282	7894	2126.856
246	2099	343.639	283	8100	2210.000
247	2216	369.393	284	8319	2294.000
248	2339	396.238	285	8538	2378.000
249	2467	424.195	286	8759	2467.000
250	2600	453.289	287	8979	2556.000
251	3042	482.005	288	9200	2645.000
252	3179	515.504	289	9438	2738.000
253	3315	549.002	290	9690	2831.569
254	3452	582.501	291	9941	2925.137
255	3588	616.000	292	10241	3026.569
256	3722	653.000	293	10540	3128.000
257	3856	690.000	294	10863	3239.333
258	3990	727.000	295	11187	3350.667
259	4127	769.404	296	11510	3462.000
260	4265	811.808			
261	4402	854.212			
262	4541	900.475			
263	4681	946.737			
264	4820	993.000			
265	4965	1041.500			
266	5110	1090.000			

**Oviáhic: Datos topográficos.**

Elev (m.s.n.m)	Area (ha)	Volumen hm <sup>3</sup>	Elev (m.s.n.m)	Area (ha)	Volumen hm <sup>3</sup>
68	1200	55.000	106	16712	3068.334
69	1560	70.000	107	17224	3226.668
70	1853	87.000	108	17736	3385.002
71	2150	105.000	109	18248	3543.336
72	2450	129.000	109.89	18703	3684.253
73	2765	154.000			
74	3050	182.000			
75	3306	216.000			
76	3665	250.000			
77	3940	285.000			
78	4225	325.000			
79	4510	370.000			
80	4771	417.000			
81	5140	463.000			
82	5400	518.000			
83	5735	572.000			
84	6045	629.000			
85	6378	696.000			
86	6750	756.000			
87	7170	826.000			
88	7540	898.000			
89	7960	979.000			
90	8404	1066.000			
91	8890	1148.000			
92	9340	1240.000			
93	9830	1337.000			
94	10350	1440.000			
95	10935	1550.000			
96	11450	1662.000			
97	12000	1780.000			
98	12540	1900.000			
99	13100	2032.000			
100	13625	2164.000			
101	14250	2307.000			
102	14540	2450.000			
103	15200	2600.000			
104	15710	2760.000			
105	16200	2910.000			

**Angostura: Escurrimiento mensual, hm<sup>3</sup>**

<b>Ciclo</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>Anual</b>
1964-65	47.10	8.00	7.40	15.00	53.40	21.80	13.10	7.60	10.90	66.50	42.20	60.50	353.50
1965-66	10.00	1.90	252.10	69.50	88.10	50.20	29.40	0.01	0.20	92.70	279.80	62.80	936.71
1966-67	51.70	21.30	10.20	5.30	0.01	3.40	1.90	1.30	0.01	75.10	104.00	29.00	303.22
1967-68	7.40	41.40	544.60	136.90	218.00	289.80	42.30	10.00	6.80	18.60	82.30	25.90	1,424.00
1968-69	0.80	5.90	16.00	16.00	13.60	7.60	4.70	5.30	1.90	69.90	71.90	54.80	268.40
1969-70	36.80	30.20	36.60	11.70	7.10	18.30	3.60	0.01	0.10	17.10	148.40	46.30	356.21
1970-71	11.70	6.30	6.30	7.30	5.90	7.40	3.10	2.70	0.30	51.50	100.00	17.40	219.90
1971-72	48.00	39.00	49.40	26.50	1.30	0.01	0.90	0.20	7.10	31.30	120.90	95.90	420.51
1972-73	67.40	67.40	21.10	181.50	264.00	181.30	31.70	20.70	6.60	65.10	8.70	5.80	921.30
1973-74	7.70	0.20	0.01	1.10	4.50	12.00	6.10	0.01	0.20	49.30	83.20	25.30	189.62
1974-75	19.30	48.70	8.70	11.50	67.00	7.90	8.00	0.10	2.10	91.30	35.50	60.40	360.50
1975-76	4.30	0.20	0.30	30.10	100.40	0.01	3.00	4.30	0.10	134.20	57.40	63.10	397.41
1976-77	44.70	18.30	8.50	61.40	21.00	7.30	0.10	0.01	0.01	100.80	144.40	52.20	458.72
1977-78	116.50	12.50	4.40	28.00	66.50	391.40	42.30	19.60	6.00	14.90	44.90	7.00	754.00
1978-79	54.60	46.80	185.20	530.00	117.90	30.50	36.40	21.30	6.50	15.10	72.50	1.20	1,118.00
1979-80	6.20	7.80	14.50	2.90	34.50	5.30	0.10	1.00	2.00	27.40	59.10	33.90	194.70
1980-81	5.00	1.70	4.70	35.90	20.90	127.60	15.40	9.20	5.00	111.80	143.90	38.20	519.30
1981-82	24.50	13.30	31.30	32.80	1.60	5.30	0.30	0.10	0.10	15.40	39.90	58.50	223.10
1982-83	2.90	2.90	158.50	66.30	218.30	281.90	115.60	26.70	7.20	14.70	57.70	63.30	1,016.00
1983-84	98.80	55.70	100.90	18.20	5.20	0.01	0.30	4.30	3.80	42.00	301.90	51.50	682.61
1984-85	42.30	25.00	522.30	167.90	107.10	44.90	35.20	23.70	0.20	20.20	98.40	38.80	1,126.00
1985-86	94.40	15.40	17.20	6.50	43.20	15.60	17.60	11.30	20.20	195.40	139.10	83.30	659.20
1986-87	20.40	19.90	165.70	28.90	18.80	22.00	13.80	17.80	13.80	6.30	111.70	32.30	471.40
1987-88	0.01	0.01	22.00	29.40	28.70	0.30	0.50	0.80	2.40	64.20	299.30	76.60	524.22
1988-89	33.00	6.30	8.80	14.30	13.60	10.00	4.90	8.00	5.00	8.20	113.10	70.00	295.20
1989-90	2.00	0.01	4.80	23.10	43.30	19.90	9.40	4.00	0.20	157.60	268.20	52.60	585.11
1990-91	57.00	20.00	95.10	87.90	49.90	204.80	16.90	3.10	6.30	38.70	127.90	120.80	828.40
1991-92	13.70	7.90	204.30	309.30	79.30	87.30	36.60	9.40	8.90	24.80	46.60	16.90	845.00
1992-93	5.70	0.01	45.30	480.80	171.80	67.40	21.10	10.10	3.90	65.20	123.90	85.30	1,080.51

1993-94	19.10	23.80	42.50	20.30	21.20	11.60	0.01	0.01	3.60	9.70	27.00	44.20	223.02
1994-95	3.50	87.50	274.30	40.70	335.30	34.00	13.00	5.90	5.80	9.20	29.20	42.70	881.10
1995-96	7.86	8.36	7.71	5.36	5.80	4.09	0.44	0.10	0.92	56.98	46.21	63.56	207.39
1996-97	8.50	9.10	8.50	9.50	5.40	21.10	4.40	0.40	3.80	6.20	30.10	21.60	128.60
1997-98	5.10	17.40	98.00	66.90	106.00	86.90	47.10	16.90	0.01	46.20	57.40	6.30	554.21
1998-99	5.90	4.30	3.20	3.10	2.90	0.30	0.01	0.01	0.01	128.10	204.50	42.90	395.23
1999-00	1.10	0.80	0.50	4.30	3.40	0.90	0.01	0.01	0.01	63.80	84.00	13.50	172.33
2000-01	69.40	110.60	17.80	22.60	79.80	19.10	6.60	0.01	0.01	66.80	114.60	19.00	526.32
2001-02	8.23	0.92	1.10	2.08	67.13	15.91	5.69	2.01	2.27	9.79	89.47	18.30	222.91
2002-03	2.70	6.00	11.30	10.90	19.70	29.80	5.00	0.01	0.01	1.60	6.30	3.20	96.52
2003-04	0.00	0.00	2.55	3.78	5.30	13.70	6.03	0.00	0.83	17.43	53.30	6.95	109.88

**Angostura: Evaporación mensual, mm.**

<b>Ciclo</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>
1964-65	193.90	165.00	128.31	121.17	146.40	229.24	321.12	428.30	397.42	293.60	275.54	243.27
1965-66	255.70	174.75	83.94	99.10	121.37	247.32	302.79	388.35	391.80	264.91	177.13	197.55
1966-67	207.33	144.18	127.56	161.10	167.04	265.34	388.16	390.49	386.82	249.53	282.25	238.95
1967-68	234.15	139.42	89.47	89.79	100.15	155.13	271.13	387.01	402.52	271.00	228.07	265.39
1968-69	234.78	141.46	120.53	128.23	122.22	218.48	308.37	370.35	443.00	285.80	285.11	252.93
1969-70	226.44	148.20	93.74	118.98	140.49	210.44	310.65	398.80	414.13	313.05	265.08	212.79
1970-71	227.94	177.94	141.01	167.96	171.33	296.62	314.28	422.97	417.04	270.94	218.18	220.06
1971-72	168.82	132.49	86.74	117.04	177.87	260.74	342.90	370.12	348.05	329.53	240.12	211.01
1972-73	170.51	131.34	112.86	97.21	105.68	185.28	285.35	333.26	397.02	277.21	275.39	276.50
1973-74	257.73	176.56	151.16	123.56	175.86	241.68	336.32	413.18	444.63	248.69	237.78	227.07
1974-75	183.55	125.88	108.94	132.06	148.93	229.17	301.93	392.64	434.49	243.74	282.30	214.19
1975-76	244.40	181.45	132.40	129.18	165.31	267.15	301.57	352.22	404.85	268.26	267.48	217.67
1976-77	174.30	141.89	111.49	86.20	168.88	233.71	291.51	401.56	405.17	266.17	248.27	254.59
1977-78	167.03	150.28	127.04	106.50	121.24	198.46	325.67	388.44	407.15	328.69	277.14	262.34
1978-79	207.94	122.00	99.52	92.77	146.43	234.60	309.77	385.53	422.92	363.16	280.31	285.71
1979-80	275.54	179.23	133.38	134.17	151.84	243.08	318.93	414.09	460.55	315.44	259.93	262.20
1980-81	262.67	168.12	146.83	99.58	149.13	191.22	291.85	380.02	399.53	249.79	263.71	222.81



1981-82	194.39	160.37	126.13	126.91	155.78	263.21	323.49	385.06	455.39	304.81	273.62	260.05
1982-83	260.04	151.02	79.47	96.70	102.53	165.38	231.36	376.05	421.89	292.84	244.60	193.23
1983-84	132.79	102.62	94.61	98.97	150.48	247.43	301.19	389.82	332.34	250.65	205.09	245.75
1984-85	153.45	129.27	83.91	74.12	190.22	185.12	255.79	332.68	362.46	296.69	232.45	210.33
1985-86	129.20	129.94	92.80	119.05	113.73	198.62	293.39	363.76	305.41	225.65	234.80	242.68
1986-87	174.07	104.39	59.45	104.14	111.59	195.60	252.90	297.34	359.49	346.36	222.55	207.06
1987-88	190.05	140.37	86.96	98.36	125.39	222.01	239.23	364.31	386.86	255.54	208.89	217.43
1988-89	155.44	132.02	86.38	88.59	128.52	234.77	320.72	368.93	401.15	294.99	212.55	244.73
1989-90	183.22	125.95	89.03	92.24	108.53	209.00	302.76	362.82	388.50	198.54	184.82	182.59
1990-91	163.79	101.68	80.43	70.08	90.05	161.9	279.83	366.29	361.88	246.34	191.76	195.9
1991-92	210.18	121.29	58.58	65.3	91.52	140.06	234.04	280.44	371.16	280.64	220.62	236.44
1992-93	198.98	132.55	60.9	66.78	79.36	190.8	278.03	330.62	391.41	239.87	213.69	208.16
1993-94	174.06	96.6	89.35	102.69	120.14	202.82	288.92	344.8	349.38	310.33	243.2	202.34
1994-95	182.91	114.04	49.86	71.78	91.27	164.03	249.94	359.65	389.78	289.76	241.72	216.84
1995-96	167.68	97.84	85.38	128.28	139.15	233.64	311.82	397.27	344.92	237.11	221.71	134.96
1996-97	205.73	137.99	123.43	104.80	123.00	226.64	253.58	316.56	356.67	271.52	219.37	193.89
1997-98	179.70	95.72	66.49	91.92	92.29	157.91	252.00	333.69	352.01	223.30	235.08	193.89
1998-99	189.45	110.95	92.64	125.93	151.84	217.40	277.03	365.26	325.59	192.94	200.51	223.52
1999-00	217.60	168.70	105.17	128.79	158.37	196.42	312.80	391.00	287.30	282.23	231.34	234.93
2000-01	128.90	82.83	92.53	82.42	104.80	180.55	266.87	333.16	334.80	236.29	258.64	254.16
2001-02	193.11	123.72	104.72	119.89	132.58	223.14	281.66	362.68	395.45	268.29	211.21	214.44
2002-03	161.96	141.89	73.40	107.19	95.04	187.32	276.49	362.37	364.70	305.15	245.86	237.94
2003-04	199.10	129.12	108.53	84.25	112.36	180.01	224.50	365.00	389.49	237.08	235.77	208.68

**Angostura: Precipitación mensual, mm.**

Ciclo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1964-65	28.30	0.00	4.00	46.20	36.30	7.40	0.10	0.10	36.30	86.90	65.60	18.00
1965-66	0.00	0.50	138.00	14.50	32.20	1.00	4.30	0.60	18.50	120.10	221.50	61.60
1966-67	0.60	1.10	2.00	0.00	0.30	0.50	0.40	8.50	3.10	80.50	14.40	19.70
1967-68	2.80	53.20	153.10	30.80	57.40	43.80	6.60	0.10	4.80	85.80	125.30	2.30
1968-69	0.00	43.00	13.50	11.00	21.90	1.20	0.10	15.40	0.00	69.40	54.30	16.70

1969-70	16.80	24.20	42.40	20.50	9.00	36.60	6.00	0.20	12.90	111.00	53.50	61.60
1970-71	0.50	0.00	0.00	0.00	18.20	0.00	1.70	0.00	25.60	91.70	97.40	70.40
1971-72	42.80	17.50	22.00	1.50	0.00	0.00	0.00	15.20	28.10	42.90	134.30	48.30
1972-73	38.90	3.70	22.00	35.70	61.80	15.90	0.00	30.50	24.60	99.90	41.30	10.80
1973-74	1.40	5.00	0.00	40.50	0.00	5.30	0.00	0.00	3.70	76.90	81.70	20.50
1974-75	39.30	32.90	9.50	61.70	3.50	29.30	1.30	1.50	0.10	149.60	40.50	63.00
1975-76	6.00	12.10	19.00	8.20	35.40	1.70	13.10	18.50	6.90	175.10	50.10	62.10
1976-77	25.00	19.50	16.70	43.90	0.00	4.50	4.30	4.00	7.50	102.70	118.30	5.80
1977-78	57.30	1.60	10.80	18.90	62.00	49.30	0.00	0.20	9.30	85.60	31.60	18.60
1978-79	42.00	67.60	107.50	76.50	9.00	12.00	0.00	2.20	16.20	51.80	76.30	35.80
1979-80	0.00	7.30	13.30	12.00	79.50	7.70	4.50	0.00	34.90	90.70	71.70	30.90
1980-81	0.00	1.40	4.00	79.50	36.70	32.70	25.80	3.00	32.70	115.90	66.40	90.20
1981-82	6.90	49.20	0.00	22.40	6.10	1.70	0.00	8.00	2.00	38.80	44.90	55.00
1982-83	0.00	53.90	77.00	34.30	26.80	77.20	13.20	0.10	0.00	80.70	23.60	88.50
1983-84	92.10	38.00	13.00	25.80	0.10	0.00	9.10	5.50	32.00	99.20	149.10	26.20
1984-85	62.60	24.40	105.40	38.10	22.10	4.60	50.00	0.00	4.80	53.70	155.70	71.50
1985-86	109.50	11.10	3.20	2.70	36.40	13.60	6.00	1.40	76.70	83.70	72.00	59.50
1986-87	5.70	35.80	114.90	0.00	17.70	2.00	7.50	25.00	4.20	21.40	113.10	35.60
1987-88	3.50	8.80	36.00	12.50	12.20	10.00	21.20	0.00	27.90	84.00	65.70	87.60
1988-89	81.10	0.80	28.70	17.20	10.50	21.80	0.00	13.80	0.00	111.60	106.90	7.10
1989-90	50.50	0.00	38.80	21.80	10.20	2.00	0.00	3.20	12.20	262.10	81.30	72.00
1990-91	25.40	41.10	68.90	17.60	79.70	22.40	0.00	0.00	3.30	92.20	85.00	15.60
1991-92	7.40	6.60	115.30	32.30	23.20	48.30	5.50	6.90	20.80	87.50	72.60	18.60
1992-93	2.70	0.00	66.70	81.90	39.90	3.00	6.50	22.50	14.60	4.90	84.80	42.60
1993-94	24.10	35.20	33.00	5.20	15.50	0.00	0.00	0.00	32.20	38.50	135.10	27.70
1994-95	37.30	69.90	152.50	24.50	72.80	17.90	1.80	0.00	0.00	62.60	200.70	93.80
1995-96	18.90	40.50	2.80	0.00	13.80	0.00	0.50	0.00	0.00	150.70	80.90	40.90
1996-97	1.60	7.70	0.00	8.70	11.20	1.00	22.70	32.00	12.10	125.15	109.45	96.00
1997-98	12.50	44.20	119.30	2.50	44.00	4.10	0.00	0.00	40.00	128.90	173.20	96.00
1998-99	25.20	23.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.50	107.60	75.00	64.50
1999-00	4.50	0.00	4.70	0.00	0.80	13.50	0.00	3.50	55.40	119.80	135.60	36.30

2000-01	138.80	39.70	0.00	59.45	20.70	7.00	2.30	5.00	9.30	159.60	35.60	39.00
2001-02	13.70	0.80	8.60	12.20	98.70	0.00	0.00	0.00	3.00	132.50	120.30	33.20
2002-03	11.00	10.20	39.00	0.00	45.30	15.50	0.00	0.00	9.60	45.80	49.50	49.10
2003-04	9.70	24.80	0.40	22.90	32.10	37.50	57.50	0.00	5.00	92.50	70.30	24.16

**El Novillo: Esguerrimiento mensual, hm<sup>3</sup>**

<b>Ciclo</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>Total</b>
1964-65	48.50	55.80	28.40	22.50	110.80	71.60	10.20	51.30	0.50	156.90	282.30	495.60	1,334.40
1965-66	32.90	33.70	377.80	85.40	179.50	43.20	15.80	10.60	51.10	526.20	1,533.80	381.60	3,271.60
1966-67	85.20	12.20	35.80	15.60	32.80	40.10	28.70	25.70	103.20	495.30	704.80	133.40	1,712.80
1967-68	60.50	279.80	800.70	155.60	472.40	627.70	111.10	47.70	34.40	771.70	825.00	490.70	4,677.30
1968-69	97.10	80.00	58.60	57.00	104.80	51.80	43.40	41.30	28.00	347.00	287.60	158.50	1,355.10
1969-70	9.50	49.40	78.50	26.80	54.90	91.30	43.50	23.80	0.10	305.20	744.30	274.80	1,702.10
1970-71	54.80	30.60	40.70	39.60	32.60	11.00	6.30	24.30	26.70	365.50	749.30	169.10	1,550.50
1971-72	408.80	132.40	104.10	55.00	26.60	39.70	42.40	26.70	70.10	232.30	582.30	488.80	2,209.20
1972-73	256.70	162.10	71.90	430.80	642.90	235.00	59.60	19.50	21.10	205.40	663.80	104.70	2,873.50
1973-74	34.80	25.50	26.60	41.60	31.00	7.80	0.10	20.90	26.70	466.50	536.40	613.70	1,831.60
1974-75	122.80	194.90	51.70	62.70	99.60	0.60	2.40	20.40	23.70	509.10	564.80	513.70	2,166.40
1975-76	47.20	6.60	64.80	20.60	73.70	29.00	22.80	11.40	18.40	706.70	199.70	298.10	1,499.00
1976-77	111.20	34.40	28.50	59.50	28.10	30.70	17.50	18.10	15.40	369.40	661.20	387.90	1,761.90
1977-78	80.60	28.70	10.30	35.20	64.10	348.60	0.10	0.10	28.40	159.80	455.30	448.80	1,660.00
1978-79	284.70	83.30	229.40	810.10	257.50	80.50	9.50	19.60	42.10	241.00	403.70	128.70	2,590.10
1979-80	11.90	18.90	6.10	39.00	45.80	5.70	26.90	8.00	0.60	206.70	424.90	574.80	1,369.30
1980-81	145.50	22.40	25.60	266.00	59.40	339.60	32.60	21.80	34.10	553.80	782.60	474.10	2,757.50
1981-82	133.60	31.20	0.10	22.10	38.00	23.60	20.00	20.60	8.50	150.80	220.50	151.80	820.80
1982-83	43.90	45.30	408.40	251.40	455.00	940.20	290.20	59.70	26.00	215.80	616.00	433.50	3,785.40
1983-84	513.20	235.70	240.50	85.50	50.20	36.90	52.50	27.40	64.80	400.90	1,177.60	320.40	3,205.60
1984-85	231.00	79.70	1,599.10	893.70	562.00	184.90	103.50	73.80	79.90	332.40	552.40	262.20	4,954.60
1985-86	140.80	57.60	49.00	46.30	72.30	34.80	1.60	24.20	19.90	1,008.30	1,039.90	833.60	3,328.30
1986-87	172.80	87.30	320.80	75.00	59.60	75.30	48.40	26.30	31.20	55.40	480.20	71.10	1,503.40
1987-88	22.70	32.10	66.70	42.10	39.60	28.70	29.00	28.30	4.30	524.50	1,588.80	493.00	2,899.80
1988-89	95.60	36.80	50.50	65.10	128.80	45.30	15.20	25.50	24.70	155.30	703.00	580.80	1,926.60
1989-90	52.30	30.80	45.70	61.20	100.80	53.30	15.70	0.20	22.10	1,060.10	1,385.60	581.90	3,409.70
1990-91	352.80	87.30	536.90	376.60	164.90	339.90	60.30	29.00	36.30	468.20	1,314.50	1,195.90	4,962.60
1991-92	103.60	61.90	362.00	745.00	346.60	213.60	111.60	61.20	53.60	188.90	719.30	186.20	3,153.50

1992-93	43.60	47.00	86.00	848.00	535.50	308.40	79.10	67.70	44.60	406.50	517.00	427.50	3,410.90
1993-94	120.10	143.50	156.60	82.70	56.00	14.20	31.90	30.20	71.50	273.00	285.90	300.70	1,566.30
1994-95	53.40	200.00	509.20	136.70	558.30	90.60	48.60	24.80	12.70	165.30	224.50	287.00	2,311.10
1995-96	30.90	48.90	27.30	27.70	32.90	13.90	28.90	11.70	12.10	402.50	573.80	735.90	1,946.50
1996-97	29.70	22.40	29.70	30.50	15.60	34.60	19.90	36.40	39.40	152.80	622.90	300.50	1,334.40
1997-98	86.30	56.30	354.70	141.80	134.30	111.50	42.90	6.70	34.30	253.50	491.00	116.60	1,829.90
1998-99	57.20	21.50	26.50	24.50	25.20	14.90	5.10	6.70	8.30	649.70	630.30	306.50	1,776.40
1999-00	33.00	16.30	28.10	30.10	29.10	20.80	13.80	8.00	78.20	398.90	274.00	98.00	1,028.30
2000-01	295.80	216.70	32.20	46.60	146.30	29.90	25.40	15.20	26.20	441.00	623.50	110.70	2,009.50
2001-02	53.10	19.80	32.00	29.20	56.40	24.50	12.00	8.90	4.70	110.20	480.40	98.70	929.90
2002-03	21.50	6.90	43.40	38.70	93.50	40.10	21.00	10.50	6.10	85.50	192.70	111.60	671.50
2003-04	40.40	10.92	10.74	20.99	22.94	42.70	25.25	9.22	4.01	353.19	293.55	69.51	903.41

**El Novillo: Evaporación mensual, mm.**

Ciclo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1964-65	141.49	158.42	204.56	269.06	365.93	336.63	313.49	180.85	156.74	186.93	142.39	110.73
1965-66	125.67	125.68	187.04	289.60	367.88	383.76	248.18	183.65	170.80	240.50	163.89	83.06
1966-67	99.32	96.00	208.31	240.43	359.06	347.05	222.11	135.06	166.01	191.74	143.27	124.80
1967-68	140.89	155.66	235.19	256.85	338.70	289.82	198.02	191.32	175.64	191.41	127.29	68.81
1968-69	70.21	69.97	100.36	203.15	311.17	332.64	168.82	174.44	179.87	200.04	123.60	112.11
1969-70	102.62	107.83	193.27	286.63	331.22	368.93	218.46	203.51	201.45	198.59	137.40	84.11
1970-71	105.39	144.21	186.68	269.83	369.28	371.13	238.95	209.46	191.90	217.69	173.76	133.46
1971-72	152.37	154.77	264.03	289.97	359.48	350.63	241.04	190.60	207.33	158.62	116.83	77.20
1972-73	111.40	173.30	250.75	309.84	335.25	294.39	275.20	193.77	181.45	153.26	109.70	102.24
1973-74	98.01	92.31	146.61	246.81	326.27	360.45	270.46	194.28	230.91	245.28	170.94	143.50
1974-75	111.25	175.80	218.97	301.86	348.03	375.11	209.70	175.90	174.38	185.10	118.80	84.54
1975-76	100.78	126.52	203.75	259.15	340.95	386.37	196.25	194.25	167.90	212.25	164.63	111.69
1976-77	128.36	135.25	218.15	260.60	332.55	355.30	227.78	246.98	134.10	160.97	137.69	107.48
1977-78	82.40	147.32	200.75	253.90	340.59	367.27	227.86	205.17	184.90	155.16	141.14	120.68
1978-79	108.78	123.83	181.28	246.69	322.16	350.45	273.77	194.72	172.33	160.11	102.25	99.73
1979-80	70.54	103.36	156.73	253.07	313.37	347.94	290.50	175.09	170.07	211.78	159.14	134.16

1980-81	108.04	141.85	191.90	260.32	285.61	355.34	248.26	175.09	160.53	125.46	159.63	127.97
1981-82	72.20	128.40	154.82	248.73	305.30	315.25	176.97	173.45	135.23	130.89	129.49	119.87
1982-83	122.41	143.97	218.88	294.46	334.68	377.88	219.47	214.45	196.18	210.90	122.31	67.20
1983-84	90.88	82.57	123.06	181.32	309.17	359.49	264.60	173.31	141.36	104.93	76.61	79.36
1984-85	86.23	140.18	192.02	258.40	326.36	311.76	186.07	139.90	151.39	113.32	116.66	65.33
1985-86	75.46	96.91	162.40	235.29	305.80	339.04	233.62	155.16	142.63	107.18	87.61	86.38
1986-87	129.50	101.94	184.59	250.31	289.77	288.30	162.32	155.40	183.09	121.16	97.46	78.28
1987-88	102.64	123.77	179.09	235.06	289.16	351.66	320.54	176.43	183.79	189.33	131.78	99.04
1988-89	115.61	147.97	197.39	244.29	336.45	348.92	193.22	157.05	181.27	137.32	128.10	98.61
1989-90	95.79	120.39	197.80	293.63	331.96	368.93	263.00	168.78	177.52	172.33	112.41	94.59
1990-91	103.15	102.42	185.42	272.63	339.65	355.21	181.63	160.68	134.89	135.80	97.00	84.41
1991-92	70.71	89.98	136.95	230.29	296.13	326.70	200.73	149.90	180.89	131.44	114.50	74.35
1992-93	63.06	85.15	115.30	194.40	261.45	326.94	252.95	161.60	182.55	159.00	118.30	59.42
1993-94	45.63	58.10	125.99	223.60	290.40	338.67	239.87	178.70	141.25	128.65	78.20	80.47
1994-95	95.95	108.00	180.45	251.85	305.01	351.75	254.50	195.50	146.70	133.39	95.90	47.97
1995-96	68.53	76.65	169.85	193.11	260.65	301.29	253.50	199.85	169.66	167.68	102.38	76.45
1996-97	107.11	111.10	183.69	240.80	311.77	293.33	215.29	185.04	134.20	133.60	106.50	97.10
1997-98	86.00	111.10	202.10	200.50	277.00	312.80	275.40	210.40	180.60	173.10	104.60	76.90
1998-99	87.20	81.60	113.50	254.20	338.40	330.00	201.90	269.30	180.60	191.00	130.50	119.30
1999-00	135.70	160.00	230.70	285.90	358.50	346.30	212.60	198.90	203.30	242.50	168.70	133.00
2000-01	147.80	183.70	219.50	308.40	376.50	307.20	251.60	211.20	202.70	128.90	98.60	111.40
2001-02	97.90	117.50	211.90	278.30	354.00	299.70	211.50	215.30	226.00	161.19	126.71	111.99
2002-03	115.53	140.22	216.00	281.51	365.44	380.88	272.68	233.75	206.28	183.98	170.60	99.82
2003-04	148.16	112.89	185.94	247.07	339.67	366.47	288.76	187.96	164.05	178.97	143.98	135.46

**El Novillo: Precipitación mensual, mm.**

<b>Ciclo</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>
1964-65	22.50	0.00	11.50	9.00	29.50	8.00	0.00	0.00	1.00	143.00	165.50	96.00
1965-66	0.00	4.00	129.90	13.20	50.60	0.00	1.00	0.00	63.40	114.80	227.70	38.40
1966-67	0.00	0.60	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	89.20	135.50	147.00	51.50
1967-68	5.40	74.40	197.80	51.60	65.50	90.80	33.90	0.00	21.20	160.60	180.10	11.50

1968-69	17.50	12.30	12.50	20.00	32.70	1.00	0.00	1.00	0.00	93.50	55.40	33.10
1969-70	26.30	24.10	65.60	2.50	2.20	20.00	0.00	0.00	53.40	143.70	84.20	35.90
1970-71	0.00	0.00	0.00	0.00	21.90	0.00	0.00	0.00	8.30	163.30	175.70	12.70
1971-72	96.90	5.00	18.90	12.60	0.00	2.00	0.00	26.20	61.20	89.70	137.10	76.30
1972-73	79.80	4.50	31.50	43.20	98.50	27.20	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50	1.20
1973-74	0.00	0.10	0.00	42.50	0.00	1.20	0.00	0.00	49.70	120.50	143.90	55.30
1974-75	15.90	141.20	9.70	26.20	0.00	10.90	0.00	0.00	0.00	190.40	133.90	78.30
1975-76	0.50	2.50	21.40	8.50	47.40	0.00	2.90	2.70	68.30	82.80	130.50	28.10
1976-77	30.30	36.20	11.40	49.10	0.00	4.00	0.50	0.00	20.20	155.40	93.00	32.80
1977-78	32.60	3.80	0.00	17.50	51.40	73.40	0.00	0.00	22.50	105.70	85.70	79.00
1978-79	46.10	40.30	117.90	109.10	6.30	8.40	0.00	5.00	12.80	117.20	91.70	68.60
1979-80	0.00	0.20	2.30	5.20	38.50	0.00	1.50	0.00	11.00	158.40	257.60	9.30
1980-81	12.10	0.00	1.60	93.50	7.50	41.60	36.50	5.00	55.00	194.40	136.00	112.80
1981-82	18.20	16.60	0.00	9.40	0.20	0.00	0.00	0.10	0.00	183.60	26.10	38.10
1982-83	0.00	112.60	98.60	32.20	40.80	81.30	21.70	13.30	0.00	126.30	157.50	163.80
1983-84	113.30	20.00	33.50	7.60	18.00	0.00	15.80	9.70	79.00	238.90	215.40	68.90
1984-85	51.50	21.80	167.20	43.30	16.50	8.60	34.50	0.00	35.80	234.00	82.50	97.80
1985-86	80.50	45.80	4.00	8.70	66.90	5.50	21.50	8.30	82.50	311.10	134.50	70.50
1986-87	16.90	20.40	65.60	3.00	25.80	1.00	9.70	18.30	14.20	128.80	134.40	26.40
1987-88	0.00	14.20	25.20	25.20	2.30	13.50	4.70	0.00	0.00	308.40	94.70	40.90
1988-89	49.20	0.00	84.00	41.00	42.70	7.30	0.00	10.60	14.50	119.00	253.80	23.40
1989-90	11.10	37.00	74.30	23.90	26.80	12.00	0.00	4.30	33.80	379.10	261.00	154.20
1990-91	31.00	27.60	79.20	19.00	67.50	6.00	0.00	0.00	0.50	168.50	254.90	62.70
1991-92	1.00	19.00	127.50	76.10	68.00	62.50	2.00	0.00	0.00	53.50	136.50	18.50
1992-93	18.50	0.00	87.50	118.50	74.30	0.00	0.00	1.00	132.50	67.50	96.70	102.50
1993-94	59.00	48.50	33.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	19.00	180.00	102.50	55.50
1994-95	36.00	74.50	141.50	11.50	94.00	0.00	0.00	0.00	0.00	115.20	174.00	88.00
1995-96	12.00	30.50	5.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	56.00	317.50	223.20	137.30
1996-97	28.50	9.50	0.00	0.00	28.00	10.70	17.00	13.00	29.70	62.90	89.50	77.65
1997-98	24.50	64.80	70.50	0.00	63.30	17.00	0.00	0.00	74.00	143.05	111.30	77.65
1998-99	24.75	47.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.10	145.50	171.50	83.50

1999-00	0.00	0.00	6.50	0.00	0.00	27.00	0.00	0.00	137.30	109.80	151.90	109.30
2000-01	82.20	12.70	0.00	30.80	14.10	0.00	2.00	0.00	81.50	128.60	68.90	59.40
2001-02	6.49	0.00	5.80	1.90	53.70	0.00	0.00	0.00	0.00	106.40	144.00	62.90
2002-03	4.70	0.00	55.60	2.00	31.28	9.50	0.00	0.00	21.20	200.40	109.40	128.90
2003-04	27.50	0.00	0.00	36.80	0.00	28.80	41.00	0.00	3.40	274.70	62.50	82.50



**Oviáchic: Esgurrimientu mensural, hm<sup>3</sup>.**

<b>Ciclo</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>Total</b>
1964-65	45.50	28.30	31.80	31.20	48.30	30.20	54.60	7.50	3.50	25.10	119.00	68.90	493.90
1965-66	15.30	14.50	42.90	9.80	28.60	37.00	7.60	26.70	25.10	81.70	200.10	72.00	561.30
1966-67	0.10	22.40	33.90	23.30	12.30	27.80	23.20	24.80	20.30	108.10	78.10	47.20	421.50
1967-68	20.30	41.80	112.00	92.20	137.20	171.40	35.70	50.40	56.90	120.60	136.80	36.50	1011.80
1968-69	21.30	32.10	125.80	37.90	46.30	46.50	34.10	50.20	55.80	161.40	117.40	55.70	784.50
1969-70	15.50	31.80	41.60	45.20	52.20	44.40	30.60	39.40	42.20	119.50	128.20	111.50	702.10
1970-71	5.70	26.60	37.10	18.70	39.30	49.70	25.40	34.10	31.20	82.30	158.10	63.10	571.30
1971-72	72.40	27.20	38.30	32.60	46.70	48.60	34.70	39.00	41.70	85.50	150.10	70.60	687.40
1972-73	37.10	34.80	48.40	48.80	54.80	58.00	45.20	60.80	64.60	101.00	159.80	59.40	772.70
1973-74	19.80	35.70	42.90	38.90	48.30	60.50	41.30	39.00	51.30	119.30	114.70	71.50	683.20
1974-75	27.40	44.10	38.40	37.20	45.60	49.50	31.70	26.60	27.30	107.80	145.80	147.50	728.90
1975-76	8.30	46.40	64.40	57.00	52.20	51.30	35.60	13.10	34.70	65.40	56.30	35.60	520.30
1976-77	23.90	27.90	43.20	42.10	47.10	34.10	30.00	17.20	32.40	70.70	98.10	49.90	516.60
1977-78	10.80	8.20	39.90	42.10	39.40	30.70	38.70	21.50	41.50	49.70	57.30	54.00	433.80
1978-79	36.60	10.40	24.00	100.00	52.60	55.00	40.80	39.50	66.60	141.80	146.10	86.50	799.90
1979-80	34.20	32.10	45.90	38.30	46.70	49.90	35.10	17.00	65.00	120.70	409.30	51.30	945.50
1980-81	15.00	21.40	58.50	87.70	51.50	53.90	34.30	32.30	72.70	120.70	92.40	104.30	744.70
1981-82	45.20	41.20	26.60	37.60	44.90	73.30	33.80	12.40	31.70	75.30	80.30	99.30	601.60
1982-83	11.90	21.20	58.30	40.30	61.50	99.60	57.40	53.30	57.90	94.10	196.30	158.40	910.20
1983-84	44.00	64.80	32.90	40.30	48.70	66.10	58.40	50.30	71.70	126.40	214.90	80.70	899.20
1984-85	16.00	28.30	15.20	166.60	0.50	120.40	64.50	73.10	84.50	141.40	179.60	139.50	1029.60
1985-86	32.40	68.10	44.60	75.50	75.50	95.20	91.90	57.20	53.50	180.10	86.50	49.10	909.60
1986-87	32.80	64.00	35.10	54.00	58.20	66.10	51.50	59.60	52.80	107.00	114.30	59.60	755.00
1987-88	24.20	47.60	32.70	41.80	38.90	35.80	59.80	27.50	47.80	167.80	131.40	75.60	730.90
1988-89	33.60	34.70	32.80	33.60	33.70	31.00	35.90	31.10	38.60	82.50	127.10	44.40	559.00
1989-90	36.60	49.50	27.00	13.40	18.50	70.80	65.10	38.80	42.00	273.80	414.80	135.60	1185.90
1990-91	58.60	55.70	52.20	37.30	65.30	70.60	49.50	45.20	47.10	79.10	98.30	95.50	754.40
1991-92	43.50	67.10	95.40	80.50	101.00	115.30	50.20	53.00	43.20	89.40	142.80	74.60	956.00

1992-93	46.40	52.10	39.80	49.60	30.00	79.10	34.50	56.40	50.10	119.30	112.20	68.60	738.10
1993-94	24.70	48.80	45.30	46.40	59.90	68.40	25.50	37.90	40.50	104.30	175.50	110.20	787.40
1994-95	14.90	47.50	101.00	23.30	69.30	63.00	53.50	31.20	38.60	80.70	120.70	113.70	757.40
1995-96	26.50	42.90	30.40	29.10	39.50	41.40	20.40	22.60	23.50	103.70	118.60	144.00	642.60
1996-97	46.70	26.50	46.70	27.20	34.50	32.70	34.40	26.10	2.90	54.10	99.80	33.40	465.00
1997-98	17.10	6.70	59.00	0.01	67.80	27.10	47.50	3.80	36.20	63.30	85.00	44.00	457.51
1998-99	16.20	32.90	27.60	6.10	49.10	35.80	34.50	18.90	8.00	93.40	80.20	23.70	426.40
1999-00	14.10	48.40	89.40	44.50	41.00	48.50	26.30	0.01	8.70	34.20	51.10	34.80	441.01
2000-01	131.40	12.80	40.20	41.40	44.30	52.60	24.80	2.56	0.01	38.50	62.60	83.00	534.17
2001-02	130.00	27.40	36.50	27.70	25.90	42.90	28.80	4.60	5.20	37.40	236.40	31.50	634.30
2002-03	0.01	31.00	48.20	34.40	19.50	34.10	1.00	4.90	0.90	26.20	74.70	52.10	327.01
2003-04	0.00	0.00	0.00	9.30	3.83	0.18	16.62	0.23	0.00	83.16	49.16	144.85	307.33

**Oviáctic: Evaporación mensual, mm.**

Ciclo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1964-65	107.30	138.95	179.15	224.50	306.85	323.70	298.70	214.35	193.04	178.60	131.72	83.95
1965-66	115.25	128.11	174.30	228.10	336.73	353.55	318.32	260.83	218.82	198.83	139.44	90.85
1966-67	99.59	96.98	189.81	227.96	296.51	328.75	264.97	168.72	179.94	156.28	138.85	107.04
1967-68	121.67	130.20	214.27	248.99	331.37	314.77	252.33	229.89	186.50	180.67	123.85	86.78
1968-69	85.81	84.74	143.86	211.82	294.01	290.40	227.23	173.82	163.43	136.61	112.63	101.97
1969-70	94.33	99.31	188.82	251.44	313.83	302.69	208.79	216.26	195.11	186.42	133.58	81.15
1970-71	109.48	123.41	175.49	231.52	321.19	334.40	256.12	201.64	165.67	156.00	123.27	91.05
1971-72	123.84	137.77	226.25	237.45	279.63	314.93	269.53	197.60	188.70	153.02	99.24	84.18
1972-73	99.88	136.77	201.36	265.20	282.44	312.55	277.00	206.44	171.71	162.58	99.42	96.18
1973-74	86.86	90.36	148.59	228.39	281.64	335.56	293.84	215.71	218.71	203.59	146.87	116.18
1974-75	94.00	148.99	183.58	245.49	289.13	317.42	248.88	208.72	174.80	170.25	102.70	85.45
1975-76	102.25	124.30	188.00	227.90	306.25	338.95	218.60	237.93	199.10	203.60	148.60	102.90
1976-77	138.55	141.00	202.20	224.95	297.55	329.40	248.95	255.55	162.00	147.40	121.50	100.35
1977-78	88.30	142.40	164.10	224.70	277.40	320.20	257.00	221.15	203.45	156.55	120.85	113.30
1978-79	92.85	114.60	175.65	232.35	280.10	315.95	283.55	218.00	225.05	221.25	140.95	113.15

1979-80	121.30	142.30	218.30	303.85	331.50	403.70	377.10	294.10	277.75	288.45	230.80	191.20
1980-81	186.60	239.10	275.50	392.35	428.40	451.20	407.05	294.10	187.75	199.70	167.81	133.65
1981-82	89.05	134.65	188.30	284.60	307.45	309.60	281.45	261.40	209.10	179.85	161.00	145.60
1982-83	126.15	150.00	217.20	300.80	322.95	358.80	283.95	225.65	209.20	218.05	129.75	108.50
1983-84	102.90	113.65	172.80	233.30	349.85	337.31	328.80	257.50	191.30	152.90	117.75	125.40
1984-85	106.50	151.95	229.20	277.60	356.65	329.18	241.88	215.05	243.05	190.05	144.40	127.95
1985-86	94.60	111.29	118.15	263.00	331.25	349.90	295.40	232.85	233.80	181.20	130.75	120.10
1986-87	166.55	144.25	234.85	302.25	311.65	319.60	248.95	219.55	198.80	158.15	159.05	104.15
1987-88	120.61	132.90	207.90	272.45	294.88	359.83	363.55	242.80	250.90	221.45	164.55	121.75
1988-89	145.15	155.00	232.00	245.80	312.65	376.45	250.01	255.00	235.00	202.40	163.50	128.70
1989-90	112.10	131.65	200.45	290.15	327.70	345.36	318.95	197.55	230.20	204.65	141.35	115.35
1990-91	123.50	134.70	229.05	298.95	340.40	380.25	213.09	213.75	205.80	169.35	136.95	111.83
1991-92	93.10	128.80	193.50	284.40	316.90	353.00	276.80	240.20	182.10	240.50	144.90	91.90
1992-93	91.75	102.45	159.05	256.60	321.20	355.45	298.50	216.05	240.80	201.30	143.05	110.65
1993-94	94.85	96.65	204.45	271.80	316.10	342.50	280.20	263.70	190.25	193.45	109.20	119.60
1994-95	122.40	125.50	206.10	293.30	314.75	333.50	294.90	215.03	195.95	183.46	113.80	79.10
1995-96	93.65	108.90	192.30	264.45	287.20	348.75	318.40	243.46	193.80	205.35	131.00	118.60
1996-97	136.40	160.51	239.20	306.30	351.25	383.85	292.60	232.60	228.88	225.67	159.25	154.90
1997-98	123.10	147.40	236.20	256.65	353.10	338.58	340.73	248.91	230.65	191.98	132.30	121.70
1998-99	107.60	113.50	193.50	275.30	323.55	365.46	248.00	284.90	230.65	219.20	161.15	112.50
1999-00	138.87	149.45	207.90	293.95	364.00	357.81	249.25	261.50	213.22	239.85	186.71	137.66
2000-01	128.79	176.30	197.80	303.35	363.00	341.75	333.45	239.15	244.54	166.41	127.20	136.75
2001-02	116.25	150.60	216.80	268.30	369.74	371.70	284.15	281.26	256.30	184.25	145.85	132.35
2002-03	131.71	149.65	215.40	262.85	339.05	360.70	299.72	271.60	222.45	186.45	160.83	115.20
2003-04	154.45	118.05	207.60	255.15	339.90	356.00	314.35	281.05	220.95	182.60	156.25	128.50

**Oviáchic: Precipitación mensual, mm.**

Ciclo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
1964-65	0.00	1.20	20.60	0.00	0.00	14.80	68.30	42.50	21.60	51.70	0.10	11.50
1965-66	0.50	33.20	0.30	0.60	0.00	1.00	52.00	167.80	4.40	0.20	13.00	82.30

1966-67	2.00	41.40	0.60	0.00	0.00	10.00	82.40	251.80	84.00	0.50	0.00	23.90
1967-68	0.00	0.50	0.00	0.50	0.20	21.60	155.90	141.10	58.70	11.80	70.50	84.90
1968-69	71.00	65.60	32.00	8.50	0.00	0.00	130.30	142.60	34.10	103.20	22.20	0.50
1969-70	28.50	26.00	0.00	0.00	0.00	0.10	235.30	66.30	38.30	0.50	26.30	55.70
1970-71	0.50	0.20	22.20	0.20	0.00	14.90	86.50	115.40	140.60	0.00	0.00	9.00
1971-72	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	7.20	53.10	115.20	63.50	52.80	2.50	10.50
1972-73	7.00	0.00	3.80	0.00	11.30	0.10	64.30	214.80	40.80	108.00	0.60	49.30
1973-74	22.70	66.60	19.70	0.50	0.60	0.00	78.70	38.70	17.10	0.00	0.00	0.00
1974-75	12.20	0.00	0.30	0.00	0.00	13.60	142.20	101.50	35.10	24.10	49.50	7.50
1975-76	7.70	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	105.20	132.00	35.40	0.00	8.20	5.20
1976-77	0.80	5.20	0.00	0.00	0.20	31.80	144.20	165.00	91.20	43.10	25.00	6.80
1977-78	23.30	0.00	2.00	0.10	0.00	4.00	156.00	94.50	8.00	3.50	1.60	0.00
1978-79	0.30	17.50	22.80	0.00	0.10	23.00	81.30	88.20	81.50	134.00	6.00	38.70
1979-80	109.00	0.00	5.70	0.00	1.70	5.00	84.00	92.10	35.70	0.00	0.00	6.40
1980-81	2.30	1.00	0.00	0.30	0.10	3.30	118.30	92.10	49.80	51.90	9.00	0.80
1981-82	154.00	1.70	13.50	21.50	1.50	18.50	150.80	33.30	118.50	35.40	0.00	0.00
1982-83	11.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.80	99.10	147.30	0.00	59.90	94.80
1983-84	35.50	28.50	37.50	5.70	0.00	0.00	64.00	284.80	95.30	49.30	10.00	8.00
1984-85	42.00	8.00	0.00	0.30	1.00	39.50	113.30	152.30	19.50	11.00	9.00	98.50
1985-86	57.40	3.00	2.90	5.50	0.00	0.00	66.00	28.00	126.50	6.00	35.00	0.00
1986-87	1.50	4.50	4.50	7.50	0.00	10.00	62.00	84.50	193.50	27.00	11.00	44.50
1987-88	0.00	10.50	0.00	4.50	0.00	3.00	36.00	111.50	5.50	0.00	0.00	6.50
1988-89	2.50	1.00	4.50	0.50	0.00	0.00	128.00	129.50	30.00	1.50	0.00	56.50
1989-90	15.50	54.50	1.00	0.00	0.00	0.00	57.50	93.50	28.50	1.00	0.00	47.50
1990-91	9.00	15.00	7.50	0.00	0.00	0.00	185.00	301.00	98.00	18.50	29.50	69.00
1991-92	11.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.50	112.50	80.00	0.00	27.00	55.00
1992-93	97.00	54.50	19.50	0.00	0.00	0.00	41.00	101.50	73.50	18.50	4.00	49.00
1993-94	40.50	67.50	0.00	0.00	93.00	0.00	30.50	36.50	58.50	15.50	41.50	6.00
1994-95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.50	59.50	130.50	85.80	12.50	70.50	76.00
1995-96	7.00	14.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.60	200.70	93.80	0.00	12.00	8.00
1996-97	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.00	208.90	190.70	47.50	7.70	23.80	0.00

1997-98	6.10	0.00	3.00	9.00	22.00	20.50	78.00	218.40	39.30	15.00	37.80	47.00
1998-99	0.00	32.00	1.00	0.00	0.00	21.50	213.50	127.20	71.50	1.00	0.00	2.00
1999-00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	25.50	154.80	167.00	18.50	22.00	0.00	0.00
2000-01	0.00	0.50	5.50	0.00	0.00	0.50	93.00	72.00	4.50	104.00	0.00	1.00
2001-02	0.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.70	94.30	152.00	0.00	0.00	73.50
2002-03	0.00	15.40	0.00	0.00	0.00	0.00	130.00	120.10	73.50	0.50	0.00	55.60
2003-04	0.00	33.00	0.00	7.00	0.00	21.20	36.70	121.90	124.50	4.00	1.00	0.00

**ANEXO 2**  
**HIDRO-GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL NOVILLO (Gwh)**  
**1964-65 A 2003-04**

<b>Año</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>
1964	26.056	37.591	37.794	37.616	41.162	46.010	19.673	3.919	12.881	29.446	41.010	23.478
1965	22.038	14.916	17.419	18.909	27.358	34.121	38.103	43.549	33.899	49.785	41.650	53.401
1966	30.076	33.965	21.849	32.439	26.470	39.536	41.293	28.470	42.962	61.332	65.263	58.773
1967	52.301	52.894	29.563	26.738	28.277	43.142	41.872	29.209	46.261	56.650	57.386	52.356
1968	7.666	48.668	30.639	35.987	40.006	53.387	48.560	41.029	49.244	60.022	59.703	41.299
1969	45.092	40.488	23.305	35.764	37.875	45.094	41.802	27.314	36.918	45.350	41.663	36.124
1970	29.788	26.237	22.475	23.490	24.175	30.086	33.671	22.546	21.985	37.852	39.603	39.247
1971	12.111	26.892	24.093	26.702	28.126	43.212	33.497	29.566	44.247	52.170	50.554	33.640
1972	33.389	44.310	31.000	29.667	37.407	65.132	62.936	63.778	62.522	65.443	65.093	57.607
1973	50.177	46.956	44.154	30.507	33.692	55.169	53.779	42.115	41.364	44.481	49.618	39.844
1974	37.407	34.865	31.476	26.412	26.196	41.629	0.030	28.885	27.150	32.490	50.443	44.031
1975	22.751	15.197	60.890	53.149	45.042	51.927	30.216	10.315	25.662	29.131	32.542	24.867
1976	27.597	24.002	25.396	27.454	45.233	22.857	25.662	16.907	28.675	43.150	53.740	46.426
1977	19.169	18.932	33.899	37.105	27.288	25.445	40.145	29.007	36.435	24.088	28.105	29.084
1978	15.145	26.513	20.673	49.246	82.736	68.019	40.729	55.051	75.010	81.231	63.161	53.145
1979	41.595	34.220	26.466	22.447	12.512	35.154	30.410	9.029	61.811	40.349	23.957	14.306
1980	9.499	17.135	58.818	15.677	25.528	20.574	35.348	36.206	71.006	35.567	69.310	76.969
1981	71.348	55.006	26.418	33.430	36.280	54.490	21.040	16.270	38.800	44.130	40.700	40.230
1982	24.650	27.060	18.150	24.580	18.170	66.050	84.240	86.640	84.590	70.260	52.460	60.870
1983	65.810	89.430	93.290	53.899	32.609	53.931	42.180	42.818	48.693	45.481	63.124	91.276
1984	65.344	35.500	64.122	98.220	92.610	88.790	60.550	86.760	61.090	71.190	90.880	50.440
1985	27.650	24.090	8.990	37.150	32.210	73.380	37.820	34.140	28.250	47.220	84.320	80.710
1986	88.600	48.750	58.750	33.384	56.238	53.137	46.747	53.548	47.838	59.402	33.367	47.384
1987	45.118	18.247	23.546	36.582	22.687	36.949	45.616	38.191	49.580	30.636	60.613	101.070
1988	70.462	27.608	19.096	33.110	36.834	35.160	34.107	45.686	56.678	53.681	50.391	48.475
1989	71.182	62.217	24.707	15.456	39.980	84.801	55.397	37.452	53.408	34.452	69.188	93.693
1990	99.405	76.074	66.052	91.479	49.853	91.358	67.505	75.706	59.791	48.280	92.323	97.137
1991	67.948	49.709	56.968	98.493	93.658	99.451	78.499	66.883	63.564	58.317	62.178	59.749
1992	41.019	30.730	32.497	67.410	91.022	100.763	57.658	62.277	51.628	69.287	73.682	72.632
1993	74.488	48.209	45.171	52.241	52.993	60.873	32.339	27.457	58.373	74.629	63.570	45.509
1994	10.701	6.654	30.079	35.221	53.041	71.308	51.708	40.702	43.418	57.328	55.082	52.676
1995	44.830	28.944	35.378	32.925	13.936	16.573	16.850	13.344	35.066	42.278	34.487	45.355
1996	55.704	47.010	34.994	52.563	46.041	31.916	35.810	22.672	19.030	27.793	34.491	38.830
1997	23.714	21.968	32.556	14.718	62.993	36.846	23.681	13.427	49.255	51.453	47.174	39.985
1998	38.238	40.516	20.831	13.479	49.358	27.859	18.090	7.680	5.228	4.245	6.762	11.020
1999	19.186	77.065	79.532	50.717	49.361	26.837	3.409	0.586	1.946	17.159	31.383	38.640
2000	11.418	5.422	44.978	33.958	44.684	29.381	13.510	0.551	4.213	14.157	35.638	33.937
2001	25.699	32.202	45.280	24.736	36.139	30.385	12.369	2.041	6.916	6.887	14.299	5.217
2002	14.903	42.188	26.603	19.197	15.725	14.235	0.717	0.709	1.142	1.081	1.462	0.237
2003	1.276	0.730	1.415	4.796	5.509	12.616	2.008	0.715	1.123	1.050	17.910	9.086

**APÉNDICE A**  
**Modelo matemático para el sistema de presas del Yaqui.**



Objetivo 1: Maximizar la extracción anual para uso agrícola, minimizando los derrames en la Angostura y El Novillo:

$$MAX \quad Z_1 = \sum_{t=1}^{NA} R_{3,t} - \sum_{k=1}^2 \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} D_{k,t,j} \quad (A.1)$$

donde

$R_{3,t}$  = extracción en el Oviáchic durante el año  $t$ ,  $hm^3$

$D_{k,j,t}$  = derrame de la presa  $k$ , durante el mes  $j$  del año  $t$ ,  $hm^3$

$t$  = tiempo, años

$j$  = mes

$k$  = identificador de cada presa: Angostura,  $k = 1$ ; Novillo,  $k = 2$ ; y Oviáchic,  $k=3$ )

$NA$  = número de años del horizonte de planeación

(el motivo por el cual se incluye la minimización del derrame en la Angostura y en El Novillo en el objetivo, es debido a que la optimización produce un derrame inexplicable físicamente cuando se maximiza solamente la extracción anual en el Oviáchic, lo cual es causado tanto a la complejidad del modelo, así como por el comportamiento propio del modelo de optimización. Sin embargo, este contratiempo se supera aplicando simulación con los resultados arrojados por la optimización, con lo que se logra una modelación más apropiada del fenómeno).

Objetivo 2: Maximizar la hidro-generación de energía en El Novillo:

$$MAX \quad Z_2 = \sum_{t=1}^{NA} \sum_{j=1}^{12} (eP_j * MWH_{2,t}) \quad (A.2)$$

donde

$MWH_{2,t}$  = energía producida en El Novillo durante el año  $t$ , Mwh  
 $eP_j$  = porcentaje de hidrogenación mensual en El Novillo.

SUJETO A

Restricciones de continuidad.

Se recurrió básicamente a los planteamientos de Loucks et al. (1981).

También se incluyen en el modelo los porcentajes de extracción mensual de cada presa, Wagner et al. (1996). En cuanto a dichos porcentajes, en la Angostura y El Novillo son variables de decisión (VD, incógnitas) y en el Oviáchic, son datos acordes con la temporalidad requerida

para uso agrícola, vocación principal, según se muestra en la Tabla A.1:

Tabla A.1. Porcentaje mensual promedio histórico de la extracción anual para uso agrícola de la presa Oviáchic,  $qP_3$ , considerando un índice de repetición de 1 (sembrando una vez el área total del distrito en un ciclo agrícola), Palacios (1999).

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$qP_{3,j}$	6.28	13.80	8.17	10.75	13.11	17.12	8.53	6.36	6.31	3.62	4.00	1.95

Los volúmenes transferidos entre las presas, extracciones y derrames mensuales, sufren una pérdida de 10% entre ellas (dato C.N.A.)

Angostura:

$$(1 + a_{1,j,t})SP_{1,j+1,t} - (1 - a_{1,j,t})SP_{1,j,t} + qP_{1,j} \cdot R_{1,j} + D_{1,j,t} = Q_{1,j,t} - A_{01} \cdot en_{1,j,t} - SC_{1,j,t}, \quad (A.3)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 11$$

$$(1 + a_{1,j,t})SP_{1,1,t+1} - (1 - a_{1,j,t})SP_{1,j,t} + qP_{1,j} \cdot R_{1,j} + D_{1,j,t} = Q_{1,j,t} - A_{01} \cdot en_{1,j,t} - SC_{1,j,t}, \quad (A.4)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 12$$

El Novillo:

$$(1 + a_{2,j,t})SP_{2,j+1,t} - (1 - a_{2,j,t})SP_{2,j,t} + qP_{2,j} \cdot R_{2,j} + D_{2,j,t} - 0.9 \cdot (qP_{1,j} \cdot R_{1,j} + D_{1,j,t}) = Q_{2,j,t} - A_{02} \cdot en_{2,j,t} - SC_{2,j,t}, \quad (A.5)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 11$$

$$(1 + a_{2,j,t})SP_{2,1,t+1} - (1 - a_{2,j,t})SP_{2,j,t} + qP_{2,j} \cdot R_{2,j} + D_{2,j,t} - 0.9 \cdot (qP_{1,j} \cdot R_{1,j} + D_{1,j,t}) = Q_{2,j,t} - A_{02} \cdot en_{2,j,t} - SC_{2,j,t}, \quad (A.6)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 12$$

Oviáchic:

$$(1 + a_{3,j,t})SP_{3,j+1,t} - (1 - a_{3,j,t})SP_{3,j,t} + qP_{3,j} \cdot R_{3,j} + D_{3,j,t} - 0.9 \cdot (qP_{2,j} \cdot R_{2,j} + D_{2,j,t}) = Q_{3,j,t} - A_{03} \cdot en_{3,j,t} - SC_{3,j,t}, \quad (A.7)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 11$$

$$(1 + a_{3,j,t})SP_{3,1,t+1} - (1 - a_{3,j,t})SP_{3,j,t} + qP_{3,j} \cdot R_{3,j} + D_{3,j,t} - 0.9 \cdot (qP_{2,j} \cdot R_{2,j} + D_{2,j,t}) = Q_{3,j,t} - A_{03} \cdot en_{3,j,t} - SC_{3,j,t}, \quad (A.8)$$

$$t = 1, \dots, NA, j = 12$$

donde

$SP_{k,j,t}$	->	volumen almacenado en la presa $k$ , el mes $j$ y del año $t$ , $hm^3$ (VD)
$A_{0k}$	->	área correspondiente al volumen muerto en la presa $k$ , $hm^3$ (dato)
$R_{1,j,t}$	->	extracción de la Angostura, en el mes $j$ del año $t$ , $hm^3$ (VD)
$R_{2,j,t}$	->	extracción del Novillo, en el mes $j$ del año $t$ , $hm^3$ (VD)
$qP_{k,j}$	->	porcentaje mensual de la extracción anual en la presa $k$ , en el mes $j$ , % (dato). Para $k = 1, 2$ , $qP_{k,j}$ es VD y para $k = 3$ , $qP_{k,j}$ es dato
$Q_{k,j,t}$	->	escurrimiento de la presa $k$ , en el mes $j$ del año $t$ , $hm^3$ (dato)
$en_{k,j,t}$	->	evaporación neta de la presa $k$ , en el mes $j$ del año $t$ , $hm^3$ (dato)

$SC_{k,j,t}$  -> volumen comprometido de la presa  $k$  en el mes  $j$  y año  $t$ ,  $hm^3$  (dato)  
 $VD$  -> Variable de decisión.

Siendo

$$\sum_{j=1}^{12} qP_j = 1 \quad (A.9)$$

$$\begin{aligned}
 a_{1,j,t} &= 0.5 * Aa_1 * en_{1,j,t} \\
 a_{2,j,t} &= 0.5 * Aa_2 * en_{2,j,t} \\
 a_{3,j,t} &= 0.5 * Aa_3 * en_{3,j,t}
 \end{aligned}$$

donde

$Aa_k$  -> área de evaporación neta unitaria sobre el volumen muerto en la presa  $k$  (dato)

Por otro lado, en las Tablas A.2 y A.3 se muestra la distribución mensual de los volúmenes comprometidos en las presas Angostura y Oviáchic. La presa El Novillo tiene básicamente como único uso el de hidro-generación de energía eléctrica.

Tabla A.2. Volúmenes mensuales comprometidos de la presa Angostura, Palacios (1999).

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total:
<b>Pueblos riverenos</b>	5.00	4.80	4.50	4.50	4.80	5.00	5.00	5.20	5.20	5.50	5.50	5.00	60.00
<b>Mina La Caridad</b>	1.50	1.60	1.80	1.60	1.90	3.60	3.20	2.70	2.20	3.20	3.50	3.20	30.00
<b>Uso agrícola</b>	1.39	2.68	3.03	3.63	3.73	3.25	0.88	0.72	0.32	0.17	0.12	0.11	20.01
<b>Total:</b>	7.89	9.08	9.33	9.73	10.43	11.85	9.08	8.62	7.72	8.87	9.12	8.31	110.01

Tabla A.3. Volúmenes mensuales comprometidos de la presa Oviáchic, Palacios (1999).

	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Total:
<b>Uso urbano</b>	6.20	6.00	5.80	6.00	6.00	6.30	6.30	6.50	6.50	6.50	6.50	6.40	75.00
<b>D.R. 018</b>	18.22	35.30	39.78	47.79	49.06	42.75	11.53	9.51	4.18	2.23	1.54	1.43	263.30
<b>Total:</b>	24.42	41.30	45.58	53.79	55.06	49.05	17.83	16.01	10.68	8.73	8.04	7.83	338.30

Restricciones de estacionareidad.

Estas restricciones permiten, al ejecutar el modelo, iniciar y terminar con el mismo volumen almacenado, evitando terminar con presas vacías.

$$SP_{k,l,t} = SP_{k,l,NA+1} \quad k = 1,2,3 \quad (A.10)$$

Restricciones de capacidad de almacenamiento.

$$SP_{k,j,t} \# SP_{máx,k} \text{ (dato)}, \quad k = 1,2,3; j=1,\dots,12; t = 1,\dots, NA \quad (A.11)$$

$$SP_{k,j,t} \leq SP_{\min,k} \text{ (dato)}, \quad k = 1,2,3; j=1,\dots,12; t = 1,\dots, NA \quad (\text{A.12})$$

Angostura: Volumen mínimo = 22.8 hm<sup>3</sup>  
Volumen máximo = 863.9 hm<sup>3</sup>

Novillo: Volumen mínimo = 617 hm<sup>3</sup> (Capacidad mínima de hidro-generación)  
Volumen máximo = 3,026.57 hm<sup>3</sup>

Oviáchic: Volumen mínimo = 700 hm<sup>3</sup>,  
Volumen máximo = 2,989.17 hm<sup>3</sup>

Restricciones de descarga máxima mensual.

$$R_{1,j,t} + \text{CompAng}_j \leq R_{1,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t = 1,\dots, NA \quad (\text{A.13})$$

$$R_{2,j,t} \leq R_{2,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t = 1,\dots, NA \quad (\text{A.14})$$

$$R_{3,j,t} + \text{CompOvi}_j \leq R_{3,\max} \text{ (dato)} \quad j=1,\dots,12; t = 1,\dots, NA \quad (\text{A.15})$$

$$R_{1,\max} = 160 \text{ hm}^3 \text{ (Angostura)}$$

$$R_{2,\max} = 473 \text{ hm}^3 \text{ (Novillo)}$$

$$R_{3,\max} = 630 \text{ hm}^3 \text{ (Oviáchic)}$$

donde

$\text{CompAng}_j$  : volumen comprometido en la Angostura en el mes  $j$

$\text{CompOvi}_j$  : volumen comprometido en el Oviáchic en el mes  $j$

Restricción de descarga mínima anual en el Oviáchic.

$$R_{3,t} \leq R_{3,\min} \text{ (dato)}, \quad t = 1,\dots, NA \quad (\text{A.16})$$

Restricciones de las reglas de extracción.

$$R_{1,t} = a_0 + a_1 * SP_{1,1,t} \quad (\text{A.17})$$

$$R_{2,t} = b_0 + b_1 * SP_{2,1,t} + b_2 * R_{1,t} \quad (\text{A.18})$$

$$R_{3,t} = c_0 + c_1 * SP_{3,1,t} + c_2 * R_{2,t} \quad (\text{A.19})$$

donde  $a_0, a_1, b_0, b_1, b_2, c_0, c_1$  y  $c_2$  son parámetros de ajuste determinados por el modelo de optimización.

Restricciones de hidro-generación en El Novillo.

- Potencia = 135 Mw (3 unidades,  $U_1, U_2$  y  $U_3$ , de 45 Mw cada una)
- Nivel mínimo de hidro-generación para las unidades  $U_1$  y  $U_2 = 254.03$  m.s.n.m. (617.11

- $\text{hm}^3$ )
- Nivel mínimo de hidro-generación de la unidad  $U_3 = 239.5 \text{ m.s.n.m.}$  ( $220.62 \text{ hm}^3$ )
  - $Q_{U1} = Q_{U2} = Q_{U3} = 60 \text{ m}^3/\text{s} = 157.59 \text{ hm}^3/\text{mes}$
  - $Q_{\text{total}} = 472.78 \text{ hm}^3/\text{mes}$

En la Figura A.1 se observan los principales niveles a utilizar en el planteamiento de las ecuaciones básicas para la hidro-generación en El Novillo.

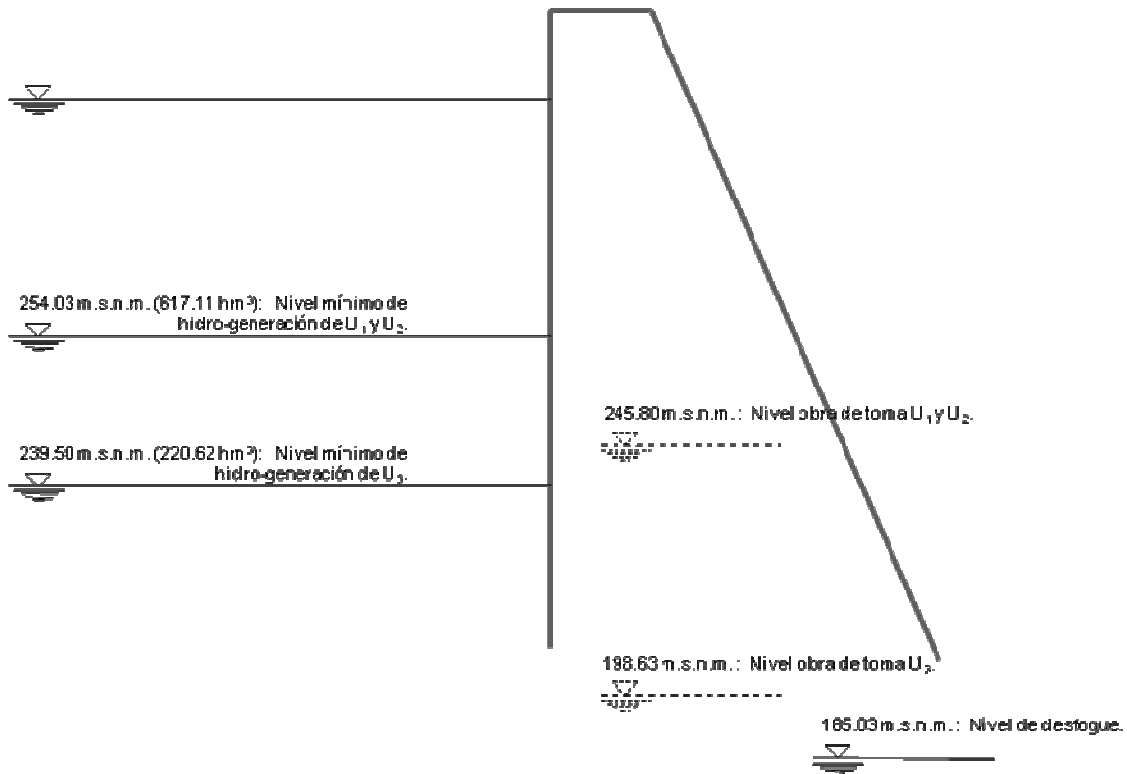


Figura A.1. Esquema de niveles usados para la hidro-generación en El Novillo.

La energía se determina por la siguiente ecuación, Mays y Tung (1992):

$$MWH_t = 2.725 q_t h_t O \quad [\text{Mwh}] \quad (\text{A.20})$$

donde

- $q_t =$  extracción,  $\text{hm}^3/\text{mes}$
- $h_t =$  carga neta, m
- $O =$  eficiencia de la planta

Entonces, usando la ecuación (A.20) la energía mensual en El Novillo se puede expresar como:

$$MWH_{2,j,t} = 2.725 \cdot R_{2,j,t} \left( \frac{h_{2,j,t} + h_{2,j+1,t}}{2} - 185.03 \right) \cdot \eta, \quad t=1,\dots,NA, \quad j=1,\dots,11, \quad (\text{A.21})$$

$$MWH_{2,j,t} = 2.725 \cdot R_{2,j,t} \left( \frac{h_{2,j,t} + h_{2,1,t+1}}{2} - 185.03 \right) \cdot \eta, \quad t=1,\dots,NA, \quad j=12, \quad (\text{A.22})$$

De las ecuaciones (A.21) y (A.22) se comentan básicamente dos conceptos:

- la energía producida mensualmente  $MWH_{2,j,t}$ , debería tener un comportamiento acorde con la demanda, por lo que considera un porcentaje mensual  $eP_j$ , acorde a dicho comportamiento de la energía anual  $MWH_{2,t}$ ;
- se considera que la energía mensual  $MWH_{2,j,t}$  está compuesta por una energía efectiva o apropiada según la temporalidad de la demanda (mencionada en el inciso anterior), más una energía residual o secundaria en exceso. Es decir,  $MWH_{2,j,t} = MWH_{e2,j,t} + MWH_{r2,j,t} = eP_{2,j} MWH_{2,t} + MWH_{r2,j,t}$

Por lo anterior, las ecuaciones (A.21) y (A.22) se pueden replantear de la manera siguiente:

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWH_{r2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,j+1,t} + 370.06 \right) \cdot \eta \quad (\text{A.23})$$

$t=1,\dots,NA, \quad j=1,\dots,11$

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWH_{r2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,1,t+1} + 370.06 \right) \cdot \eta \quad (\text{A.24})$$

$t=1,\dots,NA, \quad j=12$

donde  $eP_j$  representa los porcentajes mensuales, acordes al comportamiento mensual histórico de la demanda de energía eléctrica, mostrados en la Tabla A.5.

Tabla A.5. Porcentajes históricos de hidro-generación mensual promedio en El Novillo:

	Oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
$eP_j$	0.0980	0.0677	0.0552	0.0588	0.0606	0.0652	0.0659	0.0819	0.1022	0.1112	0.1122	0.1211

Se considera  $O=0.90$ , según información recabada en Comisión Federal de Electricidad (SubÁrea de Control Obregón).

Derivada de lo anterior, la restricción de energía queda:

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWH_{r2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,j+1,t} - 370.06 \right) \cdot 0.90, \quad (\text{A.25})$$

$t=1,\dots,NA, \quad j=1,\dots,11$

$$eP_j \cdot MWH_{2,j} + MWHr_{2,j,t} = 1.3625 \cdot qP_{2,j} \cdot R_{2,j} \left( h_{2,j,t} + h_{2,1,t+1} - 370.06 \right) \cdot 0.90, \quad (A.26)$$

$$t = 1, \dots, NA, \quad j = 12$$

Considerando una carga media:  $H_m = \frac{h_{2,j,t} + h_{2,j+1,t}}{2}$  para la restricción (A.25) o  $H_m = \frac{h_{2,j,t} + h_{2,1,t+1}}{2}$  para la restricción (A.26), se tiene que:

- Cuando  $H_m > 254.04$  m.s.n.m., se hidro-genera con las tres unidades  $U_1$ ,  $U_2$  y  $U_3$ , siendo establecida la extracción anual con la regla determinada con el modelo de optimización.
- Cuando  $H_m > 239.5$  m.s.n.m. y  $H_m \neq 254.04$  m.s.n.m., se hidro-genera solo con la unidad  $U_3$ , siendo la extracción igual a  $157.59 \text{ hm}^3/\text{mes}$ .
- Cuando  $H_m \leq 239.5$  m.s.n.m., no se hidro-genera energía.

#### Restricción de calculo de carga en El Novillo

La restricción de la carga se obtuvo ajustando regresivamente los datos topográficos de la elevación en función del volumen almacenado.

$$h_{2,j,t} = 216.11488 - 0.00542 \cdot SP_{2,j,t} + 1.65855 \cdot \sqrt{SP_{2,j,t}}, \quad t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 12 \quad (A.27)$$

$$h_{2,1,NA+1} = 216.11488 - 0.00542 \cdot SP_{2,1,NA+1} + 1.65855 \cdot \sqrt{SP_{2,1,NA+1}} \quad (A.28)$$

#### Restricciones carga máxima en El Novillo.

$$h_{2,j,t} \leq h_{2\text{máx}}, \quad t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 12, \quad (A.29)$$

$$h_{2,1,NA+1} \leq h_{2\text{máx}} \quad (A.30)$$

donde  $h_{2\text{máx}} = 300$  m.

#### Restricciones de energía mensual máxima en El Novillo.

$$eP_j \cdot MWH_{2,t} + MWHr_{2,j,t} \leq MWh_{2\text{máx}}, \quad t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 12 \quad (A.31)$$

donde  $MWH_{2\text{máx}} = (135 \text{ Mw}) (30.4 \cdot 24 \text{ h}) = 98,496 \text{ Mwh}$

#### ❖ Restricciones de hidro-generación el Oviáchic.

$MW = 19.2 \text{ Mw}$  (2 unidades de  $9.6 \text{ Mw}$ )

$Q_3 = 60 \text{ m}^3/\text{s} = 157.6 \text{ hm}^3/\text{mes}$  (2 unidades de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  cada una)

Nivel de desfogue  $U_1$  y  $U_2 = 63.5$  m

En la presa Oviáchic existen dos obras de toma: Toma Alta y Toma Baja, cada una de las cuales desfogan en los Canales Alto y Bajo, respectivamente. La hidro-eléctrica se localiza en la Toma Baja.

Además del uso agrícola para el Valle del Yaquí, la presa Oviáchic abastece al Distrito de Riego 018 Colonias Yaquis con un volumen anual de  $250 \text{ hm}^3$ , además del uso urbano a Cajeme. La distribución del volumen extraído mensualmente para uso agrícola en el Valle del  $R_{3,j,t}$ , así como para los usos comprometidos urbano y agrícola de las Col. Yaquis, es aproximadamente como se muestra a continuación, Palacios (1999):

$$\text{Toma Alta} = 0.4 \cdot R_{3,j,t} + 0.5 \cdot \text{VolDom}_j \quad (\text{A.32})$$

$$\text{Toma Baja} = 0.6 \cdot R_{3,j,t} + \text{Vol018}_j + 0.5 \cdot \text{VolDom}_j \quad (\text{A.33})$$

donde

$\text{VolDom}_j =$  volumen extraído mensualmente para uso urbano, ver Tabla A.3

$\text{Vol018}_j =$  volumen extraído mensualmente para uso agrícola del D.R. Col. Yaquis, ver Tabla A.3

#### Restricción de energía en el Oviáchic.

Siguiendo un proceso similar al de El Novillo, las restricciones de energía:

$$MWH_{3,j,t} = 2.725 \cdot RR_{3,j,t} \cdot \left( \frac{h_{3,j,t} + h_{3,j,t+1}}{2} - 63.5 \right) \cdot \eta, \quad t = 1, \dots, \text{NA}, \quad j = 1, \dots, 11 \quad (\text{A.34})$$

$$MWH_{3,j,t} = 2.725 \cdot RR_{3,j,t} \cdot \left( \frac{h_{3,j,t} + h_{3,1,t+1}}{2} - 63.5 \right) \cdot \eta, \quad t = 1, \dots, \text{NA}, \quad j = 12 \quad (\text{A.35})$$

donde

$RR_{3,j,t} =$  extracción para hidro-generación en el Oviáchic (Toma Baja),  $\text{hm}^3/\text{mes}$

Al igual que en El Novillo, se indagó un valor de  $O = 0.90$ .

#### Restricción de calculo de carga en el Oviáchic.

$$h_{3,j,t} = 57.592827 + 2.2240864 \cdot SP_{3,j,t}^{0.38396732} \quad t = 1, \dots, \text{NA}, \quad j = 1, \dots, 12 \quad (\text{A.34})$$

$$h_{3,1,\text{NA}+1} = 57.592827 + 2.2240864 \cdot SP_{3,1,\text{NA}+1}^{0.38396732} \quad (\text{A.36})$$

#### Restricciones de energía mensual máxima en el Oviáchic.



$$MWH_{3,j,t} \leq MWh_{3m\acute{a}x} \quad , t = 1, \dots, NA, j = 1, \dots, 12 \quad (A.37)$$

donde

$$MWH_{3m\acute{a}x} = (19.2 \text{ Mw}) (30.4 * 24 \text{ h}) = 14,010 \text{ Mwh}$$

, Restricción de extracción mensual máxima para hidro-generación.

$$RR_{3,j,t} \# 157.6, j = 1, \dots, 12, t = 1, \dots, NA \quad (A.38)$$

**NOTA:** Debido a que la hidro-generación en el Oviáchic está íntimamente ligada con la extracción para el uso agrícola (por estar en la misma presa), la energía en esta presa se calcula por separado a través un módulo computacional de simulación que lee los resultados del modelo de optimización. Es decir, en el Oviáchic no se procura hidro-generar con la temporalidad de la demanda de energía eléctrica, como se hace en El Novillo.

## **APÉNDICE B**

**Resultados del punto seleccionado aplicando el método de Restricción.**

**Horizonte de planeación: 1964-65 a 1996-97.**

**PUNTO ÓPTIMO MÉTODO DE RESTRICCIÓN:       $Z_1 = 63,300,$        $Z_2 = 16,056,850$**

\* Resultados del modelo de P.L.                      10:25:28                      07-22-2010

33                      396

Indice de repetición: 1

\* Angostura:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                      863.9

Volumen de almacenamiento mínimo:                      22.8

\* Novillo:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                      3026.57

Volumen de almacenamiento mínimo:                      617

\* Oviáchic:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                      2989.17

Volumen de almacenamiento mínimo:                      700

\* Oviáchic:

Porcentaje de déficit mensual:      0

Porcentaje de déficit anual:      0

Porcentaje de déficit global:      0

Capacidad mensual de canales Angostura: 160

Capacidad mensual de canales Novillo: 473

Capacidad mensual de canales Oviáchic: 578

Extracción anual máxima: 3335.016

Extracción anual mínima: 1600

- qP1( 1 ) = 0.0834
- qP1( 2 ) = 0.0834
- qP1( 3 ) = 0.0834
- qP1( 4 ) = 0.0834
- qP1( 5 ) = 0.0833
- qP1( 6 ) = 0.0833
- qP1( 7 ) = 0.0833
- qP1( 8 ) = 0.0833
- qP1( 9 ) = 0.0833
- qP1( 10 ) = 0.0833
- qP1( 11 ) = 0.0833
- qP1( 12 ) = 0.0833
  
- qP2( 1 ) = 0.1000

qP2( 2 ) = 0.0637  
 qP2( 3 ) = 0.0604  
 qP2( 4 ) = 0.0545  
 qP2( 5 ) = 0.0552  
 qP2( 6 ) = 0.0585  
 qP2( 7 ) = 0.0652  
 qP2( 8 ) = 0.0818  
 qP2( 9 ) = 0.1102  
 qP2( 10 ) = 0.1161  
 qP2( 11 ) = 0.1179  
 qP2( 12 ) = 0.1165

$R(1,t) = 0 + .7910791 *SP(1,1,t)$   
 $R(2,t) = 1599.341 + 0 *SP(2,1,t) + 2.089983 *R(1,t)$   
 $R(3,t) = 63.51034 + .8834021 *SP(3,1,t) + .149716 *R(2,t)$

\* Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	VOL. COMP.
1964-65	28.24	353.50	22.34	35.27	101.56	110.00
1965-66	112.57	936.71	89.05	40.28	307.02	110.00
1966-67	502.93	303.22	397.85	65.37	0.00	110.00
1967-68	232.92	1,424.00	184.26	79.89	451.02	110.00
1968-69	831.76	268.40	657.99	58.55	191.48	110.00
1969-70	82.14	356.21	64.98	38.14	0.00	110.00
1970-71	225.23	219.90	178.18	42.54	0.00	110.00
1971-72	114.42	420.51	90.51	37.75	64.97	110.00
1972-73	231.70	921.30	183.29	86.13	0.00	110.00
1973-74	773.58	189.62	611.96	63.39	155.04	110.00
1974-75	22.80	360.50	18.04	36.01	0.00	110.00
1975-76	219.26	397.41	173.45	42.87	53.60	110.00
1976-77	236.74	458.72	187.28	42.58	96.67	110.00
1977-78	258.94	754.00	204.84	83.67	0.00	110.00
1978-79	614.42	1,118.00	486.06	93.28	424.35	110.00
1979-80	618.74	194.70	489.47	65.88	0.00	110.00
1980-81	148.09	519.30	117.15	43.63	0.00	110.00
1981-82	396.61	223.10	313.75	55.89	0.00	110.00
1982-83	140.07	1,016.00	110.81	76.85	0.00	110.00
1983-84	858.42	682.61	679.08	71.68	45.71	110.00
1984-85	634.56	1,126.00	501.99	74.37	366.85	110.00
1985-86	707.36	659.20	559.58	62.54	0.00	110.00
1986-87	634.44	471.40	501.89	62.98	0.00	110.00
1987-88	430.97	524.22	340.93	46.30	0.00	110.00
1988-89	457.96	295.20	362.28	47.86	0.00	110.00
1989-90	233.01	585.11	184.33	34.04	0.00	110.00
1990-91	489.75	828.40	387.43	65.90	0.00	110.00
1991-92	754.82	845.00	597.13	73.03	229.58	110.00
1992-93	590.09	1,080.51	466.80	79.34	186.23	110.00

1993-94	828.22	223.02	655.19	63.68	0.00	110.00
1994-95	222.37	881.10	175.92	65.80	0.00	110.00
1995-96	751.75	207.39	594.70	55.44	0.00	110.00
1996-97	199.01	128.60	157.43	31.94	0.00	110.00

28.24

	ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES
	18,972.86	10,745.94	1,922.83	2,674.09

\* Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. ANG.	DERR. ANG.	MWh2e	MWh2r	MWh2
1964-65	1,347.62	1,334.40	1,646.03	134.61	201.21	20.11	91.40	291,532.	12,567.	304,098.
1965-66	811.68	3,271.60	1,785.46	117.92	90.22	80.15	276.32	310,567.	31,495.	342,062.
1966-67	2,446.15	1,712.80	2,430.85	169.02	1,145.65	358.07	0.00	520,524.	21,420.	541,944.
1967-68	771.50	4,677.30	1,984.44	138.14	871.40	165.83	405.91	347,995.	120,002.	467,997.
1968-69	3,026.57	1,355.10	2,974.52	190.08	0.00	592.19	172.34	721,467.	7,321.	728,788.
1969-70	1,981.59	1,702.10	1,735.14	158.15	0.00	58.48	0.00	362,279.	11,249.	373,528.
1970-71	1,848.88	1,550.50	1,971.73	165.37	0.00	160.36	0.00	378,260.	24,362.	402,622.
1971-72	1,422.64	2,209.20	1,788.51	159.59	0.00	81.46	58.47	366,845.	10,674.	377,519.
1972-73	1,823.67	2,873.50	1,982.42	226.28	0.00	164.96	0.00	437,878.	43,538.	481,416.
1973-74	2,653.43	1,831.60	2,878.34	191.26	0.00	550.77	139.54	635,700.	20,131.	655,832.
1974-75	2,105.74	2,166.40	1,637.04	168.57	0.00	16.23	0.00	359,558.	14,903.	374,462.
1975-76	2,482.77	1,499.00	1,961.85	190.20	0.00	156.10	48.24	435,914.	15,967.	451,881.
1976-77	2,034.06	1,761.90	1,990.76	165.01	0.00	168.56	87.00	416,897.	14,781.	431,678.
1977-78	1,895.76	1,660.00	2,027.45	153.99	0.00	184.36	0.00	411,335.	17,600.	428,936.
1978-79	1,558.67	2,590.10	2,615.20	182.26	0.00	437.45	381.91	569,687.	58,060.	627,748.
1979-80	2,170.68	1,369.30	2,622.33	147.50	0.00	440.53	0.00	494,392.	38,930.	533,322.
1980-81	1,210.68	2,757.50	1,844.19	113.67	0.00	105.44	0.00	344,314.	31,017.	375,331.
1981-82	2,115.76	820.80	2,255.08	144.08	0.00	282.38	0.00	432,328.	35,091.	467,419.
1982-83	819.77	3,785.40	1,830.92	136.08	1,210.66	99.72	0.00	316,565.	73,937.	390,502.
1983-84	1,527.24	3,205.60	3,018.60	103.72	206.03	611.17	41.14	647,866.	18,808.	666,674.
1984-85	2,056.80	4,954.60	2,648.49	179.04	1,952.82	451.79	330.16	614,481.	57,277.	671,757.
1985-86	3,013.00	3,328.30	2,768.85	130.85	918.65	503.62	0.00	655,610.	19,370.	674,980.
1986-87	3,026.57	1,503.40	2,648.28	180.34	63.44	451.70	0.00	649,634.	7,804.	657,438.
1987-88	2,089.61	2,899.80	2,311.88	150.64	0.00	306.84	0.00	466,118.	39,176.	505,293.
1988-89	2,833.73	1,926.60	2,356.51	168.72	1,040.03	326.05	0.00	555,549.	5,237.	560,785.
1989-90	1,521.13	3,409.70	1,984.59	93.77	811.99	165.90	0.00	358,520.	34,496.	393,016.
1990-91	2,206.38	4,962.60	2,409.07	168.67	1,913.36	348.69	0.00	562,749.	28,658.	591,407.
1991-92	3,026.57	3,153.50	2,847.32	168.27	1,085.52	537.41	206.63	705,989.	20,912.	726,901.
1992-93	2,822.99	3,410.90	2,574.96	149.19	1,070.91	420.12	167.61	632,931.	22,790.	655,721.
1993-94	3,026.57	1,566.30	2,968.67	157.47	0.00	589.67	0.00	716,217.	9,941.	726,159.
1994-95	2,056.39	2,311.10	1,967.00	155.67	0.00	158.32	0.00	442,687.	35,379.	478,066.
1995-96	2,403.15	1,946.50	2,842.25	110.22	0.00	535.23	0.00	588,085.	30,517.	618,602.
1996-97	1,932.41	1,334.40	1,928.37	132.50	0.00	141.69	0.00	374,857.	19,942.	394,799.
	1,347.62									
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES					
		80,841.80	75,237.09	5,100.85	12,581.88			16,125,330.	953,354.	17,078,684.

\* Oviáchic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. NOV.	DERR. NOV.	VOL. COMP.	MWh3
1964-65	1,460.32	493.90	1,600.00	241.75	0.00	1,481.43	181.09	338.30	81,165.
1965-66	1,436.69	561.30	1,600.00	246.45	0.00	1,606.92	81.20	338.30	80,636.
1966-67	1,501.36	421.50	1,753.75	215.81	0.00	2,187.77	1,031.08	338.30	92,866.
1967-68	2,833.85	1,011.80	2,864.04	292.11	0.00	1,785.99	784.26	338.30	129,402.
1968-69	2,921.45	784.50	3,089.66	229.19	0.00	2,677.07	0.00	338.30	135,850.
1969-70	2,725.87	702.10	2,731.33	252.24	0.00	1,561.63	0.00	338.30	120,006.
1970-71	1,667.73	571.30	1,831.99	229.49	0.00	1,774.55	0.00	338.30	94,730.
1971-72	1,613.80	687.40	1,756.92	242.13	0.00	1,609.66	0.00	338.30	92,567.
1972-73	1,573.52	772.70	1,750.36	222.48	0.00	1,784.18	0.00	338.30	93,774.
1973-74	1,819.25	683.20	2,101.58	285.65	0.00	2,590.50	0.00	338.30	108,954.
1974-75	2,367.43	728.90	2,400.00	251.43	0.00	1,473.33	0.00	338.30	112,005.
1975-76	1,579.94	520.30	1,752.96	254.16	0.00	1,765.66	0.00	338.30	93,063.
1976-77	1,520.49	516.60	1,704.76	222.82	0.00	1,791.68	0.00	338.30	89,258.
1977-78	1,562.90	433.80	1,747.72	236.06	0.00	1,824.71	0.00	338.30	91,174.
1978-79	1,499.32	799.90	1,779.55	244.49	0.00	2,353.68	0.00	338.30	97,462.
1979-80	2,290.56	945.50	2,479.60	396.24	0.00	2,360.10	0.00	338.30	117,934.
1980-81	2,382.02	744.70	2,443.90	407.64	0.00	1,659.77	0.00	338.30	113,074.
1981-82	1,596.65	601.60	1,811.62	248.77	0.00	2,029.57	0.00	338.30	97,050.
1982-83	1,829.14	910.20	1,953.49	270.98	0.00	1,647.83	1,089.59	338.30	101,733.
1983-84	2,913.98	899.20	3,089.66	301.57	9.11	2,716.74	185.42	338.30	135,674.
1984-85	2,976.71	1,029.60	3,089.66	334.21	1,429.02	2,383.64	1,757.54	338.30	137,943.
1985-86	2,956.31	909.60	3,089.66	341.47	438.48	2,491.96	826.79	338.30	136,187.
1986-87	2,976.74	755.00	3,089.66	341.43	8.39	2,383.45	57.09	338.30	133,694.
1987-88	2,394.50	730.90	2,524.95	353.83	0.00	2,080.69	0.00	338.30	117,437.
1988-89	1,989.02	559.00	2,173.42	309.04	0.00	2,120.86	936.03	338.30	107,997.
1989-90	2,784.14	1,185.90	2,820.15	339.34	0.00	1,786.13	730.79	338.30	125,517.
1990-91	2,989.17	754.40	3,064.83	299.62	988.00	2,168.16	1,722.02	338.30	134,523.
1991-92	2,943.01	956.00	3,089.66	402.40	619.04	2,562.59	976.97	338.30	141,856.
1992-93	2,989.17	738.10	3,089.66	350.23	307.91	2,317.46	963.82	338.30	138,719.
1993-94	2,922.44	787.40	3,089.66	325.80	0.00	2,671.80	0.00	338.30	134,386.
1994-95	2,627.89	757.40	2,679.49	288.63	0.00	1,770.30	0.00	338.30	120,569.
1995-96	1,849.17	642.60	2,122.60	282.50	0.00	2,558.02	0.00	338.30	108,396.
1996-97	2,306.39	465.00	2,389.69	318.61	0.00	1,735.53	0.00	338.30	111,700.
	1,460.32								
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES				
		24,061.30	78,555.95	9,578.57	3,799.95				3,727,301.

% de aprovechamiento: 75.36  
 % de derrames: 3.07  
 % de evaporación neta: 13.40  
 % de pérdidas entre presas: 8.17  
 Oferta total: 78,555.95  
 Extracción promedio: 2,380.48

=====

SIMULACIÓN 10:22:04 07-23-2010

Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
64-65	28.24	353.50	22.34	4.46	29.88	0.00	0.00	110.00
65-66	223.98	936.71	177.19	20.12	64.79	0.00	0.00	110.00
66-67	828.84	303.22	655.67	3.45	71.86	0.00	0.00	110.00
67-68	297.97	1,424.00	235.72	21.65	80.18	491.83	0.00	110.00
68-69	825.88	268.40	653.34	7.28	66.92	0.00	0.00	110.00
69-70	271.31	356.21	214.62	8.43	46.96	0.00	0.00	110.00
70-71	264.36	219.90	209.13	3.90	35.75	0.00	0.00	110.00
71-72	133.28	372.61	105.43	6.46	42.96	0.00	0.00	110.00
72-73	253.95	1,011.40	200.90	13.95	78.49	61.60	0.00	110.00
73-74	828.32	189.62	655.27	5.96	67.86	0.00	0.00	110.00
74-75	190.78	360.50	150.92	9.02	44.16	0.00	0.00	110.00
75-76	255.21	397.41	201.89	8.75	47.76	0.00	0.00	110.00
76-77	301.72	458.72	238.69	8.44	51.01	0.00	0.00	110.00
77-78	369.19	754.00	292.06	11.52	79.30	0.00	0.00	110.00
78-79	653.35	1,118.00	516.85	19.33	89.07	453.68	0.00	110.00
79-80	621.09	194.70	491.33	8.29	62.20	0.00	0.00	110.00
80-81	160.54	519.30	127.00	10.66	45.22	0.00	0.00	110.00
81-82	408.28	223.10	322.98	4.91	51.52	0.00	0.00	110.00
82-83	151.80	1,016.00	120.08	15.36	71.69	17.49	0.00	110.00
83-84	863.90	682.61	683.41	17.68	70.52	53.37	0.00	110.00
84-85	646.89	1,126.00	511.74	23.42	77.11	378.61	0.00	110.00
85-86	718.85	659.20	568.67	16.43	63.63	0.00	0.00	110.00
86-87	652.18	471.40	515.93	12.65	61.62	0.00	0.00	110.00
87-88	448.69	524.22	354.95	9.10	47.10	0.00	0.00	110.00
88-89	469.96	295.20	371.78	9.34	49.06	0.00	0.00	110.00
89-90	243.67	585.11	192.76	11.99	36.92	0.00	0.00	110.00
90-91	501.09	828.40	396.40	15.62	64.41	0.00	0.00	110.00
91-92	774.30	845.00	612.53	17.53	70.16	235.52	0.00	110.00
92-93	608.62	1,080.51	481.47	14.41	72.87	202.79	0.00	110.00
93-94	836.42	223.02	661.67	10.41	60.73	0.00	0.00	110.00
94-95	237.45	881.10	187.84	25.50	71.04	0.00	0.00	110.00
95-96	775.16	207.39	613.22	9.04	54.43	0.00	0.00	110.00
96-97	213.95	128.60	169.25	3.67	24.91	0.00	0.00	110.00
	42.06							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		19,015.06	11,913.04	388.75	1,952.07	1,894.88	0.00	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
64-65	1,347.62	1,334.40	1,641.36	19.72	93.02	0.00	28.66	20.11	0.00	0.	272,640.
65-66	1,016.13	3,271.60	1,932.63	34.83	97.89	0.00	0.00	159.47	0.00	340,619.	38,111.
66-67	2,451.50	1,712.80	2,832.65	27.63	128.24	0.00	0.00	590.11	0.00	609,769.	27,702.
67-68	1,821.14	4,677.30	2,156.04	85.79	173.91	1,882.51	0.00	212.14	442.65	442,600.	98,372.
68-69	3,026.57	1,355.10	2,828.26	23.62	139.53	0.00	0.00	588.01	0.00	678,699.	12,861.
69-70	2,025.51	1,702.10	2,003.05	28.36	120.49	0.00	0.00	193.16	0.00	418,901.	14,263.
70-71	1,825.59	1,550.50	1,992.71	19.78	115.33	0.00	0.00	188.21	0.00	386,980.	22,301.
71-72	1,476.05	2,209.20	1,797.66	32.13	125.02	0.00	0.00	94.89	0.00	372,378.	11,481.
72-73	1,889.59	2,873.50	1,977.22	23.81	170.15	0.00	0.00	180.81	55.44	441,077.	47,423.
73-74	2,875.78	1,831.60	2,831.89	30.08	153.88	0.00	0.00	589.74	0.00	642,637.	22,933.
74-75	2,341.43	2,166.40	1,883.22	48.30	152.34	0.00	0.00	135.83	0.00	428,034.	16,052.
75-76	2,656.40	1,499.00	1,979.10	30.70	151.98	0.00	0.00	181.71	0.00	450,762.	16,985.
76-77	2,236.71	1,761.90	2,048.31	29.22	132.87	0.00	0.00	214.82	0.00	441,024.	16,919.
77-78	2,061.47	1,660.00	2,148.69	30.16	124.99	0.00	0.00	262.85	0.00	450,077.	19,991.
78-79	1,740.80	2,590.10	2,571.54	51.22	162.83	83.44	0.00	465.17	408.31	558,303.	68,726.
79-80	2,437.79	1,369.30	2,523.52	27.26	123.86	0.00	0.00	442.20	0.00	527,998.	22,469.
80-81	1,629.17	2,757.50	1,838.23	48.81	119.69	0.00	0.00	114.30	0.00	375,252.	32,112.
81-82	2,591.86	820.80	2,206.86	19.39	122.53	0.00	0.00	290.68	0.00	484,707.	17,869.
82-83	1,393.34	3,785.40	1,825.21	72.27	156.97	366.07	0.00	108.07	15.74	357,693.	80,551.
83-84	3,026.57	3,205.60	2,884.83	78.60	149.16	913.31	0.00	615.07	48.03	709,360.	22,556.
84-85	3,026.57	4,954.60	3,811.11	80.87	167.36	1,858.32	0.00	460.57	340.75	635,178.	145,810.
85-86	3,026.57	3,328.30	2,669.00	78.73	144.75	1,105.09	0.00	511.80	0.00	639,784.	29,075.
86-87	3,026.57	1,503.40	2,569.79	41.46	151.06	99.06	0.00	464.33	0.00	632,587.	9,875.
87-88	2,215.85	2,899.80	2,266.99	35.43	126.89	50.09	0.00	319.45	0.00	479,115.	32,153.
88-89	3,026.57	1,926.60	2,298.65	56.46	160.81	0.00	0.00	334.60	0.00	553,031.	16,007.
89-90	2,884.77	3,409.70	2,390.58	97.92	165.81	982.92	0.00	173.48	0.00	463,505.	63,040.
90-91	3,026.57	4,962.60	2,919.61	74.66	170.92	2,303.49	0.00	356.76	0.00	581,387.	76,875.
91-92	3,026.57	3,153.50	2,923.02	56.86	156.59	1,013.64	0.00	551.28	211.97	681,261.	67,786.
92-93	2,906.92	3,410.90	2,504.97	69.55	153.65	1,318.01	0.00	433.32	182.51	605,186.	35,131.
93-94	3,026.57	1,566.30	2,843.94	43.61	138.12	0.00	0.00	595.51	0.00	693,414.	10,824.
94-95	2,249.93	2,311.10	1,952.67	65.10	156.76	65.59	0.00	169.06	0.00	447,433.	37,987.
95-96	2,620.17	1,946.50	2,752.79	52.57	116.34	0.00	0.00	551.89	0.00	607,645.	21,540.
96-97	2,302.00	1,334.40	1,917.70	24.02	113.24	0.00	0.00	152.32	0.00	411,253.	12,845.
	1,781.81										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		80,841.80	77,723.81	1,538.93	4,636.97	12,041.54	28.66			16,547,651.	1,441,265.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
64-65	1,460.32	493.90	1,570.86	17.64	152.73	0.00	0.00	1,451.43	0.00	338.30	76,579.34
65-66	1,361.40	561.30	1,526.59	28.96	161.77	0.00	0.00	1,739.37	0.00	338.30	72,720.14
66-67	1,664.37	421.50	1,915.51	46.67	178.95	0.00	0.00	2,549.39	0.00	338.30	94,193.86



67-68	2,249.18	1,011.80	2,340.96	81.66	258.15	1,050.76	0.00	1,940.44	1,694.26	338.30	124,172.57
68-69	2,989.17	784.50	3,085.24	80.61	211.53	58.49	0.00	2,545.44	0.00	338.30	161,305.14
69-70	2,706.15	702.10	2,724.03	51.18	205.83	0.00	0.00	1,802.74	0.00	338.30	148,067.06
70-71	1,994.02	571.30	2,093.53	33.35	176.35	0.00	0.00	1,793.43	0.00	338.30	107,998.09
71-72	1,783.92	687.40	1,881.65	25.39	172.41	0.00	0.00	1,617.89	0.00	338.30	95,582.34
72-73	1,722.25	772.70	1,851.37	46.14	176.34	0.00	0.00	1,779.50	0.00	338.30	92,825.47
73-74	1,954.58	683.20	2,171.77	27.55	207.88	0.00	0.00	2,548.70	0.00	338.30	111,186.39
74-75	2,496.08	728.90	2,522.31	37.15	196.08	0.00	0.00	1,694.90	0.00	338.30	137,644.52
75-76	1,900.35	520.30	2,008.96	25.78	186.34	0.00	0.00	1,781.19	0.00	338.30	102,563.88
76-77	1,694.02	516.60	1,836.01	43.02	174.74	0.00	0.00	1,843.48	0.00	338.30	91,466.38
77-78	1,748.07	433.80	1,897.28	24.71	169.51	0.00	0.00	1,933.82	0.00	338.30	95,016.08
78-79	1,735.30	799.90	1,942.98	53.86	204.50	0.00	0.00	2,314.38	75.10	338.30	97,096.04
79-80	2,492.76	945.50	2,605.65	39.96	294.36	0.00	0.00	2,271.17	0.00	338.30	141,353.17
80-81	2,511.08	744.70	2,529.49	30.04	290.82	0.00	0.00	1,654.41	0.00	338.30	137,940.91
81-82	1,781.62	601.60	1,934.76	55.31	201.24	0.00	0.00	1,986.17	0.00	338.30	97,856.59
82-83	1,950.41	910.20	2,032.44	48.47	207.92	0.00	0.00	1,642.69	329.46	338.30	104,508.30
83-84	2,302.56	899.20	2,486.31	84.52	273.07	617.75	0.00	2,596.35	821.98	338.30	136,064.28
84-85	2,989.17	1,029.60	3,518.31	78.03	326.36	2,027.15	0.00	3,429.99	1,672.49	338.30	164,360.38
85-86	2,989.17	909.60	3,063.78	43.41	257.86	689.75	0.00	2,402.10	994.58	338.30	160,803.63
86-87	2,989.17	755.00	3,050.41	54.78	269.03	27.19	0.00	2,312.81	89.15	338.30	160,491.22
87-88	2,515.99	730.90	2,591.60	17.92	245.81	0.00	0.00	2,040.29	45.08	338.30	140,829.08
88-89	2,174.46	559.00	2,294.16	34.17	227.52	0.00	0.00	2,068.78	0.00	338.30	120,877.48
89-90	1,976.43	1,185.90	2,131.61	32.00	209.84	561.56	0.00	2,151.52	884.62	338.30	109,392.32
90-91	2,989.17	754.40	3,578.01	106.90	301.34	1,352.27	0.00	2,627.65	2,073.14	338.30	161,592.77
91-92	2,989.17	956.00	3,098.01	57.47	311.94	808.22	0.00	2,630.72	912.28	338.30	161,603.50
92-93	2,989.17	738.10	3,041.68	71.80	298.56	572.04	0.00	2,254.48	1,186.21	338.30	160,287.11
93-94	2,989.17	787.40	3,087.35	53.16	253.70	56.97	0.00	2,559.54	0.00	338.30	161,354.50
94-95	2,652.95	757.40	2,670.25	51.06	229.81	0.00	0.00	1,757.41	59.03	338.30	145,605.31
95-96	2,039.50	642.60	2,236.13	39.90	216.34	0.00	0.00	2,477.51	0.00	338.30	115,746.30
96-97	2,408.74	465.00	2,449.80	43.19	239.81	0.00	0.00	1,725.93	0.00	338.30	132,702.67
	1,614.95										

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			
		24,061.30	79,768.80	1,565.77	7,488.43	7,822.15	0.00			4,121,787.

% de aprovechamiento: 74.22  
 % de derrames: 6.14  
 % de evaporación: 11.05  
 % de pérdidas: 8.13  
 Años con deficiencia: 0  
 % déficit promedio: 0.00  
 % déficit máximo: 0.00  
 Demanda total: 166,087.31  
 Oferta real: 79,768.80  
 Extracción promedio: 2,417.24

Probabilidad de falla.....: 0.00  
 Confiabilidad.....: 1.00  
 Elasticidad.....: 1.00  
 Vulnerabilidad.....: 0.00

**APÉNDICE C**  
**Resultados aplicando el método de conjuntos difusos**  
**Horizonte de planeación: 1964-65 a 1996-97.**

## MAX L:

\* Resultados del modelo de P.L.                    21:11:16                    07-19-2010

33                    396

Indice de repetición: 1

\* Angostura:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                    863.9

Volumen de almacenamiento mínimo:                    22.8

\* Novillo:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                    3026.57

Volumen de almacenamiento mínimo:                    617

\* Oviáchic:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:                    2989.17

Volumen de almacenamiento mínimo:                    700

\* Oviáchic:

Porcentaje de déficit mensual: 0

Porcentaje de déficit anual: 0

Porcentaje de déficit global: 0

Capacidad mensual de canales Angostura: 160

Capacidad mensual de canales Novillo: 473

Capacidad mensual de canales Oviáchic: 578

Extracción anual máxima: 3335.016

Extracción anual mínima: 1600

qP1( 1 ) = 0.0834

qP1( 2 ) = 0.0834

qP1( 3 ) = 0.0834

qP1( 4 ) = 0.0834

qP1( 5 ) = 0.0833

qP1( 6 ) = 0.0833

qP1( 7 ) = 0.0833

qP1( 8 ) = 0.0833

qP1( 9 ) = 0.0833

qP1( 10 ) = 0.0833

qP1( 11 ) = 0.0833

qP1( 12 ) = 0.0833

qP2( 1 ) = 0.1013

qP2( 2 ) = 0.0650

qP2( 3 ) = 0.0627

qP2( 4 ) = 0.0555

$qP2( 5 ) = 0.0562$   
 $qP2( 6 ) = 0.0591$   
 $qP2( 7 ) = 0.0657$   
 $qP2( 8 ) = 0.0824$   
 $qP2( 9 ) = 0.1114$   
 $qP2( 10 ) = 0.1155$   
 $qP2( 11 ) = 0.1144$   
 $qP2( 12 ) = 0.1108$

$R(1,t) = 0 + .7910791 *SP(1,1,t)$   
 $R(2,t) = 0 + 1.130743 *SP(2,1,t) + 0 *R(1,t)$   
 $R(3,t) = 752.745 + .2572878 *SP(3,1,t) + .340181 *R(2,t)$

\* Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	VOL. COMP.
1964-65	28.27	353.50	22.36	33.87	177.12	110.00
1965-66	38.42	936.71	30.40	51.62	0.00	110.00
1966-67	783.12	303.22	619.51	64.68	264.14	110.00
1967-68	28.02	1,424.00	22.16	80.06	375.89	110.00
1968-69	863.90	268.40	683.41	75.21	0.00	110.00
1969-70	263.68	356.21	208.59	46.85	0.00	110.00
1970-71	254.45	219.90	201.29	44.20	0.00	110.00
1971-72	118.86	420.51	94.03	39.84	34.74	110.00
1972-73	260.77	921.30	206.29	87.34	0.00	110.00
1973-74	778.44	189.62	615.81	72.85	0.00	110.00
1974-75	169.41	360.50	134.01	42.70	0.00	110.00
1975-76	243.19	397.41	192.38	43.47	77.51	110.00
1976-77	217.24	458.72	171.85	47.23	0.00	110.00
1977-78	346.88	754.00	274.41	39.47	654.20	110.00
1978-79	22.80	1,118.00	18.04	98.58	69.70	110.00
1979-80	844.48	194.70	668.05	78.39	0.00	110.00
1980-81	182.74	519.30	144.56	45.29	0.00	110.00
1981-82	402.18	223.10	318.16	48.87	103.84	110.00
1982-83	44.42	1,016.00	35.14	72.88	0.00	110.00
1983-84	842.40	682.61	666.40	67.05	131.01	110.00
1984-85	550.55	1,126.00	435.53	72.58	777.74	110.00
1985-86	280.70	659.20	222.06	46.51	0.00	110.00
1986-87	561.34	471.40	444.06	60.18	0.00	110.00
1987-88	418.49	524.22	331.06	45.76	0.00	110.00
1988-89	455.90	295.20	360.65	39.90	182.79	110.00
1989-90	57.76	585.11	45.69	27.18	0.96	110.00
1990-91	459.04	828.40	363.13	64.83	0.00	110.00
1991-92	749.47	845.00	592.89	64.60	550.35	110.00
1992-93	276.63	1,080.51	218.83	78.60	85.80	110.00
1993-94	863.90	223.02	683.41	65.17	0.00	110.00
1994-95	228.34	881.10	180.63	65.99	0.00	110.00
1995-96	752.82	207.39	595.54	55.49	0.00	110.00
1996-97	199.18	128.60	157.57	31.94	0.00	110.00
	28.27					
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES	
		18,972.86	9,957.92	1,899.17	3,485.77	

\* Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. ANG.	DERR. ANG.	MWh2e	MWh2r	MWh2
1964-65	1,062.76	1,334.40	1,201.71	127.34	0.00	20.13	159.40	214,550.	5,405.	219,955.
1965-66	1,247.65	3,271.60	1,410.77	135.77	256.16	27.36	0.00	269,015.	20,268.	289,283.
1966-67	2,743.90	1,712.80	3,102.65	179.11	63.85	557.56	237.72	696,307.	20,064.	716,370.
1967-68	1,906.38	4,677.30	2,155.63	142.76	1,616.97	19.95	338.30	479,626.	36,694.	516,320.
1968-69	3,026.57	1,355.10	3,422.27	173.72	0.00	615.07	0.00	722,156.	78,798.	800,954.
1969-70	1,400.75	1,702.10	1,583.89	133.49	0.00	187.73	0.00	300,055.	11,752.	311,807.
1970-71	1,573.20	1,550.50	1,778.89	153.43	0.00	181.16	0.00	328,888.	20,517.	349,405.
1971-72	1,372.55	2,209.20	1,552.00	160.13	0.00	84.63	31.26	322,497.	7,739.	330,236.
1972-73	1,985.51	2,873.50	2,245.10	229.02	0.00	185.66	0.00	513,162.	33,850.	547,012.
1973-74	2,570.55	1,831.60	2,906.63	181.93	0.00	554.23	0.00	610,177.	31,976.	642,154.
1974-75	1,867.82	2,166.40	2,112.02	150.40	0.00	120.61	0.00	432,569.	18,205.	450,773.
1975-76	1,892.41	1,499.00	2,139.83	154.11	0.00	173.14	69.76	420,747.	19,762.	440,509.
1976-77	1,340.37	1,761.90	1,515.61	135.10	0.00	154.67	0.00	280,480.	14,899.	295,379.
1977-78	1,606.23	1,660.00	1,816.23	164.25	0.00	246.97	588.78	387,347.	15,243.	402,590.
1978-79	2,121.50	2,590.10	2,398.87	186.59	14.27	16.23	62.73	559,618.	23,130.	582,747.
1979-80	2,190.82	1,369.30	2,477.26	154.00	0.00	601.25	0.00	486,401.	36,892.	523,293.
1980-81	1,530.12	2,757.50	1,730.17	129.11	0.00	130.11	0.00	353,510.	24,147.	377,657.
1981-82	2,558.45	820.80	2,892.94	154.69	0.00	286.34	93.45	514,292.	101,959.	616,252.
1982-83	711.41	3,785.40	804.42	141.81	555.63	31.62	0.00	137,983.	45,722.	183,705.
1983-84	3,026.57	3,205.60	3,422.27	134.45	369.98	599.76	117.90	842,041.	16,044.	858,085.
1984-85	3,023.13	4,954.60	3,418.39	153.18	2,555.54	391.98	699.96	863,070.	7,619.	870,689.
1985-86	2,942.57	3,328.30	3,327.29	116.86	0.00	199.85	0.00	724,171.	57,698.	781,870.
1986-87	3,026.57	1,503.40	3,422.27	169.85	0.00	399.66	0.00	720,239.	89,862.	810,101.
1987-88	1,337.51	2,899.80	1,512.37	126.96	0.00	297.95	0.00	285,500.	21,729.	307,229.
1988-89	2,895.92	1,926.60	3,274.54	160.15	0.00	324.59	164.51	690,728.	58,668.	749,396.
1989-90	1,876.92	3,409.70	2,122.32	98.10	81.62	41.12	0.86	408,007.	45,994.	454,001.
1990-91	3,026.57	4,962.60	3,422.27	168.76	1,701.82	326.82	0.00	862,826.	5,807.	868,634.
1991-92	3,023.13	3,153.50	3,418.39	168.20	827.93	533.60	495.32	863,070.	9,106.	872,176.
1992-93	2,791.04	3,410.90	3,155.95	146.32	383.63	196.95	77.22	764,171.	25,142.	789,312.
1993-94	2,790.21	1,566.30	3,155.01	145.60	0.00	615.07	0.00	687,531.	53,843.	741,375.
1994-95	1,670.98	2,311.10	1,889.44	141.59	0.00	162.57	0.00	405,991.	33,393.	439,384.
1995-96	2,113.62	1,946.50	2,389.96	103.54	0.00	535.98	0.00	493,759.	20,692.	514,451.
1996-97	2,102.60	1,334.40	2,377.50	132.33	6.22	141.81	0.00	434,408.	43,220.	477,629.
	1,062.76									
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES					
		80,841.80	79,554.87	4,952.65	8,433.62			17,074,890.	1,055,840.	18,130,730.

\* Oviáchic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. NOV.	DERR. NOV.	VOL. COMP.	MWh3
1964-65	2,203.33	493.90	1,728.43	284.30	0.00	1,081.54	0.00	338.30	98,941.
1965-66	1,427.74	561.30	1,600.00	240.88	0.00	1,269.69	230.54	338.30	78,358.
1966-67	1,310.09	421.50	2,145.28	205.52	0.00	2,792.38	57.46	338.30	99,832.
1967-68	1,892.35	1,011.80	1,972.93	310.42	688.67	1,940.06	1,455.28	338.30	115,829.
1968-69	2,989.17	784.50	2,686.01	248.00	592.24	3,080.05	0.00	338.30	133,362.
1969-70	2,989.17	702.10	2,060.63	294.34	0.00	1,425.50	0.00	338.30	116,752.
1970-71	2,423.50	571.30	1,981.43	275.22	0.00	1,601.00	0.00	338.30	108,743.
1971-72	2,000.86	687.40	1,795.50	265.19	0.00	1,396.80	0.00	338.30	99,779.
1972-73	1,686.07	772.70	1,950.29	230.10	0.00	2,020.59	0.00	338.30	101,498.

1973-74	1,960.67	683.20	2,245.98	292.02	0.00	2,615.97	0.00	338.30	113,207.
1974-75	2,383.53	728.90	2,084.47	278.41	0.00	1,900.82	0.00	338.30	112,242.
1975-76	2,312.07	520.30	2,075.54	305.31	0.00	1,925.85	0.00	338.30	111,315.
1976-77	2,039.06	516.60	1,792.95	246.01	0.00	1,364.05	0.00	338.30	99,256.
1977-78	1,542.45	433.80	1,767.44	228.00	0.00	1,634.61	0.00	338.30	88,646.
1978-79	1,277.11	799.90	1,897.38	218.03	0.00	2,158.98	12.84	338.30	91,657.
1979-80	1,795.13	945.50	2,057.33	367.06	0.00	2,229.53	0.00	338.30	105,428.
1980-81	2,207.48	744.70	1,909.27	417.59	0.00	1,557.15	0.00	338.30	104,598.
1981-82	1,844.16	601.60	2,211.35	270.32	0.00	2,603.65	0.00	338.30	110,874.
1982-83	2,229.44	910.20	1,600.00	290.52	0.00	723.97	500.07	338.30	95,935.
1983-84	2,134.86	899.20	2,466.21	303.51	349.90	3,080.05	332.98	338.30	125,326.
1984-85	2,989.17	1,029.60	2,684.69	373.87	3,009.27	3,076.55	2,299.98	338.30	129,081.
1985-86	2,989.17	909.60	2,653.70	370.29	541.86	2,994.56	0.00	338.30	132,932.
1986-87	2,989.17	755.00	2,686.01	369.48	441.25	3,080.05	0.00	338.30	132,681.
1987-88	2,989.17	730.90	2,036.30	412.47	0.00	1,361.14	0.00	338.30	115,613.
1988-89	2,294.13	559.00	2,456.93	353.28	0.00	2,947.09	0.00	338.30	121,117.
1989-90	2,651.70	1,185.90	2,156.97	360.85	0.00	1,910.09	73.46	338.30	117,406.
1990-91	2,965.03	754.40	2,679.80	306.84	2,017.01	3,080.05	1,531.64	338.30	116,904.
1991-92	2,989.17	956.00	2,684.69	411.46	1,343.24	3,076.55	745.14	338.30	136,600.
1992-93	2,989.17	738.10	2,595.41	349.70	640.31	2,840.35	345.27	338.30	130,529.
1993-94	2,989.17	787.40	2,595.09	353.73	342.98	2,839.51	0.00	338.30	130,084.
1994-95	2,985.97	757.40	2,163.75	336.61	0.00	1,700.50	0.00	338.30	119,717.
1995-96	2,605.21	642.60	2,236.05	326.30	0.00	2,150.96	0.00	338.30	117,936.
1996-97	2,498.12	465.00	2,204.26	362.58	0.00	2,139.75	5.60	338.30	115,935.
	2,203.33								
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES				
		24,061.30	71,862.11	10,258.19	9,966.72				3,728,111.

% de aprovechamiento: 69.95  
 % de derrames: 8.05  
 % de evaporación neta: 13.81  
 % de pérdidas entre presas: 8.19  
 Oferta total: 71,862.11  
 Extracción promedio: 2,177.64

SIMULACIÓN 22:11:41 07-19-2010

Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
64-65	28.27	353.50	22.36	4.46	29.88	0.00	0.00	110.00
65-66	223.99	936.71	177.19	20.12	64.79	0.00	0.00	110.00
66-67	828.84	303.22	655.67	3.45	71.86	0.00	0.00	110.00
67-68	297.97	1,424.00	235.72	21.65	80.18	491.84	0.00	110.00
68-69	825.88	268.40	653.34	7.28	66.92	0.00	0.00	110.00
69-70	271.31	356.21	214.62	8.43	46.96	0.00	0.00	110.00
70-71	264.36	219.90	209.13	3.90	35.75	0.00	0.00	110.00
71-72	133.28	372.61	105.43	6.46	42.96	0.00	0.00	110.00
72-73	253.95	1,011.40	200.90	13.95	78.49	61.60	0.00	110.00
73-74	828.32	189.62	655.27	5.96	67.86	0.00	0.00	110.00
74-75	190.78	360.50	150.92	9.02	44.16	0.00	0.00	110.00
75-76	255.21	397.41	201.89	8.75	47.76	0.00	0.00	110.00

76-77	301.72	458.72	238.69	8.44	51.01	0.00	0.00	110.00
77-78	369.19	754.00	292.06	11.52	79.30	0.00	0.00	110.00
78-79	653.35	1,118.00	516.85	19.33	89.07	453.68	0.00	110.00
79-80	621.09	194.70	491.33	8.29	62.20	0.00	0.00	110.00
80-81	160.54	519.30	127.00	10.66	45.22	0.00	0.00	110.00
81-82	408.28	223.10	322.98	4.91	51.52	0.00	0.00	110.00
82-83	151.80	1,016.00	120.08	15.36	71.69	17.49	0.00	110.00
83-84	863.90	682.61	683.41	17.68	70.52	53.37	0.00	110.00
84-85	646.89	1,126.00	511.74	23.42	77.11	378.61	0.00	110.00
85-86	718.85	659.20	568.67	16.43	63.63	0.00	0.00	110.00
86-87	652.18	471.40	515.93	12.65	61.62	0.00	0.00	110.00
87-88	448.69	524.22	354.95	9.10	47.10	0.00	0.00	110.00
88-89	469.96	295.20	371.78	9.34	49.06	0.00	0.00	110.00
89-90	243.67	585.11	192.76	11.99	36.92	0.00	0.00	110.00
90-91	501.09	828.40	396.40	15.62	64.41	0.00	0.00	110.00
91-92	774.30	845.00	612.53	17.53	70.16	235.52	0.00	110.00
92-93	608.62	1,080.51	481.47	14.41	72.87	202.79	0.00	110.00
93-94	836.42	223.02	661.67	10.41	60.73	0.00	0.00	110.00
94-95	237.45	881.10	187.84	25.50	71.04	0.00	0.00	110.00
95-96	775.16	207.39	613.22	9.04	54.43	0.00	0.00	110.00
96-97	213.95	128.60	169.25	3.67	24.91	0.00	0.00	110.00

	42.06							
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		19,015.06	11,913.06	388.75	1,952.08	1,894.88	0.00	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
64-65	1,062.76	1,334.40	1,201.71	19.97	86.49	0.00	0.99	20.13	0.00	210,889.	7,915.
65-66	1,150.05	3,271.60	1,300.41	43.71	118.98	178.87	0.00	159.47	0.00	248,662.	29,146.
66-67	3,026.57	1,712.80	3,422.27	28.71	142.04	0.00	0.00	590.11	0.00	770,302.	27,094.
67-68	1,793.88	4,677.30	2,142.15	85.48	173.18	1,869.56	0.00	212.15	442.65	444,620.	91,914.
68-69	3,026.57	1,355.10	3,422.27	20.93	127.95	0.00	0.00	588.01	0.00	727,318.	76,383.
69-70	1,440.38	1,702.10	1,628.70	23.63	98.40	0.00	0.00	193.16	0.00	314,634.	10,332.
70-71	1,632.17	1,550.50	1,845.57	18.72	107.60	0.00	0.00	188.21	0.00	349,711.	18,912.
71-72	1,436.44	2,209.20	1,624.25	32.88	125.95	0.00	0.00	94.89	0.00	340,080.	9,105.
72-73	2,023.22	2,873.50	2,287.74	24.22	169.99	0.00	0.00	180.81	55.44	525,502.	37,711.
73-74	2,699.46	1,831.60	3,052.40	26.20	139.03	0.00	0.00	589.74	0.00	655,734.	31,237.
74-75	1,955.57	2,166.40	2,211.25	39.05	126.14	0.00	0.00	135.83	0.00	462,181.	17,270.
75-76	1,959.46	1,499.00	2,215.64	21.71	111.68	0.00	0.00	181.71	0.00	436,818.	22,112.
76-77	1,334.55	1,761.90	1,509.03	22.33	98.12	0.00	0.00	214.82	0.00	285,697.	13,446.
77-78	1,726.45	1,660.00	1,952.17	27.32	111.74	0.00	0.00	262.85	0.00	395,428.	13,435.
78-79	1,612.71	2,590.10	1,823.56	53.86	167.68	191.84	0.00	465.17	408.31	396,743.	54,893.
79-80	2,947.07	1,369.30	3,332.38	25.68	129.72	0.00	0.00	442.20	0.00	646,648.	86,029.
80-81	1,322.14	2,757.50	1,495.01	47.10	111.38	0.00	0.00	114.30	0.00	297,162.	25,312.
81-82	2,634.66	820.80	2,979.12	15.49	109.69	0.00	0.00	290.68	0.00	523,258.	111,701.
82-83	672.82	3,785.40	760.79	68.19	140.85	722.02	0.00	108.07	15.74	128,662.	45,783.
83-84	3,026.57	3,205.60	3,422.27	74.22	145.12	401.34	0.00	615.07	48.03	838,588.	19,526.
84-85	3,000.76	4,954.60	4,372.96	76.72	163.27	1,685.94	0.00	460.57	340.75	840,115.	114,121.
85-86	2,611.23	3,328.30	2,952.63	66.59	123.94	414.79	0.00	511.80	0.00	661,188.	38,038.
86-87	3,026.57	1,503.40	3,422.27	36.04	139.61	0.00	0.00	464.33	0.00	736,894.	82,071.
87-88	1,468.46	2,899.80	1,660.45	30.53	102.34	0.00	0.00	319.45	0.00	320,761.	24,268.
88-89	2,955.45	1,926.60	3,341.85	44.72	137.86	0.00	0.00	334.60	0.00	697,226.	66,496.
89-90	1,781.65	3,409.70	2,014.58	73.18	113.82	283.04	0.00	173.48	0.00	400,498.	36,446.

90-91	3,026.57	4,962.60	3,653.78	70.57	166.74	1,569.40	0.00	356.76	0.00	863,070.	7,781.
91-92	3,026.57	3,153.50	3,441.27	54.56	152.71	877.78	0.00	551.28	211.97	843,231.	25,422.
92-93	2,526.13	3,410.90	2,856.40	65.27	147.38	587.77	0.00	433.32	182.51	676,168.	41,298.
93-94	3,026.57	1,566.30	3,422.27	38.98	128.05	0.00	0.00	595.51	0.00	748,277.	68,199.
94-95	1,677.04	2,311.10	1,896.30	55.43	134.39	0.00	0.00	169.06	0.00	407,518.	36,055.
95-96	2,181.94	1,946.50	2,467.22	47.63	102.69	0.00	0.00	551.89	0.00	518,492.	19,271.
96-97	2,158.06	1,334.40	2,440.21	19.03	96.93	0.00	0.00	152.32	0.00	454,861.	42,740.
	1,126.67										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		80,841.80	81,570.88	1,398.65	4,251.46	8,782.34	0.99			17,166,936.	1,351,462.

Oviáctic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
64-65	2,203.33	493.90	1,687.25	22.85	198.38	0.00	0.00	1,080.65	0.00	338.30	96,226.83
65-66	1,576.79	561.30	1,556.57	27.22	158.66	0.00	21.42	1,170.37	160.98	338.30	78,084.27
66-67	1,464.55	421.50	2,177.33	43.84	169.36	0.00	0.00	3,080.05	0.00	338.30	98,655.27
67-68	2,324.95	1,011.80	2,134.70	85.90	273.31	1,297.70	0.00	1,927.93	1,682.60	338.30	112,229.95
68-69	2,989.17	784.50	2,569.59	92.28	238.17	810.76	0.00	3,080.05	0.00	338.30	147,413.91
69-70	2,989.17	702.10	2,020.47	64.51	247.13	5.42	0.00	1,465.83	0.00	338.30	125,529.47
70-71	2,610.29	571.30	1,989.39	45.39	226.41	0.00	0.00	1,661.01	0.00	338.30	117,019.08
71-72	2,333.90	687.40	1,850.51	32.81	214.65	0.00	0.00	1,461.82	0.00	338.30	106,090.84
72-73	2,112.48	772.70	1,996.68	56.63	212.06	0.00	0.00	2,058.96	0.00	338.30	107,676.81
73-74	2,453.74	683.20	2,318.59	32.73	246.76	24.00	0.00	2,747.16	0.00	338.30	129,237.48
74-75	2,989.17	728.90	2,198.82	52.04	251.26	56.54	0.00	1,990.13	0.00	338.30	133,865.73
75-76	2,915.31	520.30	2,181.17	39.22	265.13	0.00	0.00	1,994.08	0.00	338.30	131,958.17
76-77	2,684.31	516.60	1,905.39	59.96	236.53	0.00	0.00	1,358.13	0.00	338.30	114,617.00
77-78	2,138.77	433.80	1,900.71	29.40	196.65	0.00	0.00	1,756.95	0.00	338.30	103,854.69
78-79	1,923.27	799.90	1,805.88	54.36	209.54	0.00	0.00	1,641.20	172.65	338.30	95,602.14
79-80	2,237.66	945.50	2,348.72	42.72	321.32	227.51	0.00	2,999.14	0.00	338.30	125,998.77
80-81	2,989.17	744.70	1,979.54	41.58	362.81	0.00	0.00	1,345.51	0.00	338.30	123,428.95
81-82	2,440.30	601.60	2,292.70	72.94	265.99	0.00	0.00	2,681.21	0.00	338.30	128,251.63
82-83	2,899.07	910.20	1,731.56	62.85	273.65	0.00	0.00	684.71	649.82	338.30	109,981.46
83-84	2,863.13	899.20	2,537.17	93.16	295.90	1,136.21	0.00	3,080.05	361.21	338.30	145,558.28
84-85	2,989.17	1,029.60	3,208.78	79.89	332.54	2,682.87	0.00	3,935.66	1,517.35	338.30	155,392.17
85-86	2,989.17	909.60	2,425.81	49.71	286.97	938.91	0.00	2,657.37	373.31	338.30	142,783.28
86-87	2,989.17	755.00	2,569.59	66.21	299.73	693.63	0.00	3,080.05	0.00	338.30	147,413.91
87-88	2,989.17	730.90	2,030.19	23.00	296.47	8.37	0.00	1,494.41	0.00	338.30	125,983.88
88-89	2,564.14	559.00	2,435.62	46.67	289.73	124.66	0.00	3,007.67	0.00	338.30	137,077.75
89-90	2,989.17	1,185.90	2,138.61	42.82	288.57	531.09	0.00	1,813.13	254.73	338.30	131,051.45
90-91	2,989.17	754.40	3,096.14	115.92	318.17	1,826.40	0.00	3,288.41	1,412.46	338.30	149,388.91
91-92	2,989.17	956.00	2,575.41	59.90	321.83	1,667.50	0.00	3,097.14	790.00	338.30	147,595.14
92-93	2,989.17	738.10	2,396.35	73.46	303.72	872.94	0.00	2,570.76	528.99	338.30	141,750.50
93-94	2,989.17	787.40	2,569.59	59.43	286.57	732.41	0.00	3,080.05	0.00	338.30	147,413.91
94-95	2,989.17	757.40	2,102.40	65.52	275.95	15.80	0.00	1,706.67	0.00	338.30	129,358.78
95-96	2,786.30	642.60	2,225.00	51.32	268.57	0.00	0.00	2,220.50	0.00	338.30	131,775.84
96-97	2,868.85	465.00	2,237.97	63.03	313.94	0.00	0.00	2,196.19	0.00	338.30	134,153.92
	2,702.86										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		24,061.30	73,194.23	1,849.28	8,746.45	13,652.72	21.42				4,152,421.

% de aprovechamiento: 68.96  
 % de derrames: 10.70  
 % de evaporación: 11.72  
 % de pérdidas: 8.17



Años con deficiencia: 1  
% déficit promedio: 0.01  
% déficit máximo: 0.01  
Demanda total: 164,402.38  
Oferta real: 73,194.23  
Extracción promedio: 2,217.36

Probabilidad de falla.....: 0.03  
Confiabilidad.....: 0.97  
Elasticidad.....: 1.00  
Vulnerabilidad.....: 21.42

## MAX ( $L_1 * L_2$ ):

\* Resultados del modelo de P.L.                    21:11:16            07-19-2010

33                    396

Indice de repetición: 1

\* Angostura:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            863.9

Volumen de almacenamiento mínimo:            22.8

\* Novillo:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            3026.57

Volumen de almacenamiento mínimo:            617

\* Oviáchic:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            2989.17

Volumen de almacenamiento mínimo:            700

\* Oviáchic:

Porcentaje de déficit mensual:            0

Porcentaje de déficit anual:            0

Porcentaje de déficit global:            0

Capacidad mensual de canales Angostura: 160

Capacidad mensual de canales Novillo: 473

Capacidad mensual de canales Oviáchic: 578

Extracción anual máxima: 3335.016

Extracción anual mínima: 1600

qP1( 1 ) = 0.0834

qP1( 2 ) = 0.0834

qP1( 3 ) = 0.0834

qP1( 4 ) = 0.0834

qP1( 5 ) = 0.0833

qP1( 6 ) = 0.0833

qP1( 7 ) = 0.0833

qP1( 8 ) = 0.0833

qP1( 9 ) = 0.0833

qP1( 10 ) = 0.0833

qP1( 11 ) = 0.0833

qP1( 12 ) = 0.0833

qP2( 1 ) = 0.0996

qP2( 2 ) = 0.0641

qP2( 3 ) = 0.0610

qP2( 4 ) = 0.0553

qP2( 5 ) = 0.0560

qP2( 6 ) = 0.0589

qP2( 7 ) = 0.0653

qP2( 8 ) = 0.0823  
 qP2( 9 ) = 0.1115  
 qP2( 10 ) = 0.1156  
 qP2( 11 ) = 0.1158  
 qP2( 12 ) = 0.1149

R(1,t) = 0 + .7910791 \*SP(1,1,t)  
 R(2,t) = 0 + 1.091461 \*SP(2,1,t) + 0 \*R(1,t)  
 R(3,t) = 1439.743 + 5.467789E-02 \*SP(3,1,t) + .1117784 \*R(2,t)

\* Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	VOL. COMP.
1964-65	28.24	353.50	22.34	33.69	177.29	110.00
1965-66	38.42	936.71	30.40	51.62	0.00	110.00
1966-67	783.12	303.22	619.51	56.36	272.46	110.00
1967-68	28.02	1,424.00	22.16	78.73	377.23	110.00
1968-69	863.90	268.40	683.41	57.21	199.54	110.00
1969-70	82.14	356.21	64.98	38.14	0.00	110.00
1970-71	225.23	219.90	178.18	42.54	0.00	110.00
1971-72	114.42	420.51	90.51	34.39	277.23	110.00
1972-73	22.80	921.30	18.04	76.50	11.29	110.00
1973-74	728.27	189.62	576.12	55.53	153.45	110.00
1974-75	22.80	360.50	18.04	32.87	50.87	110.00
1975-76	171.52	397.41	135.69	39.16	74.75	110.00
1976-77	209.33	458.72	165.60	46.86	0.00	110.00
1977-78	345.59	754.00	273.39	35.90	657.50	110.00
1978-79	22.80	1,118.00	18.04	97.59	70.69	110.00
1979-80	844.48	194.70	668.05	65.28	139.53	110.00
1980-81	56.32	519.30	44.55	39.21	0.00	110.00
1981-82	381.85	223.10	302.08	48.20	100.26	110.00
1982-83	44.42	1,016.00	35.14	72.80	41.13	110.00
1983-84	801.35	682.61	633.93	49.09	434.08	110.00
1984-85	256.86	1,126.00	203.20	59.07	747.22	110.00
1985-86	263.38	659.20	208.35	45.85	0.00	110.00
1986-87	558.37	471.40	441.72	41.80	321.64	110.00
1987-88	114.61	524.22	90.67	32.55	0.00	110.00
1988-89	405.61	295.20	320.87	38.66	173.53	110.00
1989-90	57.76	585.11	45.69	27.16	0.98	110.00
1990-91	459.04	828.40	363.13	64.31	9.10	110.00
1991-92	740.89	845.00	586.11	57.23	755.74	110.00
1992-93	76.82	1,080.51	60.77	68.73	53.93	110.00
1993-94	863.90	223.02	683.41	64.80	6.33	110.00
1994-95	222.37	881.10	175.92	65.80	0.00	110.00
1995-96	751.75	207.39	594.70	55.44	0.00	110.00
1996-97	199.01	128.60	157.43	31.94	0.00	110.00
	28.24					
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES	
		18,972.86	8,532.10	1,705.01	5,105.75	

\* Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. ANG.	DERR. ANG.	MWh2e	MWh2r	MWh2
-------	-----------	---------	---------	----------	----------	-----------	------------	-------	-------	------

1964-65	1,140.49	1,334.40	1,244.80	131.31	0.00	20.11	159.56	226,497.	5,506.	232,004.
1965-66	1,278.44	3,271.60	1,395.37	142.40	13.06	27.36	0.00	273,465.	23,986.	297,451.
1966-67	3,026.57	1,712.80	3,303.38	198.55	0.00	557.56	245.21	773,769.	18,315.	792,083.
1967-68	2,040.21	4,677.30	2,226.81	134.64	1,688.94	19.95	339.50	496,601.	25,541.	522,142.
1968-69	3,026.57	1,355.10	3,303.38	185.09	0.00	615.07	179.59	758,917.	38,218.	797,135.
1969-70	1,687.86	1,702.10	1,842.23	140.58	0.00	58.48	0.00	349,418.	20,479.	369,897.
1970-71	1,465.62	1,550.50	1,599.67	151.02	0.00	160.36	0.00	295,647.	17,145.	312,792.
1971-72	1,425.79	2,209.20	1,556.19	165.31	0.00	81.46	249.51	326,553.	11,442.	337,995.
1972-73	2,244.46	2,873.50	2,449.74	235.37	0.00	16.23	10.17	568,611.	33,941.	602,552.
1973-74	2,459.25	1,831.60	2,684.17	188.00	0.00	518.51	138.10	583,912.	21,053.	604,966.
1974-75	2,075.28	2,166.40	2,265.09	157.32	0.00	16.23	45.78	474,481.	17,972.	492,454.
1975-76	1,881.29	1,499.00	2,053.35	155.05	0.00	122.12	67.28	405,545.	18,388.	423,933.
1976-77	1,361.28	1,761.90	1,485.79	137.01	0.00	149.04	0.00	279,052.	13,357.	292,409.
1977-78	1,649.42	1,660.00	1,800.28	169.77	0.00	246.05	591.75	390,249.	15,641.	405,890.
1978-79	2,177.18	2,590.10	2,376.30	190.63	0.00	16.23	63.62	549,030.	34,172.	583,202.
1979-80	2,280.20	1,369.30	2,488.75	164.98	0.00	601.25	125.57	518,466.	27,151.	545,617.
1980-81	1,722.59	2,757.50	1,880.14	134.18	0.00	40.10	0.00	393,502.	22,408.	415,909.
1981-82	2,505.87	820.80	2,735.06	155.26	0.00	271.87	90.23	517,753.	68,147.	585,900.
1982-83	798.45	3,785.40	871.48	121.64	632.80	31.62	37.02	151,353.	38,333.	189,686.
1983-84	3,026.57	3,205.60	3,303.38	140.50	722.92	570.54	390.67	830,884.	8,166.	839,050.
1984-85	3,026.57	4,954.60	3,303.38	154.80	2,351.79	182.88	672.49	831,961.	21,970.	853,931.
1985-86	3,026.57	3,328.30	3,303.38	120.40	92.04	187.52	0.00	734,161.	49,987.	784,148.
1986-87	3,026.57	1,503.40	3,303.38	176.86	0.00	397.54	289.48	770,367.	37,618.	807,985.
1987-88	1,736.76	2,899.80	1,895.60	135.73	0.00	81.60	0.00	359,741.	33,692.	393,433.
1988-89	2,686.83	1,926.60	2,932.57	155.80	0.00	288.78	156.17	632,007.	34,909.	666,916.
1989-90	1,970.01	3,409.70	2,150.19	102.17	142.78	41.12	0.88	423,929.	42,617.	466,546.
1990-91	3,026.57	4,962.60	3,303.38	170.10	1,824.12	326.82	8.19	830,237.	6,438.	836,675.
1991-92	3,026.57	3,153.50	3,303.38	170.68	887.10	527.50	680.17	831,961.	19,377.	851,338.
1992-93	3,026.57	3,410.90	3,303.38	146.15	506.15	54.69	48.54	795,086.	31,406.	826,492.
1993-94	2,585.01	1,566.30	2,821.44	143.12	0.00	615.07	5.70	641,202.	20,607.	661,810.
1994-95	1,807.53	2,311.10	1,972.85	146.00	0.00	158.32	0.00	426,037.	38,914.	464,951.
1995-96	2,158.11	1,946.50	2,355.49	105.66	0.00	535.23	0.00	495,650.	17,696.	513,347.
1996-97	2,178.68	1,334.40	2,377.95	136.34	0.00	141.69	0.00	448,005.	38,442.	486,447.
	1,140.49									
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES					
		80,841.80	79,191.75	5,062.39	8,861.72			17,384,048.	873,036.	18,257,084.

\* Oviáchic

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. NOV.	DERR. NOV.	VOL. COMP.	MWh3
1964-65	2,497.76	493.90	1,715.46	310.52	0.00	1,120.32	0.00	338.30	103,259.
1965-66	1,747.70	561.30	1,691.28	254.63	0.00	1,255.83	11.75	338.30	88,360.
1966-67	1,292.38	421.50	1,879.66	205.35	1,530.20	2,973.04	0.00	338.30	93,324.
1967-68	733.42	1,011.80	1,728.75	198.87	2,078.47	2,004.13	1,520.05	338.30	76,206.
1968-69	925.01	784.50	1,859.57	164.25	49.58	2,973.04	0.00	338.30	89,064.
1969-70	2,270.85	702.10	1,769.83	261.55	0.00	1,658.01	0.00	338.30	104,997.
1970-71	2,261.28	571.30	1,742.19	265.41	382.78	1,439.70	0.00	338.30	101,801.
1971-72	1,543.61	687.40	1,698.09	232.22	167.50	1,400.57	0.00	338.30	86,445.
1972-73	1,195.47	772.70	1,778.94	205.69	0.00	2,204.76	0.00	338.30	86,520.
1973-74	1,850.00	683.20	1,840.93	270.88	659.26	2,415.76	0.00	338.30	99,265.
1974-75	1,839.59	728.90	1,793.52	249.15	219.77	2,038.58	0.00	338.30	99,849.
1975-76	2,006.33	520.30	1,778.97	291.06	0.00	1,848.01	0.00	338.30	102,448.
1976-77	1,966.32	516.60	1,713.34	242.59	0.00	1,337.21	0.00	338.30	96,466.
1977-78	1,525.91	433.80	1,724.41	227.57	1.93	1,620.25	0.00	338.30	86,715.

1978-79	1,287.75	799.90	1,775.77	218.95	70.59	2,138.67	0.00	338.30	87,479.
1979-80	1,822.70	945.50	1,817.59	357.83	996.93	2,239.88	0.00	338.30	98,591.
1980-81	1,497.42	744.70	1,731.78	348.06	414.29	1,692.13	0.00	338.30	86,848.
1981-82	1,101.83	601.60	1,805.71	220.22	651.40	2,461.55	0.00	338.30	85,497.
1982-83	1,149.36	910.20	1,600.00	236.17	314.38	784.33	569.52	338.30	76,514.
1983-84	924.56	899.20	1,859.54	213.43	2,336.16	2,973.04	650.63	338.30	91,612.
1984-85	700.00	1,029.60	1,847.26	235.43	3,264.27	2,973.04	2,116.61	338.30	83,594.
1985-86	1,133.99	909.60	1,870.99	234.23	1,622.45	2,973.04	82.84	338.30	89,309.
1986-87	1,033.49	755.00	1,865.50	245.37	140.37	2,973.04	0.00	338.30	90,849.
1987-88	2,171.99	730.90	1,770.39	340.26	656.68	1,706.04	0.00	338.30	99,595.
1988-89	1,503.31	559.00	1,849.74	299.98	0.00	2,639.31	0.00	338.30	99,360.
1989-90	2,213.60	1,185.90	1,801.12	330.09	1,985.91	1,935.17	128.50	338.30	104,531.
1990-91	1,007.75	754.40	1,864.09	197.36	3,277.15	2,973.04	1,641.71	338.30	82,489.
1991-92	700.00	956.00	1,847.26	229.00	2,312.87	2,973.04	798.39	338.30	78,475.
1992-93	700.00	738.10	1,847.26	218.44	1,403.00	2,973.04	455.54	338.30	79,978.
1993-94	1,059.68	787.40	1,813.06	233.78	0.00	2,539.29	0.00	338.30	86,451.
1994-95	2,001.23	757.40	1,769.69	277.04	0.00	1,775.56	0.00	338.30	102,378.
1995-96	2,149.16	642.60	1,820.55	306.89	0.00	2,119.94	0.00	338.30	106,074.
1996-97	2,445.97	465.00	1,839.29	375.77	0.00	2,140.15	0.00	338.30	109,620.
	2,497.76								
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES				
		24,061.30	59,111.53	8,498.07	24,535.94				3,053,963.

% de aprovechamiento: 59.66  
 % de derrames: 19.81  
 % de evaporación neta: 12.32  
 % de pérdidas entre presas: 8.21  
 Oferta total: 59,111.53  
 Extracción promedio: 1,791.26

SIMULACIÓN 21:41:54 07-19-2010

Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
64-65	28.24	353.50	22.34	4.46	29.88	0.00	0.00	110.00
65-66	223.98	936.71	177.19	20.12	64.79	0.00	0.00	110.00
66-67	828.84	303.22	655.67	3.45	71.86	0.00	0.00	110.00
67-68	297.97	1,424.00	235.72	21.65	80.18	491.83	0.00	110.00
68-69	825.88	268.40	653.34	7.28	66.92	0.00	0.00	110.00
69-70	271.31	356.21	214.62	8.43	46.96	0.00	0.00	110.00
70-71	264.36	219.90	209.13	3.90	35.75	0.00	0.00	110.00
71-72	133.28	372.61	105.43	6.46	42.96	0.00	0.00	110.00
72-73	253.95	1,011.40	200.90	13.95	78.49	61.60	0.00	110.00
73-74	828.32	189.62	655.27	5.96	67.86	0.00	0.00	110.00
74-75	190.78	360.50	150.92	9.02	44.16	0.00	0.00	110.00
75-76	255.21	397.41	201.89	8.75	47.76	0.00	0.00	110.00
76-77	301.72	458.72	238.69	8.44	51.01	0.00	0.00	110.00
77-78	369.19	754.00	292.06	11.52	79.30	0.00	0.00	110.00
78-79	653.35	1,118.00	516.85	19.33	89.07	453.68	0.00	110.00
79-80	621.09	194.70	491.33	8.29	62.20	0.00	0.00	110.00
80-81	160.54	519.30	127.00	10.66	45.22	0.00	0.00	110.00
81-82	408.28	223.10	322.98	4.91	51.52	0.00	0.00	110.00

82-83	151.80	1,016.00	120.08	15.36	71.69	17.49	0.00	110.00
83-84	863.90	682.61	683.41	17.68	70.52	53.37	0.00	110.00
84-85	646.89	1,126.00	511.74	23.42	77.11	378.61	0.00	110.00
85-86	718.85	659.20	568.67	16.43	63.63	0.00	0.00	110.00
86-87	652.18	471.40	515.93	12.65	61.62	0.00	0.00	110.00
87-88	448.69	524.22	354.95	9.10	47.10	0.00	0.00	110.00
88-89	469.96	295.20	371.78	9.34	49.06	0.00	0.00	110.00
89-90	243.67	585.11	192.76	11.99	36.92	0.00	0.00	110.00
90-91	501.09	828.40	396.40	15.62	64.41	0.00	0.00	110.00
91-92	774.30	845.00	612.53	17.53	70.16	235.52	0.00	110.00
92-93	608.62	1,080.51	481.47	14.41	72.87	202.79	0.00	110.00
93-94	836.42	223.02	661.67	10.41	60.73	0.00	0.00	110.00
94-95	237.45	881.10	187.84	25.50	71.04	0.00	0.00	110.00
95-96	775.16	207.39	613.22	9.04	54.43	0.00	0.00	110.00
96-97	213.95	128.60	169.25	3.67	24.91	0.00	0.00	110.00
	42.06							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		19,015.06	11,913.04	388.75	1,952.07	1,894.88	0.00	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
64-65	1,140.49	1,334.40	1,244.80	20.75	90.38	0.00	0.00	20.11	0.00	224,529.	6,191.
65-66	1,180.57	3,271.60	1,288.54	44.48	121.17	219.83	0.00	159.47	0.00	244,830.	32,832.
66-67	3,026.57	1,712.80	3,303.38	29.91	145.09	0.00	0.00	590.11	0.00	752,199.	25,091.
67-68	1,910.91	4,677.30	2,202.18	86.52	175.55	1,925.23	0.00	212.14	442.65	457,575.	96,465.
68-69	3,026.57	1,355.10	3,303.38	21.55	130.75	0.00	0.00	588.01	0.00	742,880.	40,235.
69-70	1,557.09	1,702.10	1,699.51	24.69	103.17	0.00	0.00	193.16	0.00	333,839.	11,972.
70-71	1,674.36	1,550.50	1,827.50	19.44	110.82	0.00	0.00	188.21	0.00	351,846.	18,029.
71-72	1,494.19	2,209.20	1,630.85	33.70	129.23	0.00	0.00	94.89	0.00	343,247.	11,122.
72-73	2,071.90	2,873.50	2,261.40	24.69	173.43	0.00	0.00	180.81	55.44	514,211.	46,964.
73-74	2,771.51	1,831.60	3,024.99	27.34	143.97	0.00	0.00	589.74	0.00	664,570.	26,040.
74-75	2,051.23	2,166.40	2,238.84	40.44	130.91	0.00	0.00	135.83	0.00	475,517.	17,301.
75-76	2,024.16	1,499.00	2,209.29	22.55	115.62	0.00	0.00	181.71	0.00	445,164.	19,290.
76-77	1,402.50	1,761.90	1,530.77	23.08	101.50	0.00	0.00	214.82	0.00	293,572.	14,391.
77-78	1,770.03	1,660.00	1,931.92	28.12	114.77	0.00	0.00	262.85	0.00	394,298.	15,054.
78-79	1,674.31	2,590.10	1,827.44	54.41	168.81	260.38	0.00	465.17	408.31	394,838.	59,114.
79-80	2,935.67	1,369.30	3,204.17	27.01	132.68	0.00	0.00	442.20	0.00	646,337.	66,160.
80-81	1,437.37	2,757.50	1,568.79	48.43	115.71	0.00	0.00	114.30	0.00	316,051.	27,713.
81-82	2,673.03	820.80	2,917.55	16.25	113.02	0.00	0.00	290.68	0.00	548,898.	82,020.
82-83	770.23	3,785.40	840.67	69.43	144.55	737.08	0.00	108.07	15.74	144,656.	50,389.
83-84	3,026.57	3,205.60	3,303.38	75.22	146.05	501.56	0.00	615.07	48.03	806,972.	23,694.
84-85	3,019.49	4,954.60	4,318.73	77.32	163.96	1,715.97	0.00	460.57	340.75	824,141.	111,786.
85-86	2,654.07	3,328.30	2,896.81	68.52	127.08	512.23	0.00	511.80	0.00	655,992.	37,052.
86-87	3,026.57	1,503.40	3,303.38	37.10	142.17	0.00	0.00	464.33	0.00	751,965.	45,529.
87-88	1,585.85	2,899.80	1,730.90	31.63	106.99	0.00	0.00	319.45	0.00	339,704.	26,822.
88-89	2,998.85	1,926.60	3,273.13	46.38	141.75	0.00	0.00	334.60	0.00	706,590.	51,087.
89-90	1,891.55	3,409.70	2,064.55	75.55	118.73	340.43	0.00	173.48	0.00	419,362.	35,980.
90-91	3,026.57	4,962.60	3,535.08	71.14	167.32	1,688.11	0.00	356.76	0.00	830,439.	11,358.
91-92	3,026.57	3,153.50	3,363.84	55.02	153.48	900.44	0.00	551.28	211.97	816,423.	35,151.
92-93	2,580.57	3,410.90	2,816.59	66.00	148.66	681.48	0.00	433.32	182.51	657,243.	52,517.
93-94	3,026.57	1,566.30	3,303.38	40.09	130.57	0.00	0.00	595.51	0.00	758,818.	36,331.
94-95	1,794.51	2,311.10	1,958.64	57.15	138.61	0.00	0.00	169.06	0.00	422,226.	41,686.
95-96	2,234.57	1,946.50	2,438.94	49.36	105.87	0.00	0.00	551.89	0.00	519,371.	19,099.
96-97	2,237.51	1,334.40	2,442.15	19.93	100.89	0.00	0.00	152.32	0.00	470,644.	36,306.

	1,201.12										
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		80,841.80	80,805.51	1,433.22	4,353.29	9,482.73	0.00			17,268,946.	1,230,773.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
64-65	2,497.76	493.90	1,701.54	26.13	222.80	0.00	0.00	1,120.32	0.00	338.30	102,340.20
65-66	1,875.47	561.30	1,671.92	30.55	179.61	0.00	0.00	1,159.69	197.85	338.30	88,723.73
66-67	1,635.03	421.50	1,861.47	52.12	194.10	0.00	0.00	2,973.04	0.00	338.30	92,036.73
67-68	2,687.83	1,011.80	1,942.28	91.34	298.79	1,937.09	0.00	1,981.97	1,732.70	338.30	110,831.10
68-69	2,989.17	784.50	1,935.51	98.16	250.85	1,331.05	0.00	2,973.04	0.00	338.30	121,558.34
69-70	2,989.17	702.10	1,774.16	67.90	256.51	24.70	0.00	1,529.56	0.00	338.30	114,016.88
70-71	2,895.06	571.30	1,781.89	52.43	253.21	0.00	0.00	1,644.75	0.00	338.30	112,953.13
71-72	2,790.14	687.40	1,756.37	39.86	250.55	0.00	0.00	1,467.76	0.00	338.30	110,404.95
72-73	2,639.94	772.70	1,811.59	70.15	255.63	123.37	0.00	2,035.26	0.00	338.30	110,439.40
73-74	2,989.17	683.20	1,907.50	37.89	285.27	912.52	0.00	2,722.49	0.00	338.30	120,249.38
74-75	2,989.17	728.90	1,828.41	56.05	263.43	369.76	0.00	2,014.96	0.00	338.30	116,552.84
75-76	2,989.17	520.30	1,825.44	42.49	279.79	107.62	0.00	1,988.36	0.00	338.30	116,413.90
76-77	2,989.17	516.60	1,757.18	68.95	263.45	8.88	0.00	1,377.69	0.00	338.30	113,223.48
77-78	2,584.60	433.80	1,775.42	36.39	234.76	0.00	0.00	1,738.72	0.00	338.30	107,386.59
78-79	2,445.04	799.90	1,757.27	67.08	255.75	0.00	0.00	1,644.70	234.34	338.30	104,155.84
79-80	2,839.73	945.50	1,917.35	52.00	383.99	1,092.16	0.00	2,883.75	0.00	338.30	119,368.02
80-81	2,989.17	744.70	1,761.01	44.26	376.64	0.00	0.00	1,411.91	0.00	338.30	113,380.06
81-82	2,714.10	601.60	1,881.65	82.55	299.67	515.25	0.00	2,625.79	0.00	338.30	115,713.38
82-83	2,989.17	910.20	1,687.76	66.18	284.80	85.50	0.00	756.61	663.37	338.30	109,515.73
83-84	2,989.17	899.20	1,935.51	98.99	308.02	1,840.82	0.00	2,973.04	451.41	338.30	121,558.34
84-85	2,989.17	1,029.60	2,700.32	81.91	337.53	3,166.59	0.00	3,886.86	1,544.37	338.30	126,332.54
85-86	2,989.17	909.60	1,973.61	52.70	301.71	1,424.64	0.00	2,607.13	461.01	338.30	119,646.66
86-87	2,989.17	755.00	1,935.51	71.67	315.62	1,210.28	0.00	2,973.04	0.00	338.30	121,558.34
87-88	2,989.17	730.90	1,777.31	24.35	308.59	27.97	0.00	1,557.81	0.00	338.30	114,164.48
88-89	2,850.06	559.00	1,924.86	53.58	325.57	830.56	0.00	2,945.82	0.00	338.30	119,809.16
89-90	2,989.17	1,185.90	1,810.88	44.83	301.59	944.44	0.00	1,858.10	306.39	338.30	115,733.35
90-91	2,989.17	754.40	2,519.29	120.79	325.16	2,401.13	0.00	3,181.57	1,519.30	338.30	122,647.79
91-92	2,989.17	956.00	1,941.59	61.04	326.89	2,248.12	0.00	3,027.46	810.40	338.30	121,842.64
92-93	2,989.17	738.10	1,886.54	76.10	316.22	1,421.41	0.00	2,534.93	613.33	338.30	119,269.45
93-94	2,989.17	787.40	1,935.51	62.58	303.76	1,245.46	0.00	2,973.04	0.00	338.30	121,558.34
94-95	2,989.17	757.40	1,800.23	70.08	287.65	164.08	0.00	1,762.78	0.00	338.30	115,235.35
95-96	2,989.17	642.60	1,848.54	57.26	290.91	417.16	0.00	2,195.05	0.00	338.30	117,493.71
96-97	2,989.17	465.00	1,848.87	69.03	332.80	212.00	0.00	2,197.94	0.00	338.30	117,508.84
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		24,061.30	62,174.26	2,027.37	9,471.62	24,062.53	0.00				3,773,622.

% de aprovechamiento: 60.24  
 % de derrames: 18.83  
 % de evaporación: 12.35  
 % de pérdidas: 8.15  
 Años con deficiencia: 0  
 % déficit promedio: 0.00  
 % déficit máximo: 0.00  
 Demanda total: 152,024.89  
 Oferta real: 62,174.26  
 Extracción promedio: 1,884.07

Probabilidad de falla.....: 0.00  
Confiabilidad.....: 1.00  
Elasticidad.....: 1.00  
Vulnerabilidad.....: 0.00  
Sumatoria de déficits.....: 0.00  
Sumatoria del cuadrado de los déficits: 0.00



## MAX (0.5\*L<sub>1</sub>+0.5\*L<sub>2</sub>):

\* Resultados del modelo de P.L.                    21:11:16            07-19-2010

33                    396

Indice de repetición: 1

\* Angostura:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            863.9

Volumen de almacenamiento mínimo:            22.8

\* Novillo:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            3026.57

Volumen de almacenamiento mínimo:            617

\* Oviáchic:

Volumen de almacenamiento inicial = Volumen de almacenamiento final

Volumen de almacenamiento máximo:            2989.17

Volumen de almacenamiento mínimo:            700

\* Oviáchic:

Porcentaje de déficit mensual:            0

Porcentaje de déficit anual:            0

Porcentaje de déficit global:            0

Capacidad mensual de canales Angostura: 160

Capacidad mensual de canales Novillo: 473

Capacidad mensual de canales Oviáchic: 578

Extracción anual máxima: 3335.016

Extracción anual mínima: 1600

qP1( 1 ) = 0.0834

qP1( 2 ) = 0.0834

qP1( 3 ) = 0.0834

qP1( 4 ) = 0.0834

qP1( 5 ) = 0.0833

qP1( 6 ) = 0.0833

qP1( 7 ) = 0.0833

qP1( 8 ) = 0.0833

qP1( 9 ) = 0.0833

qP1( 10 ) = 0.0833

qP1( 11 ) = 0.0833

qP1( 12 ) = 0.0833

qP2( 1 ) = 0.1042

qP2( 2 ) = 0.0671

qP2( 3 ) = 0.0619

qP2( 4 ) = 0.0555

qP2( 5 ) = 0.0553

qP2( 6 ) = 0.0582

qP2( 7 ) = 0.0643  
 qP2( 8 ) = 0.0804  
 qP2( 9 ) = 0.1088  
 qP2( 10 ) = 0.1145  
 qP2( 11 ) = 0.1158  
 qP2( 12 ) = 0.1140

R(1,t) = 0 + .7910791 \*SP(1,1,t)  
 R(2,t) = 1610.1 + 0 \*SP(2,1,t) + 2.05321 \*R(1,t)  
 R(3,t) = 80.89145 + .8941924 \*SP(3,1,t) + .1375203 \*R(2,t)

\* Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	VOL. COMP.
1964-65	28.24	353.50	22.34	35.30	99.88	110.00
1965-66	114.22	936.71	90.35	40.37	305.56	110.00
1966-67	504.64	303.22	399.21	65.47	0.00	110.00
1967-68	233.18	1,424.00	184.46	81.10	449.94	110.00
1968-69	831.68	268.40	657.92	70.48	65.21	110.00
1969-70	196.46	356.21	155.42	42.56	19.47	110.00
1970-71	225.23	219.90	178.18	42.54	0.00	110.00
1971-72	114.42	420.51	90.51	41.75	0.00	110.00
1972-73	292.66	921.30	231.52	87.27	18.98	110.00
1973-74	766.19	189.62	606.11	63.70	153.19	110.00
1974-75	22.80	360.50	18.04	35.76	15.17	110.00
1975-76	204.33	397.41	161.64	44.64	201.18	110.00
1976-77	84.28	458.72	66.67	41.00	0.00	110.00
1977-78	325.33	754.00	257.36	86.76	0.00	110.00
1978-79	625.21	1,118.00	494.59	93.14	431.53	110.00
1979-80	613.95	194.70	485.68	65.61	0.00	110.00
1980-81	147.36	519.30	116.57	43.59	0.00	110.00
1981-82	396.49	223.10	313.66	55.89	0.00	110.00
1982-83	140.05	1,016.00	110.79	72.43	61.49	110.00
1983-84	801.35	682.61	633.93	72.78	0.00	110.00
1984-85	667.25	1,126.00	527.85	74.09	388.65	110.00
1985-86	692.66	659.20	547.95	61.99	0.00	110.00
1986-87	631.92	471.40	499.90	62.88	0.00	110.00
1987-88	430.54	524.22	340.59	46.28	0.00	110.00
1988-89	457.89	295.20	362.23	47.86	0.00	110.00
1989-90	233.00	585.11	184.32	34.04	0.00	110.00
1990-91	489.75	828.40	387.43	65.90	0.00	110.00
1991-92	754.82	845.00	597.13	73.08	229.53	110.00
1992-93	590.09	1,080.51	466.80	79.60	185.97	110.00
1993-94	828.22	223.02	655.19	63.68	0.00	110.00
1994-95	222.37	881.10	175.92	65.80	0.00	110.00
1995-96	751.75	207.39	594.70	55.44	0.00	110.00
1996-97	199.01	128.60	157.43	31.94	0.00	110.00
	28.24					
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES	
		18,972.86	10,772.39	1,944.71	2,625.75	

\* Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. ANG.	DERR. ANG.	MWh2e	MWh2r	MWh2
1964-65	1,364.27	1,334.40	1,655.97	134.57	193.57	20.11	89.89	289,387.	17,099.	306,486.
1965-66	824.56	3,271.60	1,795.62	117.33	855.46	81.32	275.01	317,709.	23,407.	341,116.
1966-67	1,684.08	1,712.80	2,429.76	130.54	359.82	359.29	0.00	429,312.	42,549.	471,861.
1967-68	836.05	4,677.30	1,988.84	139.10	929.80	166.02	404.95	360,227.	107,135.	467,362.
1968-69	3,026.57	1,355.10	2,960.95	183.14	0.00	592.13	58.69	693,201.	23,532.	716,733.
1969-70	1,888.40	1,702.10	1,929.21	150.83	0.00	139.88	17.52	384,801.	19,751.	404,551.
1970-71	1,667.86	1,550.50	1,975.93	153.76	0.00	160.36	0.00	352,118.	34,371.	386,489.
1971-72	1,249.03	2,209.20	1,795.95	148.08	0.00	81.46	0.00	346,421.	15,896.	362,317.
1972-73	1,595.66	2,873.50	2,085.46	211.83	0.00	208.37	17.09	462,433.	28,367.	490,800.
1973-74	2,397.32	1,831.60	2,854.58	175.71	0.00	545.50	137.87	591,805.	32,996.	624,801.
1974-75	1,882.01	2,166.40	1,647.13	156.65	0.00	16.23	13.66	346,229.	17,614.	363,842.
1975-76	2,274.52	1,499.00	1,941.98	177.20	0.00	145.48	181.06	410,128.	22,173.	432,301.
1976-77	1,980.88	1,761.90	1,747.00	161.96	0.00	60.01	0.00	354,675.	20,705.	375,380.
1977-78	1,893.82	1,660.00	2,138.51	151.92	0.00	231.62	0.00	432,671.	16,286.	448,957.
1978-79	1,495.02	2,590.10	2,625.60	178.63	0.00	445.13	388.38	589,883.	34,407.	624,291.
1979-80	2,114.39	1,369.30	2,607.31	143.78	0.00	437.11	0.00	474,810.	48,863.	523,673.
1980-81	1,169.72	2,757.50	1,849.45	111.12	0.00	104.91	0.00	356,099.	15,568.	371,667.
1981-82	2,071.57	820.80	2,254.10	141.12	0.00	282.29	0.00	417,184.	45,474.	462,658.
1982-83	779.44	3,785.40	1,837.58	135.88	1,226.19	99.71	55.34	329,349.	61,240.	390,588.
1983-84	1,520.23	3,205.60	2,911.69	103.01	286.56	570.54	0.00	575,937.	54,334.	630,271.
1984-85	1,995.10	4,954.60	2,693.89	150.31	1,906.56	475.06	349.78	646,577.	33,779.	680,356.
1985-86	3,023.79	3,328.30	2,735.16	132.68	950.84	493.16	0.00	579,210.	74,919.	654,128.
1986-87	3,026.57	1,503.40	2,636.50	180.31	41.72	449.91	0.00	637,101.	18,386.	655,487.
1987-88	2,121.35	2,899.80	2,309.40	151.27	0.00	306.53	0.00	461,638.	44,876.	506,514.
1988-89	2,867.01	1,926.60	2,353.83	169.29	1,060.69	326.00	0.00	544,642.	17,321.	561,964.
1989-90	1,535.80	3,409.70	1,988.55	93.60	834.38	165.89	0.00	354,559.	39,256.	393,815.
1990-91	2,194.86	4,962.60	2,405.58	166.02	1,907.98	348.69	0.00	584,534.	12,421.	596,955.
1991-92	3,026.57	3,153.50	2,836.12	167.09	1,063.03	537.41	206.58	705,105.	15,378.	720,483.
1992-93	2,857.81	3,410.90	2,568.55	149.23	1,111.86	420.12	167.37	637,650.	16,519.	654,169.
1993-94	3,026.57	1,566.30	2,955.34	156.60	0.00	589.67	0.00	700,686.	22,009.	722,695.
1994-95	2,070.60	2,311.10	1,971.29	155.45	0.00	158.32	0.00	463,049.	15,863.	478,912.
1995-96	2,413.29	1,946.50	2,831.14	109.68	0.00	535.23	0.00	578,108.	38,763.	616,871.
1996-97	1,954.20	1,334.40	1,933.34	132.68	0.00	141.69	0.00	371,467.	25,487.	396,954.
	1,364.27									
		ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES					
		80,841.80	75,251.30	4,920.38	12,728.47			15,778,704.	1,056,744.	16,835,448.

\* Oviáchic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	ENTRADA	EXTRAC.	EV. NETA	DERRAMES	EXT. NOV.	DERR. NOV.	VOL. COMP.	MWh3
1964-65	1,444.19	493.90	1,600.00	241.66	0.00	1,490.37	174.21	338.30	81,132.
1965-66	1,422.71	561.30	1,600.00	246.58	0.00	1,616.06	769.91	338.30	80,814.
1966-67	2,185.09	421.50	2,368.93	239.28	0.00	2,186.78	323.84	338.30	113,025.
1967-68	2,170.71	1,011.80	2,295.43	266.14	0.00	1,789.96	836.82	338.30	115,488.
1968-69	2,909.42	784.50	3,089.66	229.45	0.00	2,664.85	0.00	338.30	135,844.
1969-70	2,701.36	702.10	2,761.74	255.25	0.00	1,736.29	0.00	338.30	121,401.
1970-71	1,784.46	571.30	1,948.27	234.55	0.00	1,778.34	0.00	338.30	99,329.
1971-72	1,612.97	687.40	1,770.18	242.70	0.00	1,616.35	0.00	338.30	93,115.
1972-73	1,565.54	772.70	1,767.58	224.76	0.00	1,876.91	0.00	338.30	95,054.

1973-74	1,884.51	683.20	2,158.57	288.80	0.00	2,569.12	0.00	338.30	110,718.
1974-75	2,351.16	728.90	2,409.80	250.95	0.00	1,482.42	0.00	338.30	112,036.
1975-76	1,563.43	520.30	1,745.96	253.61	0.00	1,747.78	0.00	338.30	92,723.
1976-77	1,493.65	516.60	1,656.74	217.52	0.00	1,572.30	0.00	338.30	84,958.
1977-78	1,369.97	433.80	1,600.00	232.32	0.00	1,924.66	0.00	338.30	82,975.
1978-79	1,557.82	799.90	1,834.95	248.16	0.00	2,363.04	0.00	338.30	99,972.
1979-80	2,299.35	945.50	2,495.51	397.30	0.00	2,346.58	0.00	338.30	118,271.
1980-81	2,360.31	744.70	2,445.80	406.71	0.00	1,664.50	0.00	338.30	112,950.
1981-82	1,578.70	601.60	1,802.54	249.03	0.00	2,028.69	0.00	338.30	96,845.
1982-83	1,819.12	910.20	1,960.24	271.18	0.00	1,653.82	1,103.58	338.30	101,924.
1983-84	2,916.99	899.20	3,089.66	302.59	13.58	2,620.52	257.91	338.30	136,097.
1984-85	2,950.49	1,029.60	3,089.66	396.64	1,351.75	2,424.50	1,715.91	338.30	142,496.
1985-86	2,944.14	909.60	3,089.66	350.30	433.56	2,461.65	855.75	338.30	138,723.
1986-87	2,959.32	755.00	3,089.66	340.55	0.00	2,372.85	37.55	338.30	133,459.
1987-88	2,356.20	730.90	2,505.38	352.68	0.00	2,078.46	0.00	338.30	116,947.
1988-89	1,969.20	559.00	2,165.44	309.05	0.00	2,118.45	954.62	338.30	107,820.
1989-90	2,788.49	1,185.90	2,847.80	339.76	0.00	1,789.70	750.94	338.30	125,981.
1990-91	2,989.17	754.40	3,084.60	299.53	974.73	2,165.02	1,717.18	338.30	134,099.
1991-92	2,928.61	956.00	3,089.66	393.66	602.47	2,552.51	956.73	338.30	141,295.
1992-93	2,969.77	738.10	3,089.66	357.31	324.69	2,311.69	1,000.67	338.30	140,385.
1993-94	2,910.28	787.40	3,089.66	326.12	0.00	2,659.80	0.00	338.30	134,377.
1994-95	2,603.41	757.40	2,679.93	287.95	0.00	1,774.16	0.00	338.30	120,402.
1995-96	1,828.79	642.60	2,105.52	282.93	0.00	2,548.02	0.00	338.30	108,093.
1996-97	2,292.67	465.00	2,396.85	318.34	0.00	1,740.00	0.00	338.30	111,752.
	1,444.19								
	ENTRADA	EXTRAC.	EVAPORA.	DERRAMES					
	24,061.30	78,725.05	9,653.35	3,700.78					3,740,499.

% de aprovechamiento: 75.49  
 % de derrames: 2.99  
 % de evaporación neta: 13.33  
 % de pérdidas entre presas: 8.18  
 Oferta total: 78,725.05  
 Extracción promedio: 2,385.61

SIMULACIÓN 22:16:57 07-19-2010

Angostura

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Ocuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
64-65	28.24	353.50	22.34	4.46	29.88	0.00	0.00	110.00
65-66	223.98	936.71	177.19	20.12	64.79	0.00	0.00	110.00
66-67	828.84	303.22	655.67	3.45	71.86	0.00	0.00	110.00
67-68	297.97	1,424.00	235.72	21.65	80.18	491.83	0.00	110.00
68-69	825.88	268.40	653.34	7.28	66.92	0.00	0.00	110.00
69-70	271.31	356.21	214.62	8.43	46.96	0.00	0.00	110.00
70-71	264.36	219.90	209.13	3.90	35.75	0.00	0.00	110.00
71-72	133.28	372.61	105.43	6.46	42.96	0.00	0.00	110.00
72-73	253.95	1,011.40	200.90	13.95	78.49	61.60	0.00	110.00
73-74	828.32	189.62	655.27	5.96	67.86	0.00	0.00	110.00
74-75	190.78	360.50	150.92	9.02	44.16	0.00	0.00	110.00

75-76	255.21	397.41	201.89	8.75	47.76	0.00	0.00	110.00
76-77	301.72	458.72	238.69	8.44	51.01	0.00	0.00	110.00
77-78	369.19	754.00	292.06	11.52	79.30	0.00	0.00	110.00
78-79	653.35	1,118.00	516.85	19.33	89.07	453.68	0.00	110.00
79-80	621.09	194.70	491.33	8.29	62.20	0.00	0.00	110.00
80-81	160.54	519.30	127.00	10.66	45.22	0.00	0.00	110.00
81-82	408.28	223.10	322.98	4.91	51.52	0.00	0.00	110.00
82-83	151.80	1,016.00	120.08	15.36	71.69	17.49	0.00	110.00
83-84	863.90	682.61	683.41	17.68	70.52	53.37	0.00	110.00
84-85	646.89	1,126.00	511.74	23.42	77.11	378.61	0.00	110.00
85-86	718.85	659.20	568.67	16.43	63.63	0.00	0.00	110.00
86-87	652.18	471.40	515.93	12.65	61.62	0.00	0.00	110.00
87-88	448.69	524.22	354.95	9.10	47.10	0.00	0.00	110.00
88-89	469.96	295.20	371.78	9.34	49.06	0.00	0.00	110.00
89-90	243.67	585.11	192.76	11.99	36.92	0.00	0.00	110.00
90-91	501.09	828.40	396.40	15.62	64.41	0.00	0.00	110.00
91-92	774.30	845.00	612.53	17.53	70.16	235.52	0.00	110.00
92-93	608.62	1,080.51	481.47	14.41	72.87	202.79	0.00	110.00
93-94	836.42	223.02	661.67	10.41	60.73	0.00	0.00	110.00
94-95	237.45	881.10	187.84	25.50	71.04	0.00	0.00	110.00
95-96	775.16	207.39	613.22	9.04	54.43	0.00	0.00	110.00
96-97	213.95	128.60	169.25	3.67	24.91	0.00	0.00	110.00
	42.06							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		19,015.06	11,913.04	388.75	1,952.07	1,894.88	0.00	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
64-65	1,364.27	1,334.40	1,651.38	19.75	93.00	0.00	27.19	20.11	0.00	0.	275,240.
65-66	1,021.34	3,271.60	1,937.53	34.66	97.20	0.00	0.00	159.47	0.00	345,574.	32,888.
66-67	2,452.34	1,712.80	2,821.71	27.60	127.49	0.00	0.00	590.11	0.00	595,286.	39,273.
67-68	1,833.64	4,677.30	2,158.62	85.79	173.88	1,892.46	0.00	212.14	442.65	464,011.	77,050.
68-69	3,026.57	1,355.10	2,817.40	23.56	138.86	0.00	0.00	588.01	0.00	667,067.	21,511.
69-70	2,036.98	1,702.10	2,006.70	28.34	120.20	0.00	0.00	193.16	0.00	413,147.	20,892.
70-71	1,833.68	1,550.50	1,996.54	19.74	114.85	0.00	0.00	188.21	0.00	381,508.	28,451.
71-72	1,480.74	2,209.20	1,804.93	32.03	124.37	0.00	0.00	94.89	0.00	366,766.	18,130.
72-73	1,887.56	2,873.50	1,981.33	23.68	169.19	0.00	0.00	180.81	55.44	451,341.	36,872.
73-74	2,870.46	1,831.60	2,820.96	29.97	152.82	0.00	0.00	589.74	0.00	627,123.	35,071.
74-75	2,347.99	2,166.40	1,888.98	48.21	151.82	0.00	0.00	135.83	0.00	422,212.	22,924.
75-76	2,657.62	1,499.00	1,983.18	30.57	151.23	0.00	0.00	181.71	0.00	443,972.	24,241.
76-77	2,234.49	1,761.90	2,051.17	29.06	131.92	0.00	0.00	214.82	0.00	432,548.	25,224.
77-78	2,057.18	1,660.00	2,149.79	29.95	123.92	0.00	0.00	262.85	0.00	449,630.	19,593.
78-79	1,736.27	2,590.10	2,565.19	51.16	162.54	55.14	0.00	465.17	408.31	570,290.	54,730.
79-80	2,468.15	1,369.30	2,518.02	27.54	124.50	0.00	0.00	442.20	0.00	520,549.	31,169.
80-81	1,664.66	2,757.50	1,844.79	49.20	120.60	0.00	0.00	114.30	0.00	382,941.	27,038.
81-82	2,620.28	820.80	2,206.93	19.53	123.01	0.00	0.00	290.68	0.00	476,535.	27,816.
82-83	1,421.36	3,785.40	1,832.00	72.51	157.51	387.00	0.00	108.07	15.74	377,161.	62,421.
83-84	3,026.57	3,205.60	2,872.97	78.84	149.24	925.33	0.00	615.07	48.03	697,487.	32,021.
84-85	3,026.57	4,954.60	3,830.97	80.92	167.38	1,838.48	0.00	460.57	340.75	635,352.	142,900.
85-86	3,026.57	3,328.30	2,660.94	78.54	144.03	1,113.67	0.00	511.80	0.00	627,046.	39,123.
86-87	3,026.57	1,503.40	2,563.47	41.53	151.05	77.24	0.00	464.33	0.00	625,992.	15,668.
87-88	2,244.08	2,899.80	2,266.00	35.67	127.42	79.01	0.00	319.45	0.00	471,544.	40,661.
88-89	3,026.57	1,926.60	2,297.10	56.28	160.05	0.00	0.00	334.60	0.00	546,010.	22,143.

89-90	2,886.90	3,409.70	2,388.42	97.71	165.13	987.66	0.00	173.48	0.00	458,826.	69,226.
90-91	3,026.57	4,962.60	3,015.46	74.60	170.88	2,207.62	0.00	356.76	0.00	581,686.	79,084.
91-92	3,026.57	3,153.50	2,915.91	56.89	156.69	987.76	0.00	551.28	211.97	681,653.	66,135.
92-93	2,939.85	3,410.90	2,499.80	69.74	153.94	1,356.01	0.00	433.32	182.51	618,703.	20,775.
93-94	3,026.57	1,566.30	2,832.80	43.53	137.40	0.00	0.00	595.51	0.00	679,075.	22,064.
94-95	2,261.70	2,311.10	1,957.22	65.16	156.74	55.93	0.00	169.06	0.00	471,692.	14,870.
95-96	2,637.14	1,946.50	2,743.26	52.84	116.32	0.00	0.00	551.89	0.00	595,080.	33,003.
96-97	2,328.79	1,334.40	1,922.85	24.16	113.65	0.00	0.00	152.32	0.00	406,356.	20,132.
	1,803.17										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		80,841.80	77,804.33	1,539.25	4,628.83	11,963.31	27.19			16,484,161.	1,498,342.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
64-65	1,444.19	493.90	1,573.30	17.62	152.54	0.00	0.00	1,461.77	0.00	338.30	76,364.80
65-66	1,353.35	561.30	1,530.85	29.01	162.28	0.00	0.00	1,743.77	0.00	338.30	72,757.26
66-67	1,656.00	421.50	1,910.91	46.93	179.83	0.00	0.00	2,539.54	0.00	338.30	93,940.64
67-68	2,234.93	1,011.80	2,346.52	81.50	257.79	1,042.42	0.00	1,942.76	1,703.21	338.30	124,147.16
68-69	2,989.17	784.50	3,102.49	80.47	211.37	67.16	0.00	2,535.66	0.00	338.30	161,708.20
69-70	2,670.48	702.10	2,717.18	50.85	204.64	0.00	0.00	1,806.03	0.00	338.30	147,391.00
70-71	1,969.34	571.30	2,088.97	33.25	175.81	0.00	0.00	1,796.89	0.00	338.30	107,322.20
71-72	1,767.70	687.40	1,884.95	25.34	172.17	0.00	0.00	1,624.44	0.00	338.30	95,407.42
72-73	1,709.46	772.70	1,854.71	46.12	176.41	0.00	0.00	1,783.20	0.00	338.30	92,733.75
73-74	1,942.06	683.20	2,166.61	27.62	208.38	0.00	0.00	2,538.87	0.00	338.30	110,796.57
74-75	2,478.45	728.90	2,530.90	36.99	195.50	0.00	0.00	1,700.09	0.00	338.30	137,676.47
75-76	1,879.73	520.30	2,007.19	25.73	185.97	0.00	0.00	1,784.86	0.00	338.30	102,095.28
76-77	1,679.17	516.60	1,836.26	43.04	174.77	0.00	0.00	1,846.05	0.00	338.30	91,214.27
77-78	1,735.53	433.80	1,898.87	24.75	169.67	0.00	0.00	1,934.81	0.00	338.30	94,869.45
78-79	1,722.06	799.90	1,938.23	53.37	203.35	0.00	0.00	2,308.67	49.63	338.30	96,709.03
79-80	2,453.75	945.50	2,586.66	39.71	293.09	0.00	0.00	2,266.22	0.00	338.30	139,995.67
80-81	2,487.13	744.70	2,533.19	29.86	289.54	0.00	0.00	1,660.31	0.00	338.30	137,642.98
81-82	1,760.98	601.60	1,928.69	55.20	201.09	0.00	0.00	1,986.24	0.00	338.30	97,234.47
82-83	1,935.93	910.20	2,038.73	48.41	207.75	0.00	0.00	1,648.80	348.30	338.30	104,490.41
83-84	2,306.87	899.20	2,499.26	84.26	272.64	609.43	0.00	2,585.67	832.80	338.30	136,718.06
84-85	2,989.17	1,029.60	3,529.53	77.95	326.09	2,016.14	0.00	3,447.87	1,654.64	338.30	164,560.23
85-86	2,989.17	909.60	3,083.12	43.29	257.50	671.12	0.00	2,394.85	1,002.31	338.30	161,255.64
86-87	2,989.17	755.00	3,071.06	54.14	267.38	35.07	0.00	2,307.13	69.51	338.30	160,973.73
87-88	2,463.15	730.90	2,563.88	17.80	243.96	0.00	0.00	2,039.40	71.10	338.30	138,889.94
88-89	2,176.21	559.00	2,311.15	34.21	228.12	0.00	0.00	2,067.39	0.00	338.30	121,705.87
89-90	1,959.24	1,185.90	2,128.44	31.98	209.85	549.83	0.00	2,149.58	888.90	338.30	108,944.75
90-91	2,989.17	754.40	3,612.03	106.26	300.24	1,318.70	0.00	2,713.91	1,986.86	338.30	162,281.08
91-92	2,989.17	956.00	3,114.68	57.32	311.31	762.32	0.00	2,624.32	888.98	338.30	161,993.13
92-93	2,989.17	738.10	3,063.18	71.80	298.75	579.90	0.00	2,249.82	1,220.41	338.30	160,789.56
93-94	2,989.17	787.40	3,104.39	53.09	253.43	65.68	0.00	2,549.52	0.00	338.30	161,752.75
94-95	2,617.38	757.40	2,663.57	50.52	228.03	0.00	0.00	1,761.49	50.33	338.30	144,867.75
95-96	2,007.22	642.60	2,215.26	39.88	216.05	0.00	0.00	2,468.93	0.00	338.30	114,250.30
96-97	2,389.03	465.00	2,455.13	43.00	239.03	0.00	0.00	1,730.57	0.00	338.30	132,540.00
	1,595.13										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		24,061.30	79,889.88	1,561.29	7,474.32	7,717.77	0.00				4,116,020.

% de aprovechamiento: 74.32  
 % de derrames: 6.06  
 % de evaporación: 11.03

% de pérdidas: 8.13  
Años con deficiencia: 0  
% déficit promedio: 0.00  
% déficit máximo: 0.00  
Demanda total: 166,163.64  
Oferta real: 79,889.88  
Extracción promedio: 2,420.91

Probabilidad de falla.....: 0.00  
Confiabilidad.....: 1.00  
Elasticidad.....: 1.00  
Vulnerabilidad.....: 0.00  
Sumatoria de déficits.....: 0.00  
Sumatoria del cuadrado de los déficits: 0.00

## **APÉNDICE D**

**Resultados aplicando el método de conjuntos difusos. Ciclos 1997-98, 1998-99, 1999-00, 2000-01, 2001-02, 2002-03 y 2003-04.**



## 1997-98

### MAX L:

IR = 0.7

qP2( 1 ) = 0.1013  
qP2( 2 ) = 0.0650  
qP2( 3 ) = 0.0627  
qP2( 4 ) = 0.0555  
qP2( 5 ) = 0.0562  
qP2( 6 ) = 0.0591  
qP2( 7 ) = 0.0657  
qP2( 8 ) = 0.0824  
qP2( 9 ) = 0.1114  
qP2( 10 ) = 0.1155  
qP2( 11 ) = 0.1144  
qP2( 12 ) = 0.1108

R(1,t) = 0 + .7910791 \*SP(1,1,t)  
R(2,t) = 0 + 1.130743 \*SP(2,1,t) + 0 \*R(1,t)  
R(3,t) = 752.745 + .2572878 \*SP(3,1,t) + .340181 \*R(2,t)

SIMULACIÓN 12:13:25 08-03-2007

SIMULACIÓN 15:20:11 07-20-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/97	351.04	5.10	23.16	0.29	3.17	0.00	0.00	7.89
NOV/97	322.21	17.40	23.16	0.98	1.64	0.00	0.00	9.08
DIC/97	306.71	98.00	23.16	2.75	1.18	0.00	0.00	9.32
ENE/98	373.80	66.90	23.16	0.06	1.74	0.00	0.00	9.73
FEB/98	406.13	106.00	23.13	1.15	1.86	0.00	0.00	10.43
MAR/98	477.87	86.90	23.13	0.11	3.41	0.00	0.00	11.85
ABR/98	526.50	47.10	23.13	0.00	5.60	0.00	0.00	9.07
MAY/98	535.79	16.90	23.13	0.00	7.37	0.00	0.00	8.62
JUN/98	513.57	0.01	23.13	1.11	7.53	0.00	0.00	7.72
JUL/98	476.30	46.20	23.13	3.54	4.72	0.00	0.00	8.87
AGO/98	489.32	57.40	23.13	4.85	5.07	0.00	0.00	9.11
SEP/98	514.25	6.30	23.13	2.69	4.18	0.00	0.00	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
97-98	351.04 487.62	554.21	277.70	17.53	47.46	0.00	0.00	110.00

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS
		554.21	277.70	17.53	47.46	0.00	0.00

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/97	1,351.99	86.30	157.92	1.41	3.80	0.00	0.00	20.84	0.00	269.77	30,089.	376.
NOV/97	1,298.82	56.30	100.74	3.65	4.82	0.00	0.00	20.84	0.00	268.85	19,278.	0.
DIC/97	1,274.05	354.70	93.41	4.22	9.30	0.00	0.00	20.84	0.00	268.41	18,311.	10.
ENE/98	1,551.10	141.80	84.23	0.00	9.96	0.00	0.00	20.84	0.00	273.03	16,729.	339.
FEB/98	1,619.55	134.30	84.08	4.20	14.14	0.00	0.00	20.82	0.00	274.08	16,934.	293.
MAR/98	1,680.64	111.50	88.82	1.15	16.26	0.00	0.00	20.82	0.00	275.00	17,813.	521.
ABR/98	1,709.02	42.90	99.22	0.00	14.26	0.00	0.00	20.82	0.00	275.42	19,630.	814.
MAY/98	1,659.27	6.70	124.59	0.00	10.54	0.00	0.00	20.82	0.00	274.68	24,142.	1,192.
JUN/98	1,551.66	34.30	167.25	4.58	8.61	0.00	0.00	20.82	0.00	273.04	31,291.	2,044.
JUL/98	1,435.50	253.50	175.35	8.83	8.23	0.00	0.00	20.82	0.00	271.17	32,463.	2,435.
AGO/98	1,535.07	491.00	178.25	7.53	5.45	0.00	0.00	20.82	0.00	272.78	33,429.	3,380.
SEP/98	1,870.72	116.60	174.89	5.58	4.25	0.00	0.00	20.82	0.00	277.71	32,814.	4,188.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
97-98	1,351.99 1,834.58	1,829.90	1,528.75	41.14	109.63	0.00	0.00	249.93	0.00	292,924.	15,591.
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			292,924.	15,591.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/97	1,175.60	17.10	95.30	0.56	8.63	0.00	0.00	142.13	0.00	24.42	91.18	5,920.
NOV/97	1,207.04	6.70	230.82	0.00	9.85	0.00	0.00	90.67	0.00	41.30	91.18	7,201.
DIC/97	1,022.44	59.00	135.93	0.24	14.63	0.00	0.00	84.07	0.00	45.58	91.18	7,531.
ENE/98	969.61	0.01	166.27	0.67	14.81	0.00	0.00	75.81	0.00	53.79	91.18	8,143.
FEB/98	811.24	67.80	212.78	1.47	18.12	0.00	0.00	75.67	0.00	55.06	91.18	8,239.
MAR/98	670.21	27.10	275.86	1.15	14.60	0.00	161.11	79.94	0.00	49.05	91.18	7,774.
ABR/98	600.00	47.50	112.27	4.58	15.42	0.00	4.13	89.29	0.00	17.83	91.18	5,419.
MAY/98	600.00	3.80	49.05	13.16	11.55	0.00	0.00	112.13	0.00	16.01	91.18	5,275.
JUN/98	652.48	36.20	33.68	2.57	11.62	0.00	0.00	150.52	0.00	10.68	91.18	4,873.
JUL/98	785.79	63.30	17.64	1.11	10.97	0.00	0.00	157.81	0.00	8.73	91.18	4,726.
AGO/98	970.67	85.00	4.01	3.22	8.69	0.00	0.00	160.43	0.00	8.03	91.18	4,673.
SEP/98	1,198.59	44.00	2.94	4.51	9.00	0.00	0.00	157.40	0.00	7.83	91.18	4,662.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
97-98	1,175.60 1,384.74	457.51	1,336.55	33.25	147.89	0.00	165.24	1,375.88	0.00	338.30	74,436.78
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				

457.51	1,336.55	33.25	147.89	0.00	165.24	74,437.
--------	----------	-------	--------	------	--------	---------

% de aprovechamiento:	55.21
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	10.40
% de pérdidas:	6.16
Años con deficiencia:	1
% déficit promedio:	5.26
% déficit máximo:	5.26
Demanda total:	3,143.00
Oferta real:	1,336.55
Extracción promedio:	1,171.31

## 1998-99

### MAX L:

IR = 0.8

qP2( 1 ) = 0.1003  
qP2( 2 ) = 0.0658  
qP2( 3 ) = 0.0636  
qP2( 4 ) = 0.0568  
qP2( 5 ) = 0.0556  
qP2( 6 ) = 0.0585  
qP2( 7 ) = 0.0648  
qP2( 8 ) = 0.0814  
qP2( 9 ) = 0.1089  
qP2( 10 ) = 0.1133  
qP2( 11 ) = 0.1186  
qP2( 12 ) = 0.1124

R(1,t) = 0 + .7868014 \*SP(1,1,t)  
R(2,t) = 141.0589 + 1.084394 \*SP(2,1,t) + 0 \*R(1,t)  
R(3,t) = 521.6157 + .3596508 \*SP(3,1,t) + .4239263 \*R(2,t)

SIMULACIÓN 17:05:11 07-20-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/98	487.62	5.90	32.00	0.68	3.94	0.00	0.00	7.89
NOV/98	450.38	4.30	32.00	0.61	2.21	0.00	0.00	9.08
DIC/98	412.00	3.20	32.00	0.00	1.76	0.00	0.00	9.32
ENE/99	372.13	3.10	32.00	0.00	2.27	0.00	0.00	9.73
FEB/99	331.23	2.90	31.96	0.00	2.58	0.00	0.00	10.43
MAR/99	289.17	0.30	31.96	0.00	3.43	0.00	0.00	11.85
ABR/99	242.23	0.01	31.96	0.00	3.99	0.00	0.00	9.07
MAY/99	197.21	0.01	31.96	0.00	4.67	0.00	0.00	8.62
JUN/99	151.98	0.01	31.96	0.37	3.49	0.00	0.00	7.72
JUL/99	109.18	128.10	31.96	1.62	2.24	0.00	0.00	8.87
AGO/99	195.84	204.50	31.96	1.55	3.19	0.00	0.00	9.11
SEP/99	357.63	42.90	31.96	1.52	4.06	0.00	0.00	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
98-99	487.62	395.23	383.66	6.35	37.82	0.00	0.00	110.00
	357.72							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	

395.23      383.66      6.35      37.82      0.00      0.00

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/98	1,834.58	57.20	213.05	1.72	4.67	0.00	0.00	28.80	0.00	277.21	39,509.	4,991.
NOV/98	1,704.58	21.50	137.20	3.13	4.18	0.00	0.00	28.80	0.00	275.35	25,314.	2,846.
DIC/98	1,616.62	26.50	129.75	0.00	5.62	0.00	0.00	28.80	0.00	274.04	24,044.	2,206.
ENE/99	1,536.56	24.50	117.60	0.00	12.15	0.00	0.00	28.80	0.00	272.80	21,967.	1,495.
FEB/99	1,460.11	25.20	118.88	0.00	15.61	0.00	0.00	28.76	0.00	271.58	22,236.	1,133.
MAR/99	1,379.58	14.90	125.06	0.00	14.63	0.00	0.00	28.76	0.00	270.24	23,390.	764.
ABR/99	1,283.55	5.10	138.69	0.00	8.51	0.00	0.00	28.76	0.00	268.58	25,775.	420.
MAY/99	1,170.21	6.70	174.49	0.00	10.60	0.00	0.00	28.76	0.00	266.51	31,700.	255.
JUN/99	1,020.58	8.30	235.20	2.16	6.39	0.00	0.00	28.76	0.00	263.57	41,087.	0.
JUL/99	818.22	649.70	246.49	7.15	7.23	0.00	0.00	28.76	0.00	259.12	42,625.	1,678.
AGO/99	1,250.11	630.30	248.63	10.47	6.14	0.00	0.00	28.76	0.00	267.98	43,895.	5,243.
SEP/99	1,664.88	306.50	245.43	5.67	6.24	0.00	0.00	28.76	0.00	274.76	43,087.	7,692.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
98-99	1,834.58 1,754.15	1,776.40	2,130.47	30.31	101.97	0.00	0.00	345.29	0.00	384,629.	28,724.
CICLO	VOL. INI.	1,776.40	2,130.47	30.31	101.97	0.00	0.00			384,629.	28,724.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/98	1,384.74	16.20	113.54	0.00	8.47	0.00	0.00	191.74	0.00	24.42	93.35	7,308.
NOV/98	1,446.25	32.90	263.01	3.20	8.74	0.00	0.00	123.48	0.00	41.30	93.35	8,695.
DIC/98	1,292.78	27.60	153.37	0.09	14.06	0.00	0.00	116.77	0.00	45.58	93.35	9,053.
ENE/99	1,224.24	6.10	190.70	0.00	18.77	0.00	0.00	105.84	0.00	53.79	93.35	9,716.
FEB/99	1,072.93	49.10	240.83	0.00	20.01	0.00	0.00	106.99	0.00	55.06	93.35	9,820.
MAR/99	913.12	35.80	312.36	1.50	19.59	0.00	0.00	112.55	0.00	49.05	93.35	9,316.
ABR/99	681.96	34.50	132.29	13.52	12.10	0.00	0.00	124.82	0.00	17.83	93.35	6,765.
MAY/99	692.60	18.90	67.31	8.43	14.53	0.00	0.00	157.04	0.00	16.01	93.35	6,609.
JUN/99	779.11	8.00	53.41	5.21	12.95	0.00	0.00	211.68	0.00	10.68	93.35	6,173.
JUL/99	926.96	93.40	27.49	0.08	14.17	0.00	0.00	221.85	0.00	8.73	93.35	6,014.
AGO/99	1,191.90	80.20	4.37	0.00	12.17	0.00	0.00	223.76	0.00	8.03	93.35	5,957.
SEP/99	1,471.28	23.70	2.97	0.22	9.58	0.00	0.00	220.89	0.00	7.83	93.35	5,944.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
98-99	1,384.74 1,695.71	426.40	1,561.66	32.26	165.14	0.00	0.00	1,917.42	0.00	338.30	91,370.26
CICLO	VOL. INI.	426.40	1,561.66	32.26	165.14	0.00	0.00				91,370.

% de aprovechamiento:	75.37
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	11.43
% de pérdidas:	9.43
Años con deficiencia:	0
% déficit promedio:	0.00
% déficit máximo:	0.00
Demanda total:	4,075.79
Oferta real:	1,561.66
Extracción promedio:	1,561.66

## 1999-2000

**MAX L:**

IR = 0.8

qP1( 1 ) = 0.0834  
qP1( 2 ) = 0.0834  
qP1( 3 ) = 0.0834  
qP1( 4 ) = 0.0834  
qP1( 5 ) = 0.0833  
qP1( 6 ) = 0.0833  
qP1( 7 ) = 0.0833  
qP1( 8 ) = 0.0833  
qP1( 9 ) = 0.0833  
qP1( 10 ) = 0.0833  
qP1( 11 ) = 0.0833  
qP1( 12 ) = 0.0833

qP2( 1 ) = 0.1204  
qP2( 2 ) = 0.0761  
qP2( 3 ) = 0.0645  
qP2( 4 ) = 0.0559  
qP2( 5 ) = 0.0535  
qP2( 6 ) = 0.0546  
qP2( 7 ) = 0.0594  
qP2( 8 ) = 0.0747  
qP2( 9 ) = 0.1012  
qP2( 10 ) = 0.1027  
qP2( 11 ) = 0.1374  
qP2( 12 ) = 0.0996

$R(1,t) = 0 + .7586724 * SP(1,1,t)$

$R(2,t) = 1110.011 + 0 * SP(2,1,t) + 3.323652 * R(1,t)$

$R(3,t) = 268.692 + .37235 * SP(3,1,t) + .4553467 * R(2,t)$

SIMULACIÓN 10:50:42 07-21-2010

Angostura

### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/99	357.72	1.10	23.47	0.10	3.86	0.00	0.00	7.89
NOV/99	323.70	0.80	23.47	0.00	2.85	0.00	0.00	9.08
DIC/99	289.10	0.50	23.47	0.10	1.68	0.00	0.00	9.32
ENE/00	255.22	4.30	23.47	0.00	1.94	0.00	0.00	9.73
FEB/00	224.38	3.40	23.45	0.01	2.22	0.00	0.00	10.43
MAR/00	191.71	0.90	23.45	0.22	2.51	0.00	0.00	11.85
ABR/00	155.03	0.01	23.45	0.00	3.47	0.00	0.00	9.07
MAY/00	119.05	0.01	23.45	0.04	3.48	0.00	0.00	8.62

JUN/00	83.56	0.01	23.45	0.46	1.83	0.00	0.00	7.72
JUL/00	51.03	63.80	23.45	0.98	1.77	0.00	0.00	8.87
AGO/00	81.72	84.00	23.45	1.62	2.13	0.00	0.00	9.11
SEP/00	132.65	13.50	23.45	0.49	2.42	0.00	0.00	8.31

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
99-00	357.72	172.33	281.45	4.02	30.16	0.00	0.00	110.00
	112.46							
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		172.33	281.45	4.02	30.16	0.00	0.00	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/99	1,754.15	33.00	193.23	0.00	7.02	0.00	0.00	21.13	0.00	276.07	35,117.	4,672.
NOV/99	1,608.03	16.30	124.57	0.00	7.86	0.00	0.00	21.13	0.00	273.91	22,500.	2,633.
DIC/99	1,513.02	28.10	115.44	0.40	10.91	0.00	0.00	21.13	0.00	272.43	21,371.	1,560.
ENE/00	1,436.29	30.10	103.84	0.00	13.09	0.00	0.00	21.13	0.00	271.19	19,525.	824.
FEB/00	1,370.58	29.10	105.17	0.00	15.92	0.00	0.00	21.10	0.00	270.09	19,764.	566.
MAR/00	1,299.69	20.80	111.07	1.50	14.83	0.00	0.00	21.10	0.00	268.86	20,790.	335.
ABR/00	1,217.19	13.80	124.00	0.00	8.71	0.00	0.00	21.10	0.00	267.38	22,910.	203.
MAY/00	1,119.38	8.00	155.57	0.00	7.65	0.00	0.00	21.10	0.00	265.54	28,176.	12.
JUN/00	985.26	78.20	208.26	6.36	7.25	0.00	0.00	21.10	0.00	262.83	36,519.	0.
JUL/00	875.42	398.90	218.91	5.23	8.89	0.00	0.00	21.10	0.00	260.44	37,887.	948.
AGO/00	1,072.85	274.00	223.09	7.84	6.70	0.00	0.00	21.10	0.00	264.62	39,015.	1,994.
SEP/00	1,145.99	98.00	218.91	5.60	5.24	0.00	0.00	21.10	0.00	266.05	38,297.	1,811.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
99-00	1,754.15	1,028.30	1,902.07	26.92	114.07	0.00	0.00	253.31	0.00	341,871.	15,559.
	1,046.54										
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			341,871.	15,559.
		1,028.30	1,902.07	26.92	114.07	0.00	0.00				

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/99	1,695.71	14.10	113.54	0.00	12.51	0.00	0.00	173.91	0.00	24.42	96.25	7,978.
NOV/99	1,733.25	48.40	263.01	0.00	13.14	0.00	0.00	112.12	0.00	41.30	96.25	9,493.
DIC/99	1,576.32	89.40	153.37	0.08	17.61	0.00	0.00	103.90	0.00	45.58	96.25	9,883.
ENE/00	1,553.13	44.50	190.70	0.00	24.01	0.00	0.00	93.46	0.00	53.79	96.25	10,607.
FEB/00	1,422.60	41.00	240.83	0.00	27.44	0.00	0.00	94.66	0.00	55.06	96.25	10,720.
MAR/00	1,234.93	48.50	312.36	2.22	23.95	0.00	0.00	99.96	0.00	49.05	96.25	10,171.
ABR/00	1,000.25	26.30	132.29	12.43	15.41	0.00	0.00	111.60	0.00	17.83	96.25	7,386.
MAY/00	985.06	0.01	67.31	13.57	16.37	0.00	0.00	140.02	0.00	16.01	96.25	7,215.
JUN/00	1,038.97	8.70	53.41	1.59	14.13	0.00	0.00	187.43	0.00	10.68	96.25	6,739.



JUL/00	1,158.47	34.20	27.49	2.07	17.34	0.00	0.00	197.02	0.00	8.73	96.25	6,566.
AGO/00	1,338.19	51.10	4.37	0.00	14.97	0.00	0.00	200.78	0.00	8.03	96.25	6,504.
SEP/00	1,562.69	34.80	2.97	0.00	12.17	0.00	0.00	197.02	0.00	7.83	96.25	6,490.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
99-00	1,695.71	441.01	1,561.66	31.96	209.03	0.00	0.00	1,711.86	0.00	338.30	99,751.81
	1,771.54										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		441.01	1,561.66	31.96	209.03	0.00	0.00				99,752.

% de aprovechamiento: 117.92  
 % de derrames: 0.00  
 % de evaporación: 20.72  
 % de pérdidas: 12.81  
 Años con deficiencia: 0  
 % déficit promedio: 0.00  
 % déficit máximo: 0.00  
 Demanda total: 3,745.19  
 Oferta real: 1,561.66  
 Extracción promedio: 1,561.66

## 2000-01

### MAX L:

IR = 0.7

qP2( 1 ) = 0.1204  
 qP2( 2 ) = 0.0761  
 qP2( 3 ) = 0.0645  
 qP2( 4 ) = 0.0559  
 qP2( 5 ) = 0.0535  
 qP2( 6 ) = 0.0546  
 qP2( 7 ) = 0.0594  
 qP2( 8 ) = 0.0747  
 qP2( 9 ) = 0.1012  
 qP2( 10 ) = 0.1027  
 qP2( 11 ) = 0.1374  
 qP2( 12 ) = 0.0996

$R(1,t) = 0 + .7586724 * SP(1,1,t)$   
 $R(2,t) = 1110.011 + 0 * SP(2,1,t) + 3.323652 * R(1,t)$   
 $R(3,t) = 268.692 + .37235 * SP(3,1,t) + .4553467 * R(2,t)$

SIMULACIÓN 11:02:43 07-21-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/00	112.46	69.40	7.38	2.01	1.44	0.00	0.00	7.89
NOV/00	167.17	110.60	7.38	0.73	1.17	0.00	0.00	9.08
DIC/00	260.87	17.80	7.38	0.00	1.45	0.00	0.00	9.32
ENE/01	260.52	22.60	7.38	1.21	1.29	0.00	0.00	9.73
FEB/01	265.93	79.80	7.37	0.45	1.74	0.00	0.00	10.43
MAR/01	326.64	19.10	7.37	0.16	3.14	0.00	0.00	11.85
ABR/01	323.54	6.60	7.37	0.05	4.58	0.00	0.00	9.07
MAY/01	309.16	0.01	7.37	0.11	5.56	0.00	0.00	8.62
JUN/01	287.73	0.01	7.37	0.19	5.40	0.00	0.00	7.72
JUL/01	267.45	66.80	7.37	3.42	3.90	0.00	0.00	8.87
AGO/01	317.53	114.60	7.37	0.85	4.74	0.00	0.00	9.11
SEP/01	411.75	19.00	7.37	0.98	4.93	0.00	0.00	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
00-01	112.46 411.12	526.32	88.48	10.16	39.34	0.00	0.00	110.00
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		526.32	88.48	10.16	39.34	0.00	0.00	

## Novillo

## RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/00	1,046.54	295.80	147.29	4.27	5.91	0.00	0.00	6.64	0.00	264.10	26,831.	327.
NOV/00	1,200.05	216.70	96.13	0.71	7.87	0.00	0.00	6.64	0.00	267.07	17,191.	1,098.
DIC/00	1,320.09	32.20	92.51	0.00	9.54	0.00	0.00	6.64	0.00	269.22	16,329.	1,381.
ENE/01	1,256.88	46.60	83.76	1.69	13.07	0.00	0.00	6.64	0.00	268.10	14,918.	936.
FEB/01	1,215.00	146.30	83.61	0.78	16.00	0.00	0.00	6.63	0.00	267.34	15,101.	746.
MAR/01	1,269.10	29.90	87.38	0.00	13.02	0.00	0.00	6.63	0.00	268.32	15,884.	659.
ABR/01	1,205.23	25.40	95.53	0.11	10.31	0.00	0.00	6.63	0.00	267.16	17,504.	303.
MAY/01	1,131.54	15.20	118.47	0.00	8.25	0.00	0.00	6.63	0.00	265.77	21,528.	86.
JUN/01	1,026.66	26.20	157.71	3.85	7.38	0.00	0.00	6.63	0.00	263.69	27,902.	0.
JUL/01	898.26	441.00	164.65	6.36	4.91	0.00	0.00	6.63	0.00	260.95	28,947.	758.
AGO/01	1,182.70	623.50	169.18	4.12	4.54	0.00	0.00	6.63	0.00	266.74	29,809.	3,324.
SEP/01	1,643.23	110.70	212.79	3.85	5.55	0.00	0.00	6.63	0.00	274.44	29,261.	13,926.

## RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
00-01	1,046.54 1,546.07	2,009.50	1,509.00	25.74	106.35	0.00	0.00	79.64	0.00	261,204.	23,544.
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			261,204.	23,544.
		2,009.50	1,509.00	25.74	106.35	0.00	0.00				

## Oviachic

## RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/00	1,771.54	131.40	95.30	0.00	12.16	0.00	0.00	132.56	0.00	24.42	96.90	7,224.
NOV/00	1,903.64	12.80	230.82	0.06	16.46	0.00	0.00	86.52	0.00	41.30	96.90	8,787.
DIC/00	1,714.43	40.20	135.93	0.63	17.55	0.00	0.00	83.26	0.00	45.58	96.90	9,190.
ENE/01	1,639.48	41.40	166.27	0.00	25.78	0.00	0.00	75.38	0.00	53.79	96.90	9,936.
FEB/01	1,510.43	44.30	212.78	0.00	28.70	0.00	0.00	75.25	0.00	55.06	96.90	10,053.
MAR/01	1,333.43	52.60	275.86	0.05	24.35	0.00	0.00	78.64	0.00	49.05	96.90	9,486.
ABR/01	1,115.46	24.80	112.27	8.00	22.08	0.00	0.00	85.98	0.00	17.83	96.90	6,613.
MAY/01	1,082.06	2.56	49.05	6.19	15.84	0.00	0.00	106.62	0.00	16.01	96.90	6,437.
JUN/01	1,116.53	0.01	33.68	0.40	16.79	0.00	0.00	141.94	0.00	10.68	96.90	5,946.
JUL/01	1,197.72	38.50	17.64	9.91	12.21	0.00	0.00	148.18	0.00	8.73	96.90	5,767.
AGO/01	1,355.73	62.60	4.01	0.00	10.21	0.00	0.00	152.26	0.00	8.03	96.90	5,703.
SEP/01	1,548.34	83.00	2.94	0.12	12.12	0.00	0.00	191.51	0.00	7.83	96.90	5,688.

## RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
00-01	1,771.54 1,800.07	534.17	1,336.55	25.36	214.24	0.00	0.00	1,358.10	0.00	338.30	90,829.48
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				90,829.
		534.17	1,336.55	25.36	214.24	0.00	0.00				

% de aprovechamiento:	57.00
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	11.49
% de pérdidas:	5.10
Años con deficiencia:	0
% déficit promedio:	0.00
% déficit máximo:	0.00
Demanda total:	2,934.03
Oferta real:	1,336.55
Extracción promedio:	1,336.55

## 2001-02

### MAX L:

IR = 0.8

qP2( 1 ) = 0.0995  
qP2( 2 ) = 0.0640  
qP2( 3 ) = 0.0608  
qP2( 4 ) = 0.0553  
qP2( 5 ) = 0.0560  
qP2( 6 ) = 0.0589  
qP2( 7 ) = 0.0657  
qP2( 8 ) = 0.0826  
qP2( 9 ) = 0.1111  
qP2( 10 ) = 0.1151  
qP2( 11 ) = 0.1162  
qP2( 12 ) = 0.1146

R(1,t) = 0 + .7586724 \*SP(1,1,t)  
R(2,t) = 0 + .9484467 \*SP(2,1,t) + 0 \*R(1,t)  
R(3,t) = 423.3773 + .5813101 \*SP(3,1,t) + .1192787 \*R(2,t)

SIMULACIÓN 11:15:25 07-21-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/01	411.12	8.23	26.98	0.34	3.68	0.00	0.00	7.89
NOV/01	381.15	0.92	26.98	0.02	2.26	0.00	0.00	9.08
DIC/01	343.77	1.10	26.98	0.19	1.82	0.00	0.00	9.32
ENE/02	306.95	2.08	26.98	0.26	1.97	0.00	0.00	9.73
FEB/02	270.61	67.13	26.95	2.09	2.17	0.00	0.00	10.43
MAR/02	300.30	15.91	26.95	0.00	3.65	0.00	0.00	11.85
ABR/02	273.76	5.69	26.95	0.00	4.37	0.00	0.00	9.07
MAY/02	239.06	2.01	26.95	0.00	5.22	0.00	0.00	8.62
JUN/02	200.28	2.27	26.95	0.05	5.18	0.00	0.00	7.72
JUL/02	162.75	9.79	26.95	2.02	3.15	0.00	0.00	8.87
AGO/02	135.60	89.47	26.95	1.91	2.58	0.00	0.00	9.11
SEP/02	188.34	18.30	26.95	0.56	2.79	0.00	0.00	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
01-02	411.12	222.90	323.47	7.44	38.84	0.00	0.00	110.00
	169.16							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	

222.90 323.47 7.44 38.84 0.00 0.00

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/01	1,546.07	53.10	198.33	0.40	4.65	0.00	0.00	24.28	0.00	272.95	30,629.	8,826.
NOV/01	1,420.87	19.80	127.61	0.00	5.32	0.00	0.00	24.28	0.00	270.93	19,624.	5,249.
DIC/01	1,332.02	32.00	120.98	0.33	9.23	0.00	0.00	24.28	0.00	269.43	18,640.	4,553.
ENE/02	1,258.41	29.20	106.81	0.10	11.73	0.00	0.00	24.28	0.00	268.13	17,029.	3,142.
FEB/02	1,193.46	56.40	104.23	2.87	14.56	0.00	0.00	24.25	0.00	266.94	17,238.	2,225.
MAR/02	1,158.19	24.50	107.54	0.00	11.99	0.00	0.00	24.25	0.00	266.28	18,133.	1,700.
ABR/02	1,087.40	12.00	117.30	0.00	8.09	0.00	0.00	24.25	0.00	264.91	19,982.	1,224.
MAY/02	998.26	8.90	146.21	0.00	7.72	0.00	0.00	24.25	0.00	263.11	24,575.	1,118.
JUN/02	877.48	4.70	195.56	0.00	7.29	0.00	0.00	24.25	0.00	260.49	31,852.	988.
JUL/02	703.58	110.20	205.32	4.02	4.69	0.00	0.00	24.25	0.00	256.29	33,045.	0.
AGO/02	632.04	480.40	207.17	5.96	4.04	0.00	0.00	24.25	0.00	254.39	34,029.	590.
SEP/02	931.45	98.70	204.59	2.84	3.89	0.00	0.00	24.25	0.00	261.68	33,403.	2,061.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
01-02	1,546.07 848.76	929.90	1,841.66	16.52	93.20	0.00	0.00	291.12	0.00	298,179.	31,676.
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			298,179.	31,676.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/01	1,800.07	130.00	113.54	0.00	11.14	0.00	0.00	178.49	0.00	24.42	97.14	8,316.
NOV/01	1,959.47	27.40	263.01	2.85	14.39	0.00	0.00	114.85	0.00	41.30	97.14	9,895.
DIC/01	1,785.87	36.50	153.37	0.00	19.79	0.00	0.00	108.89	0.00	45.58	97.14	10,302.
ENE/02	1,712.52	27.70	190.70	0.00	23.45	0.00	0.00	96.12	0.00	53.79	97.14	11,056.
FEB/02	1,568.41	25.90	240.83	0.00	29.86	0.00	0.00	93.80	0.00	55.06	97.14	11,174.
MAR/02	1,362.36	42.90	312.36	0.00	26.68	0.00	0.00	96.79	0.00	49.05	97.14	10,602.
ABR/02	1,113.95	28.80	132.29	6.51	18.83	0.00	0.00	105.57	0.00	17.83	97.14	7,698.
MAY/02	1,085.89	4.60	67.31	8.15	18.73	0.00	0.00	131.59	0.00	16.01	97.14	7,520.
JUN/02	1,128.19	5.20	53.41	13.77	17.88	0.00	0.00	176.01	0.00	10.68	97.14	7,025.
JUL/02	1,241.19	37.40	27.49	0.00	13.88	0.00	0.00	184.79	0.00	8.73	97.14	6,844.
AGO/02	1,413.29	236.40	4.37	0.00	12.55	0.00	0.00	186.45	0.00	8.03	97.14	6,779.
SEP/02	1,811.18	31.50	2.97	9.25	12.82	0.00	0.00	184.13	0.00	7.83	97.14	6,765.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
01-02	1,800.07 2,012.44	634.30	1,561.66	40.54	220.00	0.00	0.00	1,657.49	0.00	338.30	103,975.37
CICLO	VOL. INI.	Qcuencia	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				103,975.

% de aprovechamiento:	108.55
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	19.01
% de pérdidas:	11.69
Años con deficiencia:	0
% déficit promedio:	0.00
% déficit máximo:	0.00
Demanda total:	3,726.79
Oferta real:	1,561.66
Extracción promedio:	1,561.66

## 2002-03

### MAX L:

IR = 0.7

qP2( 1 ) = 0.1033  
qP2( 2 ) = 0.0663  
qP2( 3 ) = 0.0622  
qP2( 4 ) = 0.0561  
qP2( 5 ) = 0.0560  
qP2( 6 ) = 0.0589  
qP2( 7 ) = 0.0652  
qP2( 8 ) = 0.0816  
qP2( 9 ) = 0.1088  
qP2( 10 ) = 0.1134  
qP2( 11 ) = 0.1152  
qP2( 12 ) = 0.1129

R(1,t) = 0 + .7586724 \*SP(1,1,t)  
R(2,t) = 1365.24 + 0 \*SP(2,1,t) + 2.291885 \*R(1,t)  
R(3,t) = 836.0326 + .3239616 \*SP(3,1,t) + .1896441 \*R(2,t)

SIMULACIÓN 11:27:11 07-21-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/02	169.16	2.70	11.41	0.17	1.98	0.00	0.00	7.89
NOV/02	150.76	6.00	11.41	0.15	1.62	0.00	0.00	9.08
DIC/02	134.80	11.30	11.41	0.54	0.79	0.00	0.00	9.32
ENE/03	125.13	10.90	11.41	0.00	1.09	0.00	0.00	9.73
FEB/03	113.80	19.70	11.40	0.57	0.93	0.00	0.00	10.43
MAR/03	111.33	29.80	11.40	0.20	1.84	0.00	0.00	11.85
ABR/03	116.24	5.00	11.40	0.00	2.59	0.00	0.00	9.07
MAY/03	98.18	0.01	11.40	0.00	2.86	0.00	0.00	8.62
JUN/03	75.31	0.01	11.40	0.08	2.25	0.00	0.00	7.72
JUL/03	54.03	1.60	11.40	0.26	1.36	0.00	0.00	8.87
AGO/03	34.27	6.30	11.40	0.19	0.74	0.00	3.29	9.11
SEP/03	22.80	3.20	11.40	0.12	0.44	0.00	16.83	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
02-03	169.16 22.80	96.52	136.80	2.29	18.49	0.00	20.11	110.00



CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS
		96.52	136.80	2.29	18.49	0.00	20.11

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/02	848.76	21.50	85.38	0.20	3.82	0.00	0.00	10.27	0.00	259.83	12,282.	2,205.
NOV/02	791.53	6.90	67.27	0.00	4.44	0.00	0.00	10.27	0.00	258.49	7,869.	3,339.
DIC/02	736.99	43.40	53.14	2.23	6.68	0.00	0.00	10.27	0.00	257.15	7,474.	1,292.
ENE/03	733.08	38.70	46.20	0.08	8.67	0.00	0.00	10.27	0.00	257.05	6,829.	780.
FEB/03	727.25	93.50	44.34	1.27	11.45	0.00	0.00	10.26	0.00	256.90	6,912.	444.
MAR/03	776.49	40.10	45.10	0.39	12.14	0.00	0.00	10.26	0.00	258.12	7,271.	267.
ABR/03	770.00	21.00	50.09	0.00	8.58	0.00	0.00	10.26	0.00	257.96	8,012.	311.
MAY/03	742.59	10.50	62.11	0.00	7.12	0.00	0.00	10.26	0.00	257.29	9,854.	330.
JUN/03	694.11	6.10	83.85	0.79	5.94	0.00	0.00	10.26	0.00	256.05	12,772.	672.
JUL/03	621.47	85.50	85.63	7.27	5.14	0.00	0.00	10.26	0.00	254.09	13,250.	320.
AGO/03	633.72	192.70	141.14	4.11	4.94	0.00	0.00	7.30	0.00	254.43	13,645.	9,028.
SEP/03	691.76	111.60	81.99	5.05	3.01	0.00	0.00	-0.00	0.00	255.99	13,394.	0.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
02-03	848.76 723.40	671.50	846.25	21.41	81.93	0.00	0.00	109.91	0.00	119,565.	18,987.
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS			119,565.	18,987.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/02	2,012.44	0.01	95.30	0.00	13.08	0.00	0.00	76.84	0.00	24.42	98.88	7,480.
NOV/02	1,956.50	31.00	230.82	1.90	14.23	0.00	0.00	60.54	0.00	41.30	98.88	9,099.
DIC/02	1,763.59	48.20	135.93	0.00	19.37	0.00	0.00	47.83	0.00	45.58	98.88	9,516.
ENE/03	1,658.74	34.40	166.27	0.00	22.33	0.00	0.00	41.58	0.00	53.79	98.88	10,289.
FEB/03	1,492.34	19.50	212.78	0.00	26.18	0.00	0.00	39.91	0.00	55.06	98.88	10,410.
MAR/03	1,257.72	34.10	275.86	0.00	24.18	0.00	0.00	40.59	0.00	49.05	98.88	9,823.
ABR/03	983.32	1.00	112.27	10.07	17.87	0.00	0.00	45.08	0.00	17.83	98.88	6,847.
MAY/03	891.50	4.90	49.05	8.98	15.64	0.00	0.00	55.90	0.00	16.01	98.88	6,665.
JUN/03	880.58	0.90	33.68	5.52	12.87	0.00	0.00	75.47	0.00	10.68	98.88	6,157.
JUL/03	905.24	26.20	17.64	0.04	11.12	0.00	0.00	77.07	0.00	8.73	98.88	5,971.
AGO/03	971.05	74.70	4.01	0.00	10.42	0.00	0.00	127.03	0.00	8.03	98.88	5,905.
SEP/03	1,150.32	52.10	2.94	5.10	8.14	0.00	0.00	73.79	0.00	7.83	98.88	5,890.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
02-03	2,012.44 1,262.40	327.01	1,336.55	31.62	195.44	0.00	0.00	761.62	0.00	338.30	94,050.50
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				

327.01	1,336.55	31.62	195.44	0.00	0.00	94,051.
--------	----------	-------	--------	------	------	---------

% de aprovechamiento:	155.16
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	25.72
% de pérdidas:	8.55
Años con deficiencia:	0
% déficit promedio:	0.00
% déficit máximo:	0.00
Demanda total:	2,319.60
Oferta real:	1,336.55
Extracción promedio:	1,336.55

## 2003-04

### MAX L:

IR = 0.7

qP2( 1 ) = 0.1029  
qP2( 2 ) = 0.0669  
qP2( 3 ) = 0.0635  
qP2( 4 ) = 0.0558  
qP2( 5 ) = 0.0560  
qP2( 6 ) = 0.0587  
qP2( 7 ) = 0.0653  
qP2( 8 ) = 0.0814  
qP2( 9 ) = 0.1087  
qP2( 10 ) = 0.1132  
qP2( 11 ) = 0.1157  
qP2( 12 ) = 0.1118

R(1,t) = 0 + .6810573 \*SP(1,1,t)  
R(2,t) = 1471.588 + 1.158693E-02 \*SP(2,1,t) + 5.506828E-02 \*R(1,t)  
R(3,t) = 0 + 1.028602 \*SP(3,1,t) + 9.871629E-03 \*R(2,t)

SIMULACIÓN 16:19:50 07-21-2010

Angostura

#### RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
OCT/03	22.80	0.00	1.30	0.03	0.45	0.00	9.60	7.89
NOV/03	22.80	0.00	1.30	0.07	0.29	0.00	10.59	9.08
DIC/03	22.80	2.55	1.30	0.00	0.25	0.00	8.31	9.32
ENE/04	22.80	3.78	1.30	0.07	0.20	0.00	7.37	9.73
FEB/04	22.80	5.30	1.29	0.10	0.27	0.00	6.59	10.43
MAR/04	22.80	13.70	1.29	0.13	0.48	0.00	0.00	11.85
ABR/04	23.00	6.03	1.29	0.19	0.56	0.00	4.51	9.07
MAY/04	22.80	0.00	1.29	0.00	0.81	0.00	10.72	8.62
JUN/04	22.80	0.83	1.29	0.01	0.89	0.00	9.06	7.72
JUL/04	22.80	17.43	1.29	0.35	0.70	0.00	0.00	8.87
AGO/04	29.72	53.30	1.29	0.46	1.18	0.00	0.00	9.11
SEP/04	71.89	6.95	1.29	0.21	1.38	0.00	0.00	8.31

#### RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	VOL. COMP.
-------	-----------	---------	---------	---------	----------	----------	----------	------------

03-04	22.80	109.87	15.53	1.62	7.45	0.00	66.76	110.00
	68.07							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		109.87	15.53	1.62	7.45	0.00	66.76	

Novillo

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	h2	MWH2e	MWH2r
OCT/03	723.40	40.40	155.13	1.03	4.29	0.00	11.59	-0.00	0.00	256.80	22,368.	2,615.
NOV/03	617.00	10.92	101.79	0.00	2.96	0.00	93.83	-0.00	0.00	253.97	14,331.	1,732.
DIC/03	617.00	10.74	96.33	0.00	4.88	0.00	90.47	-0.00	0.00	253.97	13,613.	1,588.
ENE/04	617.00	20.99	84.95	1.27	6.56	0.00	69.26	-0.00	0.00	253.97	12,436.	969.
FEB/04	617.00	22.94	81.26	0.00	9.04	0.00	67.35	-0.00	0.00	253.97	12,589.	234.
MAR/04	617.00	42.70	83.92	1.01	9.85	0.00	48.90	1.16	0.00	253.97	13,242.	0.
ABR/04	617.00	25.25	93.23	1.41	7.65	0.00	74.22	-0.00	0.00	253.97	14,593.	118.
MAY/04	617.00	9.22	116.57	0.00	4.87	0.00	112.22	-0.00	0.00	253.97	17,947.	448.
JUN/04	617.00	4.01	154.39	0.11	4.00	0.00	154.28	-0.00	0.00	253.97	23,261.	1,102.
JUL/04	617.00	353.19	165.03	10.79	5.41	0.00	0.00	1.16	0.00	253.97	24,132.	2,854.
AGO/04	811.70	293.55	179.95	2.77	4.92	0.00	0.00	1.16	0.00	258.97	24,851.	6,132.
SEP/04	924.32	69.51	164.73	3.69	4.66	0.00	0.00	1.16	0.00	261.53	24,394.	4,048.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Ang.	Derr. Ang.	MWH2e	MWH2r
03-04	723.40	903.42	1,477.28	22.08	69.09	0.00	722.11	4.66	0.00	217,757.	21,839.
	829.29										
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS				
		903.42	1,477.28	22.08	69.09	0.00	722.11			217,757.	21,839.

Oviachic

RESULTADOS DE VOLUMENES MENSUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	h3	MWH3
OCT/03	1,262.40	0.00	95.30	0.00	11.24	0.00	0.00	129.19	0.00	24.42	92.11	6,080.
NOV/03	1,260.64	0.00	230.82	2.88	7.94	0.00	0.00	7.17	0.00	41.30	92.11	7,396.
DIC/03	990.63	0.00	135.93	0.00	12.03	0.00	0.00	5.28	0.00	45.58	92.11	7,735.
ENE/04	802.38	9.30	166.27	0.45	12.65	0.00	6.46	14.13	0.00	53.79	92.11	8,364.
FEB/04	600.00	3.83	212.78	0.00	13.32	0.00	264.81	12.51	0.00	55.06	92.11	8,462.
MAR/04	600.00	0.18	275.86	1.05	13.56	0.00	305.73	31.51	0.00	49.05	92.11	7,985.
ABR/04	600.00	16.62	112.27	2.05	13.51	0.00	107.83	17.11	0.00	17.83	92.11	5,566.
MAY/04	600.00	0.23	49.05	6.94	12.32	0.00	66.29	3.92	0.00	16.01	92.11	5,418.
JUN/04	600.00	0.00	33.68	7.16	9.79	0.00	46.88	0.10	0.00	10.68	92.11	5,005.
JUL/04	600.00	83.16	17.64	0.26	9.05	0.00	0.00	148.53	0.00	8.73	92.11	4,854.
AGO/04	796.52	49.16	4.01	0.07	9.02	0.00	0.00	161.96	0.00	8.03	92.11	4,800.
SEP/04	986.64	144.85	2.94	0.00	8.63	0.00	0.00	148.26	0.00	7.83	92.11	4,788.

RESULTADOS DE VOLUMENES ANUALES

CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	Ext. Nov.	Derr. Nov.	VOL. COMP.	MWH3
03-04	1,262.40	307.33	1,336.55	20.86	133.05	0.00	798.01	679.66	0.00	338.30	76,452.83

	1,260.35							
CICLO	VOL. INI.	Qcuenca	EXTRAC.	PRECIP.	EVAPORA.	DERRAMES	DEFICITS	
		307.33	1,336.55	20.86	133.05	0.00	798.01	76,453.

% de aprovechamiento:	72.29
% de derrames:	0.00
% de evaporación:	15.35
% de pérdidas:	10.93
Años con deficiencia:	1
% déficit promedio:	28.20
% déficit máximo:	28.20
Demanda total:	2,829.36
Oferta real:	1,336.55
Extracción promedio:	538.54