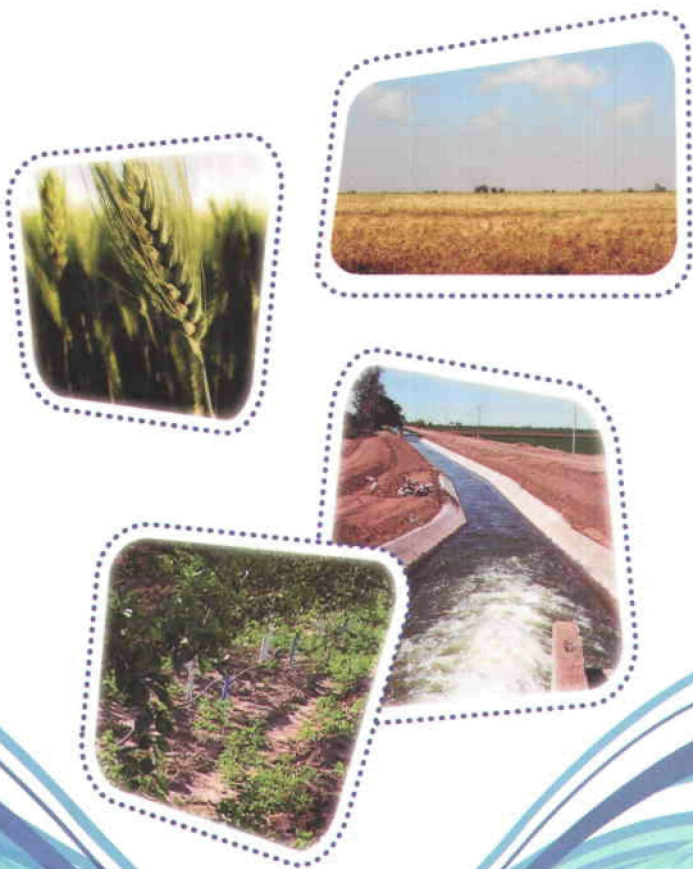


MANUAL DE OPERACIÓN DEL DISTRITO DE RIEGO DEL VALLE DEL YAQUI

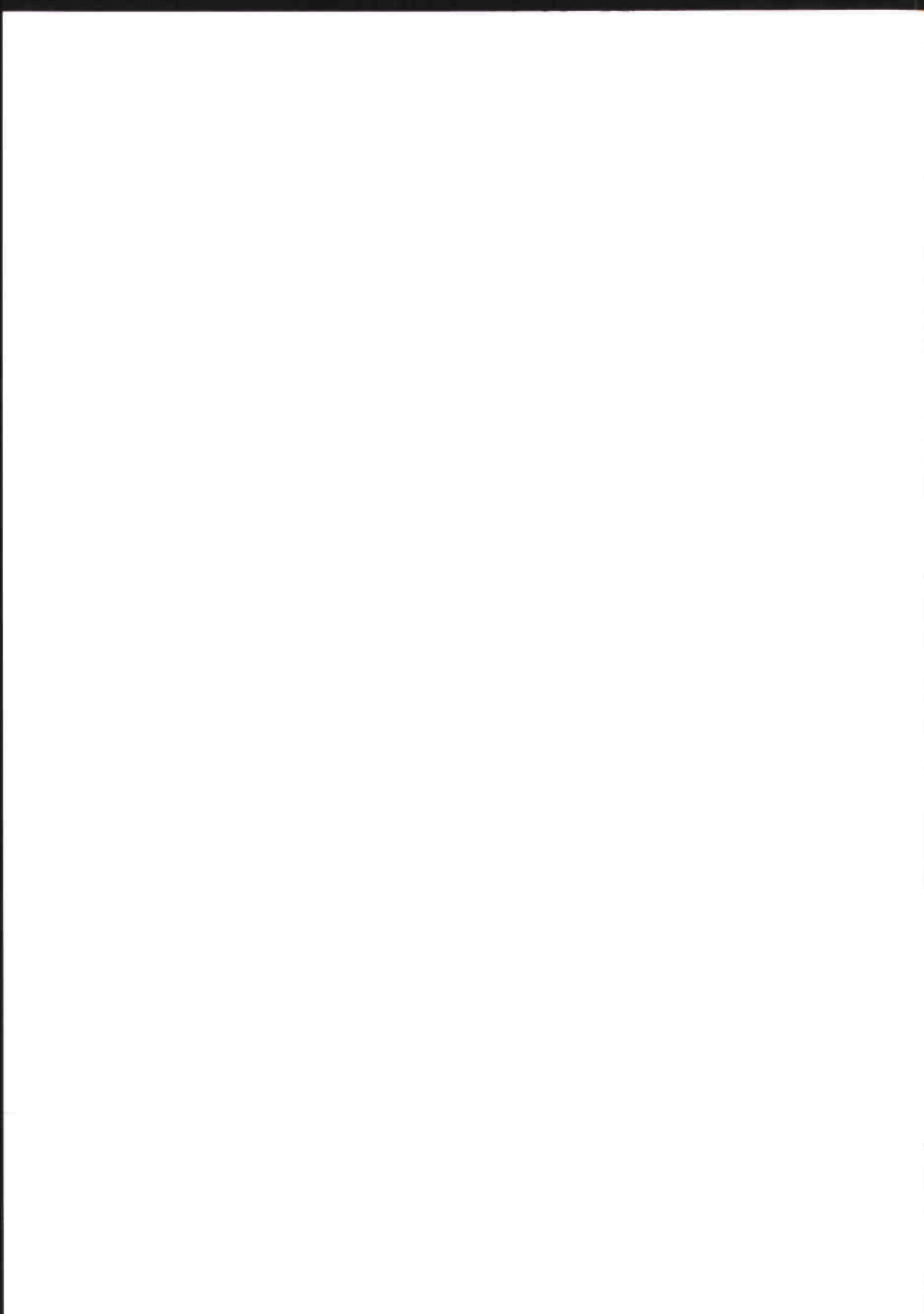


Ildefonso de la Peña de la Torre

.587217

32
6

**MANUAL DE
OPERACIÓN**
DEL DISTRITO DE RIEGO
DEL VALLE DEL YAQUI



MANUAL DE OPERACIÓN

**DEL DISTRITO DE RIEGO
DEL VALLE DEL YAQUI**

Ildfonso de la Peña de la Torre

Editor

Benjamín de León Mojarro

IMTA

México, 2007

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA**

631.587 Peña de la Torre, Ildelfonso de la
P56 Manual de operación del distrito de riego del Valle del Yaqui /
Ildelfonso de la Peña de la Torre.—Jiutepec, Morelos : Instituto
Mexicano de Tecnología del Agua, ©2008.
80 p.; 21.5 x 14 cm.
ISBN-978-968-9513-05-6
1 Distritos de riego 2. Valle del Yaqui 3 Riego 4 Disponibilidad 5
Presa Álvaro Obregón.

Coordinación editorial
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Coordinación de Comunicación, Participación e Información

Subcoordinación de Vinculación, Comercialización y Servicios Editoriales

Producción editorial
Jesús Hernández Sánchez

Clasif. 5616
1399

Diseño de portada
Gema Alín Martínez Ocampo

2007
C.B. 0511 E.J.5

Primera edición: 2007

Proced. _____

D.R. ©Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuahunahuac 8532
62550 Progreso, Jiutepec, Morelos
MÉXICO

Fecha 24.08.12

Las opiniones aquí vertidas no reflejan necesariamente el punto de vista del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Las mismas son responsabilidad exclusiva del autor.

ISBN-978-968-9513-05-6

Impreso en México-Printed in Mexico

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	9
ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL DISTRITO DE RIEGO 041, VALLE DEL YAQUI	11
CARACTERÍSTICAS DEL VALLE DEL YAQUI	13
Superficie regable por decretos presidenciales	13
El Distrito de Riego 018 de las Colonias Yaquis	13
Distrito de riego 041 Río Yaqui, Sonora	13
Ampliación del Distrito 041 Río Yaqui, Sonora	13
DISPONIBILIDAD POTENCIAL DEL AGUA	15
Planeación de obras del distrito de riego del río Yaqui	16
Manejo óptimo del sistema de presas del río Yaqui, así como el aprovechamiento del agua subterránea	16
Disponibilidad potencial	16
DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO	25
Consideraciones generales de la explotación del acuífero subterráneo	26
Medidas de protección del acuífero	27
DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	31
Antecedentes	31
Metodología para evaluar la disponibilidad potencial de agua en corrientes superficiales	31
Estimación de la disponibilidad de agua en corrientes no controladas (sin presas)	33
Distribución empírica o de Weibull	37
DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD POTENCIAL DEL AGUA EN RÍOS PARCIAL O TOTALMENTE CONTROLADOS	41
Estimación de la disponibilidad del agua anual cuando la fuente de abastecimiento está parcial o totalmente controlada mediante presas de almacenamiento y/o regulación	41

Métodos para estimar la disponibilidad del agua	41
Metodología para determinar si corresponde a la distribución normal o log normal	43
Método de probabilidad por intervalo de clases	51
Cálculo y formación del cuadro y gráfica	51
VOLÚMENES COMPROMETIDOS EN LA CUENCA ALTA	
(sectores ganadero, urbano e industrial)	55
Uso ganadero	55
Uso agrícola con obras de pequeña irrigación dentro de la cuenca	55
Uso urbano e industrial	57
ÁREA TOTAL O TAMAÑO DEL DISTRITO DE RIEGO EN FORMA SUSTENTABLE	59
Antecedentes	59
Disponibilidad potencial hidráulica de la cuenca del río Yaqui	60
Superficie máxima que deben constituir los distritos de riego	61
ALMACENAMIENTOS QUE DEBEN CONSERVARSE EN LAS PRESAS PARA EXTRAER UN VOLUMEN CONSTANTE POR CICLO AGRÍCOLA EN UN SISTEMA CONTROLADO	63
VOLÚMENES EXTRAÍDOS DE LA PRESA ÁLVARO OBREGÓN PARA RIEGO DEL DISTRITO DE RIEGO 041, RÍO YAQUI, ASÍ COMO LOS VOLÚMENES DE AGUA DE BOMBEO Y LAS SUPERFICIES CULTIVADAS	69
Cálculo de volumen disponible para el próximo ciclo agrícola	71
CÁLCULO DE LAS ÁREAS-ELEVACIONES Y CAPACIDADES DE VOLÚMENES DE LAS DIFERENTES PRESAS	73
REFERENCIAS	78
LÁMINAS Y TABLAS	79

PRESENTACIÓN

Con la creación del Distrito de Riego del Valle del Yaqui, Son., entre otros, se inició la implementación de la política hídrica del país expresada en la antigua Ley de Riegos de México para aumentar, mejorar y asegurar la producción agrícola.

En este distrito de riego el doctor Ildefonso De La Peña De La Torre tuvo la oportunidad de participar desde la etapa de los deslindes agrarios, la clasificación de los suelos, la planeación de la zona de riego y la construcción de las obras, hasta la operación del distrito de riego del cual fue ingeniero en jefe. La práctica de la ingeniería de la irrigación y la sólida formación profesional del doctor De La Peña le permitieron escribir varias publicaciones sobre la tecnología del riego, entre las cuales destaca el presente *Manual de Operación del Distrito de Riego del Valle del Yaqui*. Es un honor para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua editar este valioso trabajo técnico y con ello contribuir a difundir las experiencias del doctor Ildefonso de la Peña.

En este manual se describen los hechos históricos que dieron origen al distrito de riego en 1890 con el otorgamiento de la primera concesión a la empresa *Sonora and Sinaloa Irrigation Company* para el uso agrícola de las aguas del río Yaqui y de la intervención en 1928 del gobierno federal, a través del Banco de Crédito Agrícola, para ordenar la producción de 40,000 ha que en esa época ya se habían abierto a la irrigación. Mediante tres decretos presidenciales se estableció el compromiso de proporcionar el servicio de riego a 252,000 ha con las aportaciones del río Yaqui.

En 1958 La Comisión Federal de Electricidad, CFE, y la Secretaría de Recursos Hidráulicos celebraron un convenio sobre la construcción, operación y mantenimiento del sistema hidroeléctrico del río Yaqui. Este convenio permitía a la CFE turbinar libremente hasta 2,500 millones de metros cúbicos por año de la presa el Novillo, obligándose además a mantener un almacenamiento mínimo en la presa Oviáchic de 750 millones de metros cúbicos para derivar el caudal máximo por el Canal Alto. Dado el valor estratégico del agua en la zona, este convenio fue aprobado por el entonces presidente de México, Don Adolfo Ruiz Cortínez. Con el sistema de presas sobre el río Yaqui la capacidad actual de almacenamiento es de 7,168 millones de metros cúbicos.

La operación óptima del sistema de presas del río Yaqui, así como el aprovechamiento del agua subterránea establece que se deben mantener las presas en el tercio medio de su capacidad de almacenamiento aprovechable, lo cual permite una explotación económicamente productiva sin crear restricciones de agua en ningún ciclo y año agrícolas.

Utilizando información histórica de los escurrimientos del río Yaqui de 1955 a 2005 se describen con detalle la aplicación de métodos estadísticos para estimar la disponibilidad

anual de agua en el Distrito de Riego. En el manual se explican las políticas de explotación óptima del agua subterránea y superficial, definiendo los volúmenes de extracción del acuífero en función de los almacenamientos en las presas y de la elevación de los niveles freáticos en la zona de riego.

El Distrito de Riego del Valle del Yaqui es representativo de la mayoría de los distritos de riego del país, ya que reúne las características generales tanto en los usos del agua industrial, urbano y agrícola; tipo de infraestructura, así como en la problemática de la operación. Por lo anterior, las metodologías que presenta el doctor De La Peña sobre la obtención y análisis de información, y propuestas de operación del distrito de riego en condiciones de baja, media y alta disponibilidad de agua; son aplicables a otros distritos de riego, y serán de gran utilidad para los técnicos responsables de la operación de los distritos de riego de México.

Disponer de manuales de operación en los distritos de riego es una necesidad para ordenar y sistematizar las actividades de estimación de la disponibilidad y la demanda de riego, para definir las superficies y los cultivos a establecer, de manera de alcanzar la sustentabilidad y rentabilidad de la práctica de la agricultura bajo riego.

Con la seguridad de que esta obra será una valiosa guía de trabajo y que contribuirá a mejorar la operación de los distritos de riego del país, deseo expresar todo mi reconocimiento al doctor Ildelfonso De La Peña De La Torre, por haber dedicado su vida entera al desarrollo de la Irrigación en México y por compartir con nosotros su experiencia a través del presente *Manual de Operación del Distrito de Riego del Valle del Yaqui*.

Dr. Benjamín de León Mojarro

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL DISTRITO DE RIEGO 041, VALLE DEL YAQUI

Esta planicie se inició al emerger la extensa franja de costa de lo que hoy es el Golfo de California, tiempo después, el constante divagar de las torrenciales aguas del río Yaqui, formaron un abanico aluvial que vino a dar origen al valle del mismo nombre.

Esta basta región fue habitada, en un tiempo, solo por la tribu Yaqui, asentándose ésta en las riveras del río, haciéndose llamar "Yaquimís", se dedicaron a la caza y pesca como medio de subsistencia, aunque también recolectaban granos y bayas silvestres para completar su dieta, labor ésta última a cargo de mujeres y niños de la tribu. Ocuparon la mayor parte de lo que actualmente son los distritos de riego Núm. 41 y Núm. 18, limitando sus dominios, al sur con el arroyo Cocoraque, al norte con la sierra del Bacatete, al este con las estribaciones de la sierra madre occidental y al oeste con las playas del Golfo de California. Al paso del tiempo se fue reduciendo su territorio debido a la presión de blancos y mestizos.

Alrededor de 1863, empezó el arribo de gente de "razón " al pueblo de Cócorit y para fines del siglo, se inició la explotación de las aguas del río Yaqui, con fines agrícolas.

En 1890, el coronel Carlos Connat Maldonado obtiene del Gobierno Federal, la concesión para abrir al cultivo y colonizar terrenos hasta una superficie de 300, 000 ha en las márgenes de los ríos Fuerte, Mayo y Yaqui, autorizándose para que formara las compañías que creyera necesario a fin de cumplir con el contrato-concesión.

Nacido en el puerto de Guaymas, hijo del minero inglés, Carlos Connat y de la sonoreense Simona Maldonado, el Coronel, conocedor notable de las posibilidades de la región, gestionó la concesión correspondiente, y el 22 de agosto de 1890 firmó el contrato para abrir canales de riego y, desde luego, emprendió deslindes con recursos propios y de su hermano Benito con quien organizó y formó en Nueva York, EUA, la compañía Sonora and Sinaloa Irrigation Company, en sociedad con capitales norteamericanos para irrigar 250,000 ha en terrenos y obras del Canal Principal Bajo.

Los trabajos de trazo se iniciaron de inmediato y se construyeron 14 km del Canal Principal Bajo para regar un área de 15,000 ha. Se proyectó y construyó la Presa Derivadora en la bocatoma del canal en el punto denominado Los Hornos.

Por esos mismos años, el gobierno federal nombró una comisión de técnicos para que integraran una Comisión Científica, con residencia en el pueblo yaqui de Tórim, para realizar los estudios, trazar y construir por cuenta del mismo gobierno los canales Marcos Carrillo en la margen derecha y Porfirio Díaz en la margen izquierda, beneficiándose con ello alrededor de 4,000 ha.

Al declararse en quiebra la Sonora and Sinaloa Irrigation Company en 1904 y después de pagar con tierras a sus acreedores, se suspendieron los trabajos en la margen izquierda del río que a la postre acumulaban 14 km del Canal Principal Bajo. Más tarde, los hermanos Richardson de origen norteamericano compraron los derechos de la compañía anterior; en lo que hoy es el poblado de La Esperanza establecieron la Constructora Richardson, S. A. incluidas oficinas, almacenes y talleres, y el 16 de febrero de 1909 se hicieron cargo de la concesión mediante contrato con el gobierno federal. Posteriormente, el acuerdo fue modificado el 18 de agosto de 1911 y el 13 de noviembre de 1922.

Por razones, al parecer económicas, después de poner en riego 40,000 ha, la Constructora Richardson fue obligada a vender sus acciones al gobierno federal en 1928, entregándolas al Banco de Crédito Agrícola, S.A. el que, a su vez, las traspasó a la Comisión Monetaria quien, para administrarla denominó a la empresa adquirida, Compañía Constructora Richardson en Liquidación.

CARACTERÍSTICAS DEL VALLE DEL YAQUI

El Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Son, se encuentra ubicado en la zona noroeste del país, específicamente entre los 26°45' Y 27°40' de latitud norte y 109°45' Y 110°20' de longitud oeste, localizado en la parte sur del estado de Sonora. Abarca parcialmente los municipios de Cajeme, Bécum, San Ignacio Río Muerto, Benito Juárez, Etchojoa y Navojoa. Posee un clima semiárido con humedad deficiente la mayor parte del año y una precipitación media anual de 261mm. Su temperatura media es de 22 °C con mínimas de 0 °C y máximas de 47°C.

SUPERFICIE REGABLE POR DECRETOS PRESIDENCIALES

Dentro de la gran planicie costera que forma el área de riego, se han establecido dos distritos de riego y una ampliación en uno de ellos.

EL DISTRITO DE RIEGO 018 DE LAS COLONIAS YAQUIS

Creado por decreto presidencial del 30 de septiembre de 1940, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre del mismo año. En este documento se estipula que la tribu Yaqui podrá disponer hasta de la mitad del caudal que se almacenará en la presa de La Angostura (Lázaro Cárdenas) para fines de riego de sus propias tierras (250 Mm³).

DISTRITO DE RIEGO 041 RÍO YAQUI, SONORA

Creado por decreto presidencial del 16 de noviembre de 1955, publicado el 16 de diciembre del mismo año. En este ordenamiento se establece que la construcción de las obras en el Distrito de Riego del Río Yaqui, Sonora, es de utilidad pública y fijan los linderos del perímetro de riego que comprenden aproximadamente 218,500 ha respetando en este decreto la aportación para el Distrito de Colonias Yaquis.

AMPLIACIÓN DEL DISTRITO 041 RÍO YAQUI, SONORA

Por acuerdo presidencial publicado el 4 de junio de 1982 para el máximo aprovechamiento del agua se amplía el Distrito del Río Yaqui, Sonora en un área de 8,500 hectáreas.

Mediante estos 3 decretos se tiene la obligaci3n de proporcionar riego a las siguientes 1reas agr3colas:

ZONA	SUPERFICIE (ha)
COLONIAS YAQUIS 30 DE SEPTIEMBRE DE 1940	25,000
DISTRITO DE RIEGO 041 R3O YAQUI 16 DE NOVIEMBRE DE 1955	218,500
AMPLIACI3N DISTRITO DEL YAQUI 04 DE JUNIO DE 1982	8,500
TOTAL	252,000

La superficie de 252,000 ha, queda amparada y con derecho de recibir agua para el riego.

DISPONIBILIDAD POTENCIAL DEL AGUA

La cuenca del río Yaqui comprende 71,452 km² y aunque la mayor superficie se ubica dentro del estado de Sonora, una parte se localiza en el estado de Chihuahua y otra en el estado de Arizona en los Estados Unidos de América.

A lo largo del cauce del río Yaqui se han construido tres presas de almacenamiento que dividen a toda la cuenca en tres subcuencas que toman el nombre del lugar donde están ubicadas. Cada subcuenca cubre las siguientes superficies:

Terminación construcción	Presas	Capacidad total Sobreelevación	Superficie sub-cuenca km ²
1941	Lázaro Cárdenas La Angostura	921	19,292
1965	Plutarco Elías Calles El Novillo	3,020	40,368
1952	Álvaro Obregón Oviáchic	3,227	11,792
TOTAL		7,168	71,452

La Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Recursos Hidráulicos celebraron un convenio el 26 de septiembre de 1958, sobre la construcción, operación y mantenimiento del sistema hidroeléctrico de El Novillo sobre el río Yaqui, en Sonora.

Dentro de este convenio se estableció en la cláusula cuarta que, de acuerdo con los datos disponibles hasta la fecha, la aportación del río Yaqui en el sitio de El Novillo es de 2,500 Mm³ o sea, el 80% de su capacidad por año y que la "Comisión" podrá hacer libremente las extracciones que le convengan de la presa, obligándose a que el almacenamiento mínimo en la presa Álvaro Obregón nunca sea menor de 750 Mm³, que es el nivel mínimo del agua necesario para derivar el gasto máximo por el canal alto. Este convenio fue aprobado y firmado por el entonces presidente de México, don Adolfo Ruiz Cortines.

PLANEACIÓN DE OBRAS DEL DISTRITO DE RIEGO DEL RÍO YAQUI

En la planeación de las áreas que se van a destinar para riego, en un distrito, es necesario verificar la construcción y/o mantenimiento de obras hidráulicas que operen y distribuyan las aguas de riego.

En el Distrito de Riego Río Yaqui, Son. se encuentran para su manejo terminadas tres presas, tres canales principales y la red de canales laterales, así como las estructuras de control. Por ello, es necesario hacer un balance de las condiciones actuales de su operación y en base a eso, establecer tres escenarios de manejo del agua: el primero incluye la disponibilidad de los volúmenes de agua de la presa y del acuífero subterráneo, el segundo comprende el manejo de la conducción, operación y distribución eficiente en la red de canales principales, laterales y sublaterales, y el tercer escenario abarca el uso eficiente del agua en la propia parcela.

MANEJO ÓPTIMO DEL SISTEMA DE PRESAS DEL RÍO YAQUI, ASÍ COMO EL APROVECHAMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

Objetivos generales:

- El volumen medio anual que escurre en la corriente del río Yaqui debe ser aprovechado en forma continua en todos los ciclos agrícolas.
- Es necesario operar las presas y conservar el almacenamiento en el tercio medio de su capacidad para tener la seguridad de garantizar un volumen constante en todos los ciclos agrícolas auxiliado del acuífero subterráneo.
- La finalidad de mantener a las presas en el tercio medio de su capacidad de almacenamiento aprovechable permite una explotación económicamente productiva sin crear restricciones de agua en ningún ciclo agrícola.

Disponibilidad potencial

En la naturaleza, se distinguen tres importantes fuentes de disponibilidad hidráulica:

- La precipitación pluvial
- La disponibilidad del acuífero subterráneo
- La disponibilidad del agua superficial

Precipitación pluvial

El agua que cae sobre los terrenos debido a la condensación del vapor atmosférico y la consecuente formación de gotas que descienden hasta la superficie de los terrenos, se denomina precipitación.

Parte del agua es interceptada por la vegetación, otra se infiltra y el resto se escurre sobre la superficie del terreno. Se distinguen dos diferentes tipos de precipitación: la potencial y la efectiva.

Precipitación potencial

La relación entre el agua que se precipita y la que se infiltra, depende de las características del terreno, de la cubierta vegetal y de la forma que se presenta la lluvia en:

- Cantidad
- Intensidad
- Duración
- Frecuencia.

La cuantificación del volumen precipitado se basa en mediciones de la altura de lluvia, efectuadas mediante pluviómetros instalados en las estaciones climatológicas. Existen tres métodos para calcular la precipitación por lluvia a partir de los datos registrados en las estaciones distribuidas en la zona estudiada:

- El método aritmético
- El método Thiessen
- El método de isoyetas.

Los dos últimos son los más confiables.

- El método aritmético

$$h_p = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

$$V_{LL} = Ah_p$$

h_i = Altura de precipitación en la estación "i"

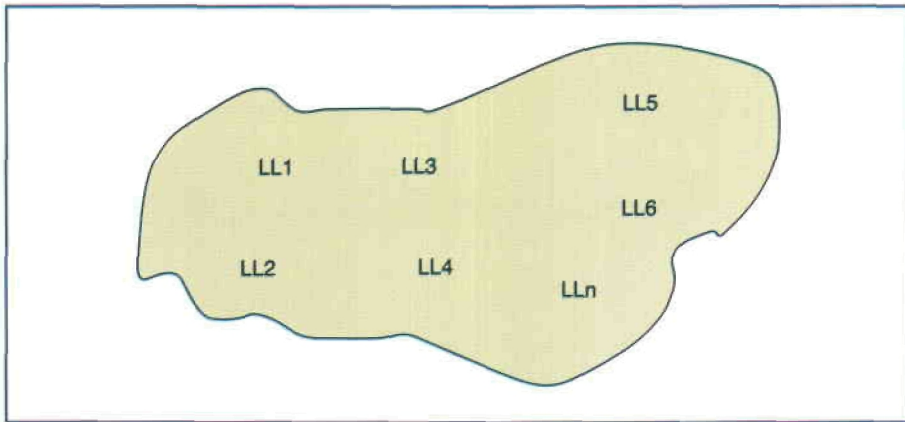
n = Número de estaciones

h_p = Precipitación media aritmética

A = Área de la zona en estudio

V_{LL} = Volumen de lluvia

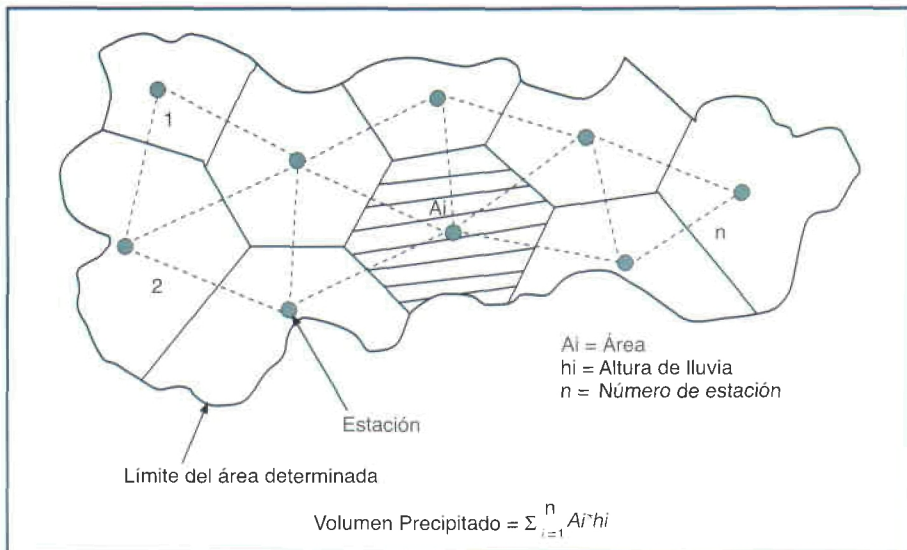
Lámina 1: Representación de una zona de cálculo del volumen de precipitación



- El método de Thiessen

Primeramente se unen las estaciones y después se trazan polígonos de influencia para cada estación, los vértices del polígono quedan definidos por la intersección de las mediatrices de los triángulos formados por la estación considerada y las estaciones adyacentes

Lámina 2: Representación del trazo de polígonos en un área determinada

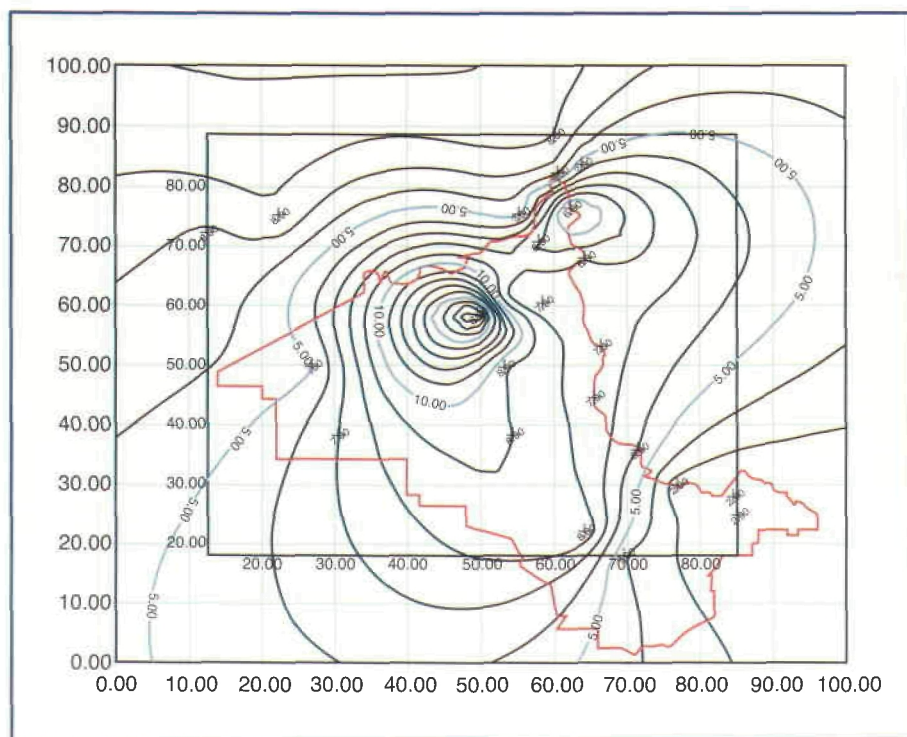


a ella, se supone que en el área de influencia así definida, la altura de lluvia es igual a la registrada en la propia estación. El volumen de precipitación se calcula como la suma de los productos de las áreas de influencia de las estaciones por sus respectivas alturas de lluvia (ver lámina 2).

- Método de isoyetas

Consiste en trazar curvas de igual precipitación pluvial con apoyo en las alturas de lluvias registradas en las estaciones, en el trazo se toma en cuenta la influencia de la orografía. Se miden gráficamente las áreas comprendidas entre isoyetas adyacentes y se multiplican por sus respectivas láminas medias de lluvia. El volumen precipitado está dado por la suma de estos productos.

Lámina 3: Plano de Isoyetas del valle del Yaqui



Precipitación efectiva

En un distrito de riego solamente interesa la parte de precipitación que puede ser utilizada por los cultivos. Esta es la precipitación efectiva.

Oliver (1963), define como lluvia efectiva la porción de la precipitación que puede llegar a estar disponible en la zona ocupada por las raíces de las plantas.

- Método de Prescott y Anderson

Dados los factores que intervienen, es difícil cuantificar, aunque algunos investigadores como Prescott y Anderson, de acuerdo a sus experiencias, estimaron que puede considerarse como "Lluvia efectiva" el 80% de la precipitación probable mensual, siempre y cuando sean superiores al valor obtenido de evaporación proponiendo para ello la siguiente inecuación:

Donde:
$$P > 0.9E^{0.75}$$

P = Precipitación pluvial

E = Evaporación medida en el tanque

Si los valores de precipitación son menores que los obtenidos por la función anterior, se considera que no es significativa en los procesos de evapotranspiración. Para fines de un balance general puede utilizarse el 50% de probabilidades de acuerdo a la información disponible. El 80% de ese valor puede considerarse como lluvia efectiva

Tabla 1. Precipitación y evaporación media estaciones SARH-Ciano 1969-1982

MESES	PRECIPITACIÓN MENSUAL	EVAPORACIÓN	P > 0.9 E ^{0.75}	
			E ^{0.75}	0.9 E ^{0.75}
OCTUBRE	26.30	170.70	47.09	42.38
NOVIEMBRE	15.00	124.26	37.26	33.54
DICIEMBRE	15.60	89.39	29.07	26.16
ENERO	17.90	82.23	27.31	24.58
FEBRERO	6.40	98.54	31.28	28.15
MARZO	3.50	146.51	42.11	37.90
ABRIL	2.20	240.33	61.04	54.93
MAYO	1.20	255.29	63.87	57.48
JUNIO	1.70	265.19	65.72	59.14
JULIO	57.10	225.38	58.17	52.35
AGOSTO	68.50	201.88	53.56	48.20
SEPTIEMBRE	59.40	174.87	48.09	43.28
SUMAS	274.80	2,074.14		

Se puede observar que solamente en los meses de julio, agosto y septiembre, la precipitación promedio mensual es ligeramente mayor que la evaporación ($0.9 E^{0.75}$), por lo que no es posible establecer durante los nueve meses restantes, ningún cultivo de temporal y menos el 80% de la precipitación total.

- Método de Blaney y Criddle

Blaney propone un método aún más simple que consiste en aplicar un coeficiente de aprovechamiento diferente a cada pulgada de lluvia observada, tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes de lluvia efectiva según Blaney y Criddle

Lluvia total observada		Lluvia considerada como efectiva		
En pulgadas	En milímetros	Coeficiente de aprovechamiento	Acumulada total	
			En pulgadas	En milímetros
1	25	0.95	0.95	23.70
2	50	0.90	1.85	46.30
3	75	0.82	2.67	67.00
4	100	0.65	3.32	83.00
5	125	0.45	3.77	94.50
6	150	0.25	4.02	100.50
7	Más de 150	0.05	-	-

Fuente: Adaptado de "Determining Consumptive Use and Irrigation", Water Requirements por Blaney H. T. y W. D. Criddle.

Por ejemplo, para 100mm de lluvia observada, la aprovechable de acuerdo a este método, se calcula de la siguiente forma:

25 x 0.95	=	23.75 mm
25 x 0.90	=	22.50 mm
25 x 0.82	=	20.50 mm
25 x 0.65	=	16.25 mm
Total	=	83.00 mm

Estas fórmulas son aplicables preferentemente en distritos de riego bajo la suposición de que la lluvia ocurre sin otros antecedentes. Sin embargo pueden usarse para estimación de lluvia efectiva en periodos cortos (máximos de 10 días), requiriéndose información de lluvia diaria.

- Método de la FAO y del Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos de América

En el caso en que solo existan datos de precipitación mensual, se describen otros métodos, uno de la FAO y otro del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.

Los autores Doorenbas y Pruitt (1975), en el manual de la FAO, muestran una tabla que permite estimar la lluvia efectiva en función de la precipitación mensual observada y del consumo de agua de los cultivos bajo la suposición de que la capacidad de almacenamiento del suelo (DS) es de 75 milímetros.

Sin embargo, para el caso de que la capacidad de almacenamiento del suelo, en el momento de la lluvia, sea diferente, incluye los factores de corrección.

DS	20.0	25.0	37.5	50.0	62.5	75.0	100	1.25	1.50	1.75	2.00
Factor	0.75	0.77	0.86	0.93	0.97	1.00	1.02	1.05	1.06	1.08	1.08

Por ejemplo, si la precipitación es de 100mm y la (Et) del cultivo es de 75 y DS=100mm.

La tabla siguiente muestra que la precipitación efectiva sería de 62mm. Sin ninguna corrección de capacidad de almacenamiento, pero como S=100. Es necesario corregir este valor por el factor 1.02, por lo tanto:

$$Pe = 1.02 \times 62 = 63 \text{ mm}$$

Siendo Pe = Precipitación efectiva.

Tabla 3. Lluvia Efectiva/mes en función de evapotranspiración del cultivo:

Lluvia mes	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200	
E V A P O T R A N S P O R T A C I O N C u l t i v o M m ³ /cm	25	8	16	24													
	50	8	17	25	32	39	46										
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120	
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
	250	12	25	27	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167

Fuente: Guidelines for predicting Crop Water Requirement. Doorenbas y W.O.Pruit, FAO. Roma 1975.

DISPONIBILIDAD DEL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO

Los estudios realizados en 1948 por la Dirección de Geohidrología de la extinta Comisión Nacional de Irrigación, estimó una recarga de 570 Mm³ por ciclo agrícola. Estudios posteriores de CONACYT y el Instituto Tecnológico de Sonora, ITSON, han fijado una recarga de 600 Mm³, por su parte la Universidad de Sonora, estima 648 Mm³. Con base en estas estimaciones, se ha considerado que puede llevarse a efecto una extracción de 450 Mm³, lo que representa un 80% de la recarga total.

ESTUDIO REALIZADO POR:	RECARGA (Mm ³ POR CICLO)
DIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y ZONAS ÁRIDAS DE LA COMISIÓN NACIONAL DE IRRIGACIÓN (1948)	570
CONACYT E INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA	600
UNIVERSIDAD DE SONORA, 2003	648
EXTRACCIÓN CONSIDERADA (80% DE LA RECARGA)	450

Con base en los diferentes estudios llevados a efecto sobre la recarga anual que reciben los diferentes acuíferos subterráneos indican que una parte proviene de las pérdidas ocasionadas por infiltraciones en la conducción de los volúmenes de agua en el tramo muerto y en la red de canales del distrito, así como filtraciones de los propios drenes y la percolación en los terrenos agrícolas, se reportan los valores siguientes.

Tabla 4. Pérdidas de conducción

DIFERENTES PÉRDIDAS DE AGUA:	VOLUMEN (MILLONES m ³)	PORCIENTO
VOLUMEN MEDIO PERDIDO EN TRAMO MUERTO DE LA PRESA ÁLVARO OBREGÓN A LA PRESA DERIVADORA DE HORNOS	88.74 x 10 ⁶	3.11
VOLUMEN MEDIO PERDIDO EN LA RED MAYOR 10 AÑOS (V _{pc} MAYOR)	479.66 X 10 ⁶	16.81
VOLUMEN MEDIO PERDIDO EN LATERALES RAMALES, ETC. EFICIENCIA RED MENOR DE 32 AÑOS (V _{pc} MENOR)	522.17 X 10 ⁶	18.30
TOTAL	1,090.57	38.23

La continua y constante recarga de un volumen valorado en 1,090.57 Mm³ anuales de los 2,852.34 Mm³, ha creado problemas al elevar el manto freático, por lo que es necesario realizar su extracción con ayuda de 450 Mm³ de bombeo y con ello se cubren dos propósitos fundamentales:

- Extraer 450 mm³ de agua subterránea, que es el volumen requerido para cubrir la demanda óptima de riego de bombeo.
- Aliviar y controlar el mal drenaje al interceptar y abatir los mantos freáticos debajo de 1.50m desde la superficie.

Mientras no sean revestidos los canales para disminuir las pérdidas por infiltraciones así como la percolación de los terrenos agrícolas ocasionados por los riegos, los volúmenes extraídos de bombeo son imprescindibles para las necesidades de una explotación agrícola muy cercana a la óptima y proteger la reserva en las presas.

CONSIDERACIONES GENERALES DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO SUBTERRÁNEO

- La recarga vertical anual del acuífero es de 638 Mm³, de los cuales 500 Mm³ corresponden al acuífero del Yaqui y 138 Mm³, al acuífero del Cocoraque.

- Las aguas que conforman el acuífero subterráneo constituyen un complemento de los volúmenes superficiales disponibles del agua para el riego.
- Para proteger y asegurar la sustentabilidad del acuífero tanto en cantidad como en calidad, la extracción anual debe estar de acuerdo al volumen almacenado en el sistema de presas.
- La explotación y operación deben realizarse, en atención a la disponibilidad existente de los escurrimientos almacenados en el sistema de presas, al día 1° de octubre de cada año, considerando un volumen adicional de 450 Mm³ de bombeo.
- En caso de escasez (Almacenamiento abajo del Tercio Medio, menor de 3,000 Mm³) se podrán extraer mayores volúmenes de 450 Mm³ y aún llegar a 600 millones de metros cúbicos.

EXTRACCIÓN DEL ACUÍFERO "Ea" (Mm ³)	ALMACENAMIENTO PRESAS (Mm ³)
450 < EA < 638	SECO A CRÍTICO
EA = 450	NORMAL
300 < EA < 450	ABUNDANTE

- Y en años de almacenamientos altos (mayores de 5,000 Mm³) se deben disminuir las extracciones de bombeo a 300 Mm³, para permitir la recarga del acuífero.
- Se deberá extraer 350 Mm³ de los pozos como un auxiliar del drenaje horizontal, favoreciendo al drenaje vertical, al abatir los niveles freáticos a profundidades mayores de 1.50m de la superficie.
- Dado que la meta del distrito es mantener la sustentabilidad del acuífero a largo plazo para lo cual se propone: minimizar los abatimientos de las diferentes zonas de operación del acuífero; prevenir la interferencia del nivel dinámico entre pozos; y evitar la degradación de la calidad del acuífero y promover el buen uso del agua.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN DEL ACUÍFERO

- Dividir el área de la planicie costera del Yaqui en seis zonas de explotación subterránea para detectar conos de abatimiento y poder regular la explotación de los pozos.
- Determinar un volumen específico para cada zona, en atención a su condición geohidrológica y consecuentemente su recarga, cuya extracción total, sea igual a la del acuífero.

- Procurar establecer dos fechas para realizar evaluaciones de los niveles estáticos de los acuíferos subterráneos y freáticos, uno en abril y otro en octubre con sus respectivos planos de balance mediante sus curvas de nivel con respecto al nivel del mar.
- Con los valores obtenidos, realizar estudios piezométricos de cada una de las zonas.
- Deberá llevarse un cuidadoso control de la piezometría de los niveles estáticos de los pozos en cada una de las seis zonas para detectar futuros abatimientos así como dictar medidas correctivas.
- Donde se presenten lugares de abatimiento o elevación de acuíferos y de freáticos.
- Disminuir pozos en las zonas donde se establezcan los conos de abatimiento.

La concentración de sales en el agua subterránea, extraída a través de los pozos, se debe a varios conceptos:

- Pozos que marcan ranuración frente a un cuerpo superior salado que no ha quedado aislado con el cuerpo inferior de agua dulce y con menor piezometría.
- Provenir de cuerpos salados superiores por infiltración vertical debido a la existencia de capas semipermeables.
- Por tener poca cementación, hacia un cuerpo de agua dulce que se encuentra más profundo.
- Otros no tienen cementación alguna y probablemente estén ejerciendo un drenaje vertical descendente.

Este aumento de salinidad, se debe al aumento de iones carbonatos, sulfatos y cloruros. se observa que las sales de carbonatos y sulfatos no se han incrementado en la proporción de sales totales. En cambio, las de cloruros son altas, lo que podría evidenciar algunos depósitos antiguos que se evaporaron quedando atrapado este tipo de sales.

Es posible que el cuerpo superior salado presente una piezometría más elevada que el cuerpo inferior de agua dulce, por lo que resalta la importancia de verificar los pozos sobre todo en la zona central del área del distrito, que se enmarca principalmente, dentro del canal principal bajo - Arroyo Cocoraque - canal lateral 600 y calle 17 (zona del río Muerto).

Es necesario seguir realizando, como hasta la fecha, las toma de lecturas de conductividades eléctricas de un número de pozos y buscar su tendencia, aumentos o disminuciones con el fin de encontrar el comportamiento del incremento de las sales.

Además, se deben analizar las distintas aguas subterráneas por familias, por ejemplo Piper, así como su piezometría y gastos o caudales de los años siguientes, Lámina 3a.

Lámina 3a. Zonas de pozos de bombeo

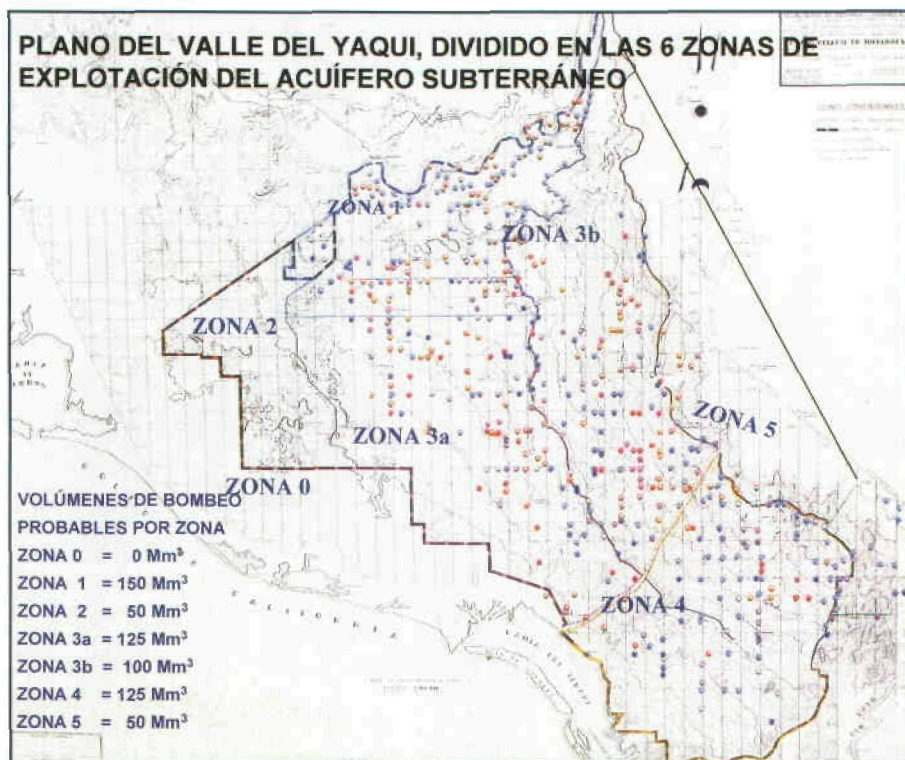


Tabla 5. Calidad del agua

SIMBOLOGÍA:		
CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DEL AGUA		
CALIDAD DEL AGUA	VALOR $\mu\text{mhos/cm}$	NÚMERO
PRIMERA	0 - 750 $\mu\text{mhos/cm}$	80
SEGUNDA	750 - 1500 $\mu\text{mhos/cm}$	207
TERCERA	1500 - 2250 $\mu\text{mhos/cm}$	83
CUARTA	2250 - 3000 $\mu\text{mhos/cm}$	69
QUINTA	3000 - 4000 $\mu\text{mhos/cm}$	52
SEXTA	4000 - 6000 $\mu\text{mhos/cm}$	42
SEPTIMA	6000 - 8000 $\mu\text{mhos/cm}$	6
TOTAL		539
CONCESIONARIO		NÚMERO
SOCIEDAD DE USUARIOS DEL DDR 041		315
EJIDAL		25
PARTICULAR, PLAN COLECTIVO Y BOMBEO DIRECTO		199
TOTAL		539
NÚMERO DE POZOS POR ZONA		NÚMERO
VALLE ALUVIAL		128
CANAL BAJO		169
CANAL ALTO		121
COCORAQUE		121
TOTAL		539



DISPONIBILIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

ANTECEDENTES

México es un país eminentemente árido, donde el riego es necesario para producir en más del 80% de su territorio, razón por la cual está obligado a aprovechar sus recursos tanto superficiales como subterráneos para establecer áreas de riego.

En el establecimiento de cualquier sistema o distrito de riego, debe conocerse el volumen de agua disponible para fijar la superficie total que se podrá regar, para que en función de la disponibilidad hidráulica, se puedan satisfacer las demandas hídricas de las plantas que en ella se establezcan.

Los volúmenes disponibles de agua se determinarán a través del cálculo en un determinado lapso de años o ciclos agrícolas, de los volúmenes escurridos y almacenados, mediante la estimación de un porcentaje de probabilidad de escurrimiento que maximice los beneficios, lo cual se lleva a través del análisis estadístico de los datos observados en un periodo de años y obtener así el volumen que se puede disponer en el mes, ciclo agrícola o año de 12 meses.

Esta última consideración es importante para definir, primero, el tamaño del área de riego y, segundo, analizar con claridad los programas de riego que se pueden aplicar con la disponibilidad del agua de las diferentes fuentes.

La planeación del riego, es el balance hídrico de los volúmenes necesarios con que pueden contar para satisfacer las demandas de agua de los terrenos que forman el área de riego, para lo cual deben llevarse a efecto dos estimaciones fundamentales:

- La disponibilidad potencial del agua superficial.
- La probable demanda del agua anual o por ciclo agrícola, superficial y subterránea.

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA DISPONIBILIDAD POTENCIAL DE AGUA EN CORRIENTES SUPERFICIALES

Se entiende por disponibilidad hidráulica potencial, el valor del volumen del escurrimiento medio anual o por año agrícola.

Para valorar los volúmenes de agua que escurren y almacenan en el año, se toma en cuenta el periodo comprendido del 1° de octubre al 30 de septiembre del año siguiente.

Para seleccionar el procedimiento a seguir en la determinación del volumen disponible, tanto mensual como anual o por ciclo agrícola, es necesario precisar las siguientes consideraciones:

Lámina 4. Localización del distrito de riego del Yaqui

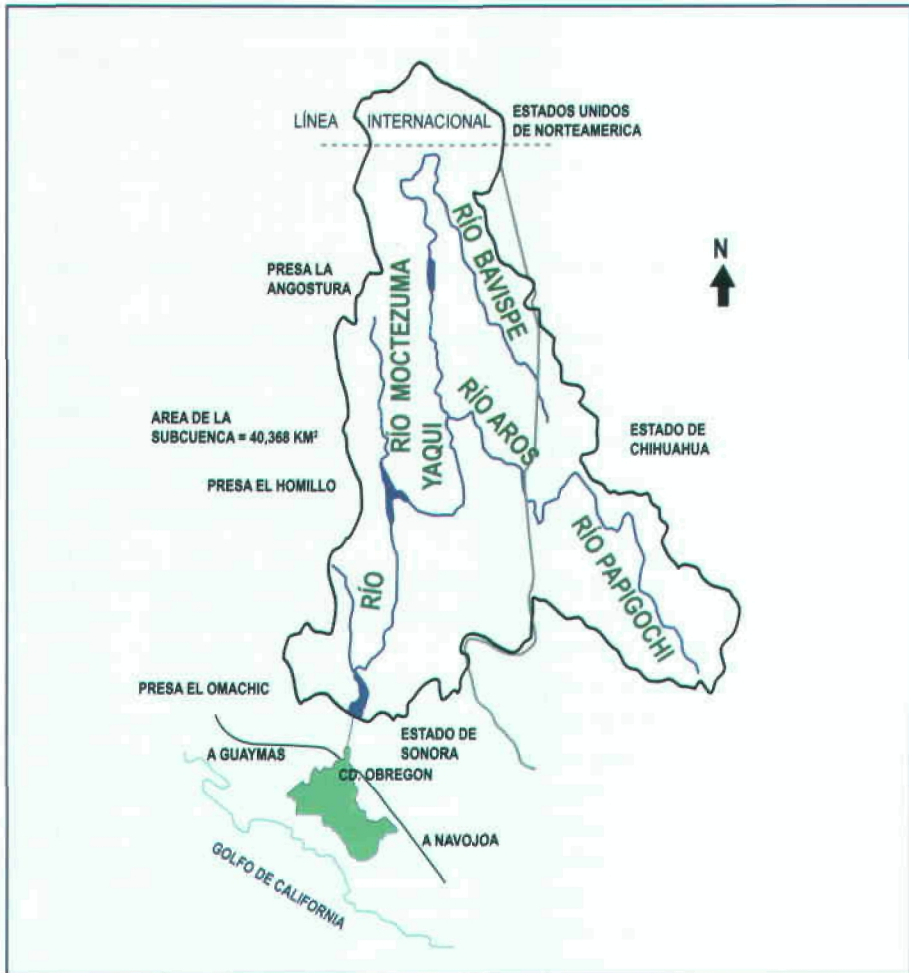


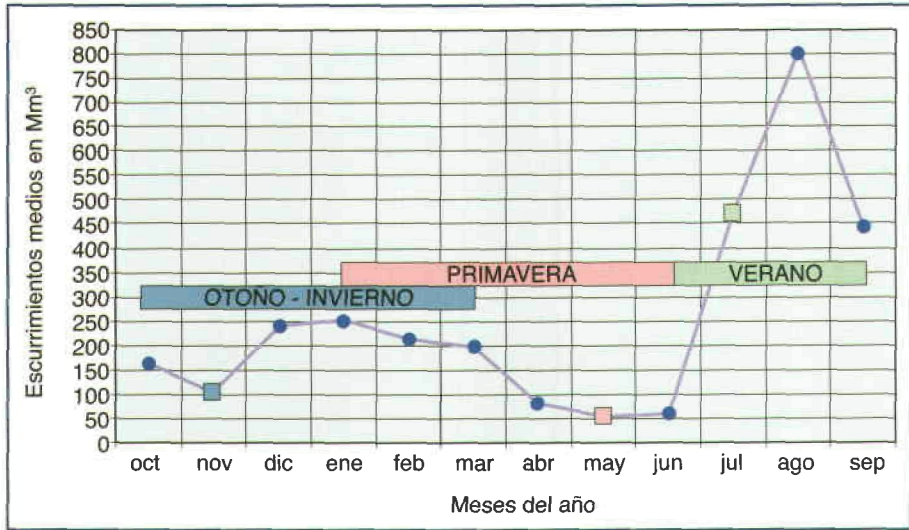
Tabla 6. ENTRADA EN LA PRESA ÁLVARO OBREGÓN

(Aportaciones Deducidas + Lluvias)

	CICLO	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
1	1955-56	330.4	45.9	51.3	42.6	68.4	49.9	33.7	22	27.1	381.5	402.5	106	1561.30
2	1956-57	38.4	37.3	43.3	106.6	137.9	54.1	36.4	41.2	8	448.4	823.6	409.5	2184.70
3	1957-58	215.8	86.8	50.5	56.9	89.2	598.5	97.8	51.3	52.4	393.3	1031.3	683.5	3407.30
4	1958-59	316.2	80.5	120.3	53.6	55.9	71.6	40.7	22.4	16.7	383.7	19.34	476.3	3571.90
5	1959-60	113.6	82	108	140.3	198.2	98.9	51.1	42.9	34.4	364.8	575.9	374.8	3447.40
6	1960-61	72	35.6	50.9	254.6	109.9	53.8	41.1	30.4	43.1	376.4	478.5	396.6	1942.90
7	1961-62	129.3	90.7	138.3	452.1	146.8	308.5	78.6	34.4	34.2	511.4	305.3	482.3	2711.90
8	1962-63	147.2	54.9	149	108.2	120.1	52	34	30.7	14.5	645.4	1040.8	579.2	2976.00
9	1963-64	106.6	45.9	236.4	57.5	58.6	61.1	37.6	26.9	8.5	450.2	1121.8	905.5	3116.60
10	1964-65	126.8	84.9	63.3	63.5	190.7	112.1	74.3	59.7	12.8	219.5	406.8	563.3	1977.7
11	1965-66	52.9	46.4	584.6	142.3	260.6	116.0	45.3	36.2	71.3	629.4	1804.4	465.7	4255.1
12	1966-67	118.1	50.4	74.3	41.6	41.8	66.6	50.6	49.0	113.2	614.0	795.6	190.5	2205.7
13	1967-68	80.7	326.7	1268.3	341.7	736.8	968.1	169.4	101.3	93.3	830.0	945.1	498.9	6360.3
14	1968-69	109.3	108.8	108.3	102.0	151.5	99.2	76.9	91.6	82.5	529.6	433.8	241.3	2134.8
15	1969-70	53.6	100.4	141.5	78.6	107.3	141.3	72.5	60.8	42.4	407.9	916.8	395.9	2519.0
16	1970-71	64.4	59.2	78.8	60.2	73.4	65.5	33.6	58.1	55.6	452.5	912.5	229.2	2143.0
17	1971-72	484.7	177.6	171.5	103.3	71.7	84.3	73.6	64.1	110.5	319.6	771.0	587.2	3019.1
18	1972-73	322.1	234.6	130.0	581.7	844.6	414.5	124.3	94.9	88.9	337.9	764.2	158.2	4095.9
19	1973-74	57.3	58.7	66.8	77.2	79.8	77.1	46.2	57.9	75.5	578.6	664.0	644.1	2483.2
20	1974-75	153.4	258.5	91.9	103.4	188.8	56.4	40.3	45.0	50.3	639.0	682.5	658.2	2967.7
21	1975-76	54.2	52.5	123.1	99.6	198.9	77.4	58.5	26.8	51.3	808.8	282.0	354.3	2187.4
22	1976-77	159.7	63.5	75.8	144.8	89.2	67.7	45.8	33.5	46.4	494.4	808.7	431.8	2461.3
23	1977-78	176.5	44.0	52.7	96.2	150.3	657.6	72.5	37.2	71.9	205.4	503.0	463.5	2530.8
24	1978-79	336.4	122.8	378.7	1253.1	378.8	152.0	78.5	74.2	109.7	370.8	567.5	203.3	4025.8
25	1979-80	49.9	55.4	63.0	75.8	115.6	59.3	59.4	25.0	67.1	328.7	839.0	595.7	2333.9
26	1980-81	150.0	42.9	85.3	355.7	121.7	461.6	76.0	59.3	107.4	708.6	911.8	561.6	3641.9
27	1981-82	185.1	79.9	51.6	83.7	80.4	98.8	52.0	31.0	39.4	223.3	310.7	282.7	1518.6
28	1982-83	53.7	64.3	552.7	319.6	645.6	1171.3	411.1	128.4	87.1	300.1	796.9	599.2	5130.0
29	1983-84	584.9	289.6	362.0	131.8	98.0	99.3	105.9	78.5	133.1	520.7	1516.3	410.3	4330.4
30	1984-85	257.7	120.0	1872.2	1105.3	592.0	323.2	185.7	158.5	156.6	456.7	755.5	406.5	6389.9
31	1985-86	234.6	132.3	102.5	122.4	175.0	139.0	77.4	88.0	87.6	1243.9	1133.7	865.9	4402.3
32	1986-87	204.6	158.5	456.4	144.6	126.9	151.5	106.1	97.5	92.1	161.9	635.7	149.4	2485.2
33	1987-88	44.6	76.5	110.3	103.3	97.5	62.0	86.3	53.6	53.3	681.2	1800.8	580.5	3749.9
34	1988-89	146.1	72.9	85.2	103.7	160.4	84.3	53.5	60.5	64.8	228.9	850.2	623.1	2533.6
35	1989-90	85.3	77.2	72.1	87.0	143.8	134.6	86.7	42.2	62.1	1353.9	1876.3	701.3	4722.5
36	1990-91	421.8	150.3	611.6	446.6	253.5	540.4	117.3	74.2	84.9	539.9	1401.3	1281.8	5923.6
37	1991-92	147.7	129.2	584.7	998.5	476.4	377.3	179.9	115.6	98.6	276.4	827.4	255.6	4467.3
38	1992-93	90.2	94.4	163.4	1197.5	649.4	410.7	122.7	125.4	93.4	535.3	676.7	521.6	4680.7
39	1993-94	148.1	197.0	220.2	137.1	127.2	90.5	51.4	58.4	107.7	357.7	454.4	416.2	2365.9
40	1994-95	65.7	297.5	778.7	178.8	840.0	171.7	107.6	58.2	54.6	236.8	346.1	406.2	3541.9
41	1995-96	60.6	93.5	61.1	58.3	73.8	57.2	46.8	32.6	35.2	511.5	672.0	857.2	2559.8
42	1996-97	80.3	54.0	80.3	62.2	52.9	80.7	55.8	59.3	41.4	196.6	684.6	321.1	1769.2
43	1997-98	98.9	71.2	456.7	181.2	273.6	197.1	132.8	23.4	61.2	328.5	572.8	153.9	2551.3
44	1998-99	72.3	55.7	54.0	30.6	74.1	49.4	39.1	24.9	15.4	780.6	811.0	333.9	2341.0
45	1999-00	44.8	63.6	115.1	75.0	69.8	68.0	38.7	7.2	79.1	444.4	364.9	133.8	1504.4
46	2000-01	453.2	296.3	83.4	101.4	239.8	94.9	55.1	14.4	19.9	493.6	714.6	184.3	2750.9
47	2001-02	184.4	46.0	66.3	55.6	130.3	77.7	44.2	14.3	11.3	146.9	535.1	101.5	1413.6
48	2002-03	19.6	42.0	96.3	78.0	119.5	94.0	24.0	13.7	4.5	104.4	255.7	155.2	1006.9
49	2003-04	36	1.5	7.4	31.2	28.7	49.6	53.5	8.9	3.2	415	355.6	213	1203.60
50	2004-05	137.9	220.8	345.8	772.6	1001.8	94.6	52.5	16.4	79	116.4	820.3	330.9	3989.00
51	2005-06	53.9	62.4	43.6	60.7	62.5	58.6	40.3	16.6	23.2				421.80
	Media	155.5	105.8	234.1	253.4	223.13	192.19	77.943	52.25	160.365	461.69	797.76	439.1	3019.87

Aportaciones en millares de m³

Lámina 5. Escurrecimientos medios del río Yaqui (periodo de 1955-56 a 2002-03)



y solamente con la presa derivadora de hornos (corriente no controlada).

Al analizar los valores de los volúmenes medios de los meses críticos de cada subciclo agrícola, se detecta el mes de noviembre como crítico para cultivos del subciclo otoño-invierno así como mayo y/o junio para cultivos del subciclo de primavera y para los cultivos que se establezcan en el subciclo de verano el mes de julio.

Deben estudiarse los escurrimientos medios al 75% de probabilidad de ocurrencia en

para cultivos de otoño-invierno	mes de noviembre
para cultivos de primavera	mes de mayo y/o junio
para cultivos de verano	mes de julio

cada uno de los meses críticos de cada subciclo.

Una vez seleccionados los meses más bajos de cada subciclo, se determinan los volúmenes que escurrirán.

El método más rápido y sencillo es el conocido como de probabilidad empírica, el cual se apoya en la utilización de la fórmula de Weibull.

Calculadas las probabilidades de ocurrencia, es necesario encontrar una regla técnica y práctica que permita establecer a qué nivel de probabilidad se escogerán los volúmenes que fijará la superficie de riego.

Si el nivel de probabilidad seleccionado es alto, se asegurará que el agua no faltará, pero, también es muy probable que se desperdicien algunos volúmenes, pero si el nivel es bajo, se corre el riesgo de que el agua llegue a escasear en el período más crítico y coincida cuando la demanda sea mayor.

Por ello es conveniente efectuar en cada uno de los subciclos (de otoño-invierno, primavera y verano), el análisis de los meses con más bajo volumen para fijar la superficie máxima del cultivo establecido de cada subciclo, así como los volúmenes de agua que probablemente escurran.

En corrientes no controladas, lo más conveniente es utilizar el 75% de probabilidad para garantizar los riegos de los cultivos y aún así, se corre el riesgo en aquellos meses cuyos escurrimientos son de menor cuantía.

DISTRIBUCIÓN EMPÍRICA O DE WEIBULL

A continuación se presenta un ejemplo aplicando la metodología con la fórmula de Weibull, para determinar la disponibilidad en diferentes niveles de ocurrencia, con datos de los volúmenes de escurrimientos del río Yaqui, registrados durante 1955-56 a 2002-03.

- Se seleccionan los tres meses donde los escurrimientos sean más bajos y por lo tanto valores críticos de los tres subciclos.
- Se tabulan los volúmenes medios que escurrieron durante los meses críticos del período de años registrados.
- Los volúmenes mensuales de los escurrimientos se ordenan de mayor a menor.
- La probabilidad empírica de ocurrencia se calcula mediante la fórmula de weibull.

FÓRMULA DE WEIBULL

$$PB = \frac{M}{N + 1} * 100$$

PB = probabilidad empírica

M = número de orden

N = número de evento

**Tabla 7. ENTRADAS (Aportaciones Deducidas + Lluvias)
a nivel de presa Álvaro Obregón (Oviáchic)**

NO.	CICLO	NOVIEMBRE	Pb	MAYO	Pb	JULIO	Pb
1	1967-68	326.7	2.04	158.5	2.04	1353.9	2.04
2	1994-95	297.5	4.08	128.4	4.08	1243.9	4.08
3	2000-01	296.3	6.12	125.4	6.12	830.0	6.12
4	1983-84	289.6	8.16	115.6	8.16	808.8	8.16
5	1974-75	258.5	10.20	101.3	10.20	780.6	10.20
6	1972-73	234.6	12.24	97.5	12.24	708.6	12.24
7	1993-94	197.0	14.29	94.9	14.29	681.2	14.29
8	1971-72	177.6	16.33	91.6	16.33	645.4	16.33
9	1986-87	158.5	18.37	88.0	18.37	639.0	18.37
10	1990-91	150.3	20.41	78.5	20.41	629.4	20.41
11	1985-86	132.3	22.45	74.2	22.45	614.0	22.45
12	1991-92	129.2	24.49	74.2	24.49	578.6	24.49
13	1978-79	122.8	26.53	64.1	26.53	539.9	26.53
14	1984-85	120.0	28.57	60.8	28.57	535.3	28.57
15	1968-69	108.8	30.61	60.5	30.61	529.6	30.61
16	1969-70	100.4	32.65	59.7	32.65	520.7	32.65
17	1992-93	94.4	34.69	59.3	34.69	511.5	34.69
18	1995-96	93.5	36.73	59.3	36.73	511.4	36.73
19	1961-62	90.7	38.78	58.4	38.78	494.4	38.78
20	1957-58	86.8	40.82	58.2	40.82	493.6	40.82
21	1964-65	84.9	42.86	58.1	42.86	456.7	42.86
22	1959-60	82.0	44.90	57.9	44.90	452.5	44.90
23	1958-59	80.5	46.94	53.6	46.94	450.2	46.94
24	1981-82	79.9	48.98	51.3	48.98	448.4	48.98
25	1989-90	77.2	51.02	49.0	51.02	444.4	51.02
26	1987-88	76.5	53.06	45.0	53.06	407.9	53.06
27	1988-89	72.9	55.10	42.9	55.10	393.3	55.10
28	1997-98	71.2	57.14	42.2	57.14	383.7	57.14
29	1991-92	129.2	24.49	74.2	24.49	578.6	24.49
30	1999-00	63.6	61.22	37.2	61.22	376.4	61.22
31	1976-77	63.5	63.27	36.2	63.27	370.8	63.27
32	1970-71	59.2	65.31	34.4	65.31	364.8	65.31
33	1973-74	58.7	67.35	33.5	67.35	357.7	67.35
34	1998-99	55.7	69.39	32.6	69.39	337.9	69.39
35	1979-80	55.4	71.43	31.0	71.43	328.7	71.43
36	1962-63	54.9	73.47	30.7	73.47	328.5	73.47
37	1996-97	54.0	75.51	30.4	75.51	319.6	75.51
38	1975-76	52.5	77.55	26.9	77.55	300.1	77.55
39	1966-67	50.4	79.59	26.8	79.59	276.4	79.59
40	1965-66	46.4	81.63	25.0	81.63	236.8	81.63
41	2001-02	46.0	83.67	24.9	83.67	228.9	83.67
42	1955-56	45.9	85.71	23.4	85.71	223.3	85.71
43	1963-64	45.9	87.76	22.4	87.76	219.5	87.76
44	1977-78	44.0	89.80	22.0	89.80	205.4	89.80
45	1980-81	42.9	91.84	14.4	91.84	196.6	91.84
46	2002-03	42.0	93.88	14.3	93.88	161.9	93.88
47	1956-57	37.3	95.92	13.7	95.92	146.9	95.92
48	1960-61	35.6	97.96	7.2	97.96	104.4	97.96

Área regable para los cultivos de otoño - invierno (noviembre-abril) donde el escurrimiento crítico del sub-ciclo agrícola ocurre en el mes de noviembre.

El volumen de escurrimiento al 75% de probabilidad según el cálculo de probabilidad empírico del mes de noviembre, es de 53.70 mm³ y la necesidad de satisfacer la demanda de agua para toda la superficie cultivada durante el mes con cultivos de invierno es de 2,000 m³/ha. que corresponde a aplicar un riego al área sembrada con una lámina bruta de 0.20 m.

La superficie máxima regable durante el mes de noviembre:

$$\text{Hectáreas físicas (ha)} = \frac{\text{Vol. Escurrido al 75\% en noviembre}}{\text{Vol} * \text{ha} * \text{Riego}}$$

substituyendo valores

$$\text{Hectáreas físicas (ha)} = \frac{53.70 \times 10^6}{0.20 \times 10^4} = \frac{53,700}{2} = 26,850 \text{ ha}$$

Área regable para sub-ciclo primavera-verano (mayo).

Según el registro, el mes de mayo proporciona 30,400 mm³ y como la necesidad de riego mensual requiere una lámina bruta de 20 cm ó sea 2,000 m³/ha la relación entre esos dos volúmenes proporcionará el área de riego que podrá ser cultivada en ese mes.

$$\text{Hectáreas físicas (ha)} = \frac{\text{Vol. Escurrido al 75\%}}{\text{Vol} * \text{ha} * \text{Riego}} = \frac{3.04 \times 10^6}{0.2 \times 10^4} = 15,200 \text{ ha}$$

Área regable que puede ser autorizada para el subciclo de verano-otoño comprendido de julio a noviembre.

Por ejemplo: arroz, que es en donde los escurrimientos mensuales son más grandes; el mes con el que el volumen más bajo del subciclo sería octubre, cuyo valor de escurrimiento medio es de 319.00 mm³.

Las hectáreas físicas que pueden autorizarse considerando una lámina bruta de 0.40m por ser arroz.

$$\text{Hectáreas físicas (ha)} = \frac{319 \times 10^6}{0.4 \times 10^4} = 79,900 \text{ ha}$$

se puede asegurar y autorizar hasta 79,900 ha para el período de junio a octubre.



DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD POTENCIAL DEL AGUA EN RÍOS PARCIAL O TOTALMENTE CONTROLADOS

ESTIMACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA ANUAL CUANDO LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO ESTA PARCIAL O TOTALMENTE CONTROLADA MEDIANTE PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y/O REGULACIÓN

El uso o destino del agua almacenada en presas, presenta dos aspectos fundamentales:

- Estimar los volúmenes que probablemente escurran por ciclo agrícola para asegurar con mínimo riesgo la demanda requerida por los cultivos que forman los planes de riego.
- Fijar el área total o tamaño del distrito a la que se deberá proporcionar el agua de riego durante los ciclos agrícolas sin problemas, con la oportunidad requerida.

En la mayoría de los ríos, existen meses con altos escurrimientos y otros muy bajos, requiriéndose por lo tanto de un número de estructuras almacenadoras de agua para no desperdiciar los volúmenes en épocas de lluvia que puedan ser utilizados en el estiaje.

El propósito principal de almacenar agua es de ajustar con el tiempo, el patrón de volúmenes disponibles por el almacenamiento.

$\sum_1^n VD$ = volúmenes disponibles en los almacenamientos en la cuenca

$\sum_1^n VE$ = volumen que entra por escurrimiento y lluvias en la cuenca

$\sum_1^n VS$ = volúmenes que salen por demanda de riegos, evaporación y pérdida de filtración

MÉTODOS PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DEL AGUA

Para precisar los volúmenes de agua probables de los escurrimientos, se recurre a los métodos probabilísticos, mencionados anteriormente, los más utilizados son:

- Distribución empírica de Weibull
- Distribución normal o log-normal
- Distribución de frecuencias acumuladas y/o intervalos de clases.

Tabla 8. Distribución empírica de Weibul

FÓRMULA DE WEIBULL $P_b = \frac{M}{n+1}$ M = Número de orden; n = Número de evento

ESCURRIMIENTOS ANUALES DEL RÍO YAQUI POR WEIBULL

ORDEN	CICLOS AGRÍCOLAS	VOLUMEN Mm ³	Pb de Weibull
1	1984-85	6389.90	2.04
2	1967-68	6360.30	4.08
3	1990-91	5923.60	6.12
4	1982-83	5130.00	8.16
5	1989-90	4722.50	10.20
6	1992-93	4680.70	12.24
7	1991-92	4467.30	14.29
8	1985-86	4402.30	16.33
9	1983-84	4330.40	18.37
10	1965-66	4255.10	20.41
11	1972-73	4095.90	22.45
12	1978-79	4025.80	24.49
13	1987-88	3749.90	26.53
14	1980-81	3641.90	28.57
15	1958-59	3571.90	30.61
16	1994-95	3541.90	32.65
17	1959-60	3447.40	34.69
18	1957-58	3407.30	36.73
19	1963-64	3116.60	38.78
20	1971-72	3019.10	40.82
21	1962-63	2976.00	42.86
22	1974-75	2967.70	44.90
23	2000-01	2750.90	46.94
24	1961-62	2711.90	48.98
25	1995-96	2559.80	51.02
26	1997-98	2551.30	53.06
27	1988-89	2533.60	55.10
28	1977-78	2530.80	57.14
29	1969-70	2519.00	24.49
30	1986-87	2485.20	61.22
31	1973-74	2483.20	63.27
32	1976-77	2461.30	65.31
33	1993-94	2365.90	67.35
34	1998-99	2341.00	69.39
35	1979-80	2333.90	71.43
36	1966-67	2205.70	73.47
37	1975-76	2187.40	75.51
38	1956-57	2184.70	77.55
39	1970-71	2143.00	79.59
40	1968-69	2134.80	81.63
41	1964-65	1977.70	83.67
42	1960-61	1942.90	85.71
43	1996-97	1769.20	87.76
44	1955-56	1561.30	89.80
45	1981-82	1518.60	91.84
46	1999-00	1504.40	93.88
47	2001-02	1413.60	95.92
48	2002-03	1006.90	97.96
Suma		148401.50	
Media	\bar{X}	3091.70	

METODOLOGÍA PARA DETERMINAR SI CORRESPONDE A LA DISTRIBUCIÓN NORMAL O LOG NORMAL

Generalmente los valores hidrológicos dentro de los cuales destacan la precipitación, escurrimientos, etc, se ajustan con mayor precisión a una distribución estadística log-normal que a una normal y la elección de uno u otro caso, puede seleccionarse mediante el siguiente procedimiento.

La metodología para calcular los volúmenes disponibles de una corriente enmarca los siguientes pasos:

Es fundamental la selección de los escurrimientos y almacenamientos de un período grande.

- Los volúmenes anuales que escurrieron y se almacenan durante el período de años que se tengan registrados, de preferencia en número mayor de 30 años y/o ciclos agrícolas.
- Los valores de los volúmenes escurridos y almacenados durante estos ciclos, se ordenan de mayor a menor.
- Se calcula la probabilidad empírica de ocurrencia mediante el desarrollo de la fórmula de Weibull.
- Se determina si la dispersión de datos corresponden a una distribución normal o log-normal, de preferencia utilizando las formas de probabilidad, elaboradas por casas comerciales especializadas, con el fin de definir a cuál de ambos se ajusta.
- Si se utilizan las formas de probabilidades (no. 468003 y 468043) de Keuffer Esser, la primera para una distribución normal y la segunda para una distribución log-normal, donde se colocan los volúmenes totales anuales en las ordenadas y las probabilidades calculadas con la fórmula de Weibull en las abscisas y se observa el tipo de dispersión, para precisar y seleccionar la distribución que más se ajuste.
- En esta forma es posible obtener por lo menos dos puntos que definan la recta de ajuste y con ella estimar los valores probables a diferentes niveles de probabilidad.
- Si se ajusta a una distribución log-normal, se calcula la desviación estándar de los logaritmos de los volúmenes observados, y esta se sumará o restará a la media aritmética (k_s) probabilidades y el antilogaritmo del valor obtenido será el valor esperado al 15.87% y 84.13% de probabilidad.
- Si la distribución de una serie de medidas es normal, el valor de la media aritmética sumada a la desviación estándar, representará una probabilidad de aproximadamente el 15.87% y del 84.13%.
- Una vez seleccionada, se calcula la media, la varianza y la desviación estándar o típica de los datos.

DISTRIBUCIÓN NORMAL O LOG-NORMAL

1. Se registran los Volúmenes Anuales de Almacenamientos (mayores de 30 años y/o ciclos agrícolas).

2. Se ordenan los valores de mayor a menor.

3. Se calcula la probabilidad empírica de ocurrencia mediante la fórmula de Weibull.

4. Se determina si la Dispersión corresponden a una Distribución Normal ó Log-Normal.

5. Se grafican los volúmenes totales anuales en las ordenadas y las probabilidades calculadas (fórmula de Weibull) en las abscisas.

6. Se obtienen al menos dos puntos que definan la recta de ajuste y con ella se estiman los valores probables a diferentes niveles de probabilidad.

7. Una vez seleccionada, se calcula la Media Aritmética de los Logaritmos, sus Desviaciones y Varianza y su Error Estándar ó Típico y el Contraste de Confianza.

8. Si la Distribución es Normal, o Log-Normal, el valor de la Media Aritmética sumada a la Desviación Estándar (probabilidad aproximada de 16% y restada a la Media Aritmética se obtiene el 84%.

9. Si se ajusta una distribución LOG-NORMAL, se calcula la Desviación Estándar de los logaritmos de los volúmenes, y ésta se sumará o restará a la Media Aritmética de los Logaritmos, el Antilogaritmo será el valor esperado al 16% ó al 84% de Probabilidad respectivamente.

Lámina 6. Prueba de ajuste de datos

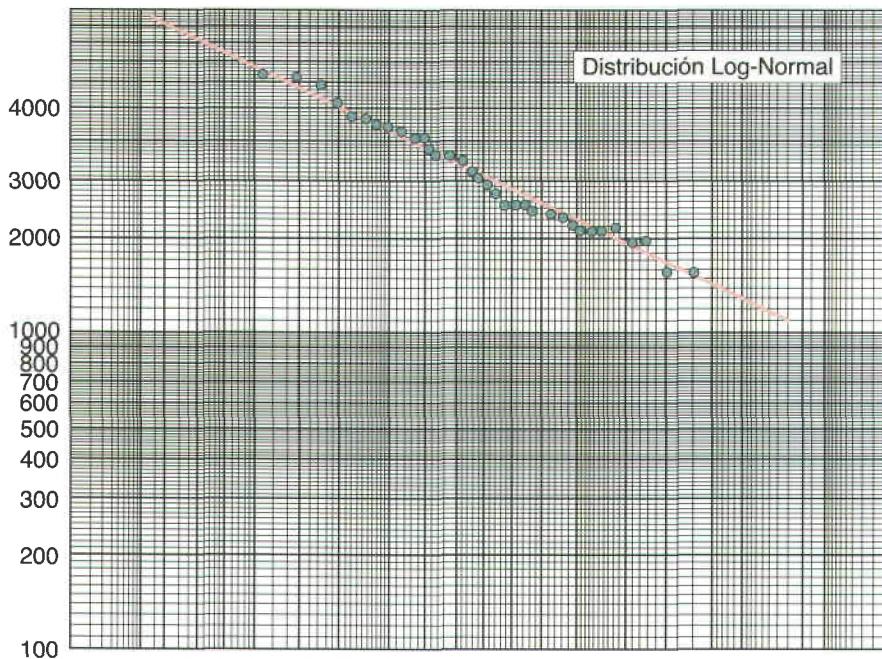
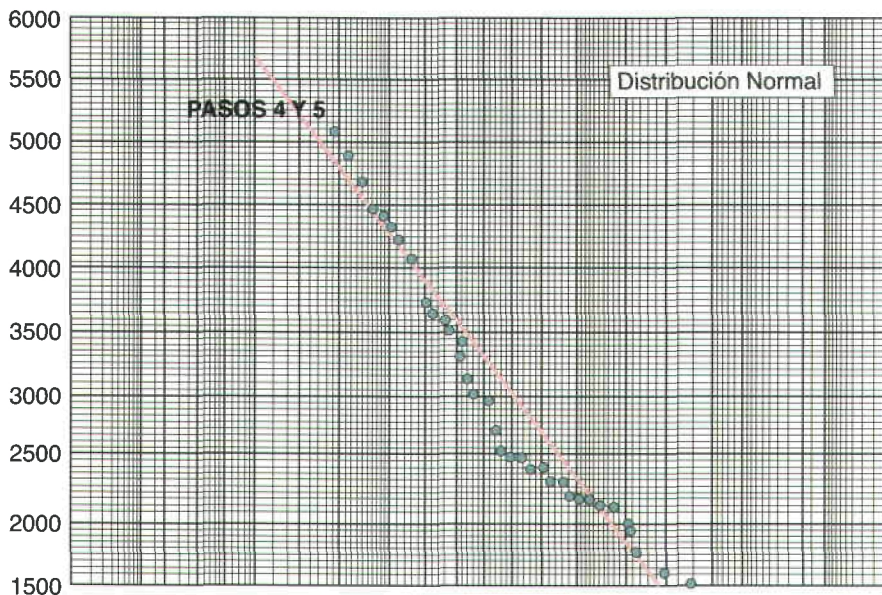


Lámina 7. Entradas al sistema de presas

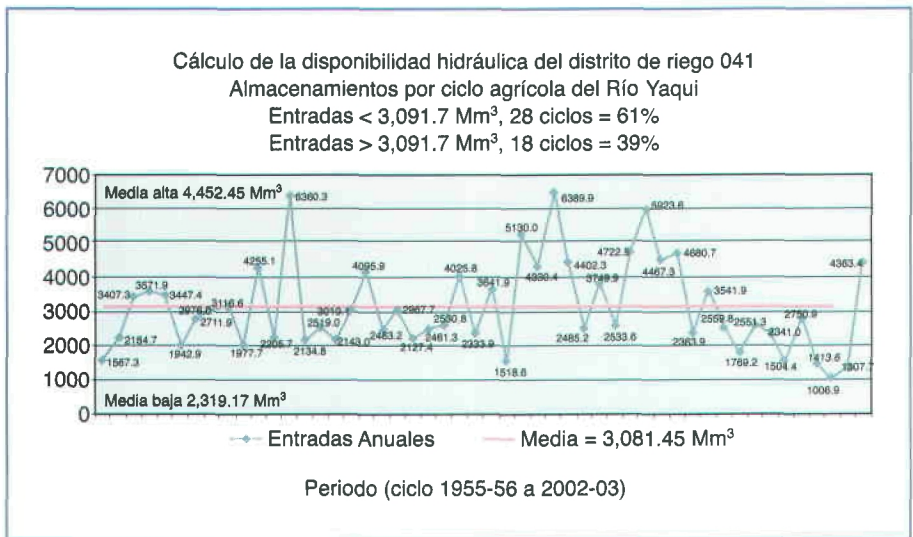


Tabla 9. Cálculo del escurrimiento (log-normal) del río Yaqui

NO. ORDEN	CICLOS AGRÍCOLAS	VOLUMEN Mm ³	LOG DE VOLUMEN	X-Log	DIFERENCIA CUADRADA d ²	Pb de Weibull
1	1984-85	6389.90	3.805494	-0.35029	0.12270	2.04
2	1967-68	6360.30	3.803478	-0.34828	0.12130	4.08
3	1990-91	5923.60	3.772586	-0.31738	0.10073	6.12
4	1982-83	5130.00	3.710117	-0.25491	0.06498	8.16
5	1989-90	4722.50	3.674172	-0.21897	0.04795	10.20
6	1992-93	4680.70	3.670311	-0.21511	0.04627	12.24
7	1991-92	4467.30	3.650045	-0.19484	0.03796	14.29
8	1985-86	4402.30	3.643680	-0.18848	0.03552	16.33
9	1983-84	4330.40	3.636528	-0.18133	0.03288	18.37
10	1965-66	4255.10	3.628910	-0.17371	0.03017	20.41
11	1972-73	4095.90	3.612349	-0.15715	0.02470	22.45
12	1978-79	4025.80	3.604852	-0.14965	0.02240	24.49
13	1987-88	3749.90	3.574020	-0.11882	0.01412	26.53
14	1980-81	3641.90	3.561328	-0.10613	0.01126	28.57
15	1958-59	3571.90	3.552899	-0.09770	0.00954	30.61
16	1994-95	3541.90	3.549236	-0.09403	0.00884	32.65
17	1959-60	3447.40	3.537492	-0.08229	0.00677	34.69
18	1957-58	3407.30	3.532410	-0.07721	0.00596	36.73
19	1963-64	3116.60	3.493681	-0.03848	0.00148	38.78
20	1971-72	3019.10	3.479877	-0.02468	0.00061	40.82
21	1962-63	2976.00	3.473633	-0.01843	0.00034	42.86
22	1974-75	2967.70	3.472420	-0.01722	0.00030	44.90
23	2000-01	2750.90	3.439475	0.01573	0.00025	46.94
24	1961-62	2711.90	3.433274	0.02193	0.00048	48.98
25	1995-96	2559.80	3.408206	0.04700	0.00221	51.02
26	1997-98	2551.30	3.406762	0.04844	0.00235	53.06
27	1988-89	2533.60	3.403738	0.05146	0.00265	55.10
28	1977-78	2530.80	3.403258	0.05194	0.00270	57.14
29	1969-70	2519.00	3.401228	0.05397	0.00291	24.49
30	1986-87	2485.20	3.395361	0.05984	0.00358	61.22
31	1973-74	2483.20	3.395012	0.06019	0.00362	63.27
32	1976-77	2461.30	3.391165	0.06404	0.00410	65.31
33	1993-94	2365.90	3.373996	0.08121	0.00659	67.35
34	1998-99	2341.00	3.369401	0.08580	0.00736	69.39
35	1979-80	2333.90	3.368082	0.08712	0.00759	71.43
36	1966-67	2205.70	3.343546	0.11166	0.01247	73.47
37	1975-76	2187.40	3.339928	0.11527	0.01329	75.51
38	1956-57	2184.70	3.339392	0.11581	0.01341	77.55
39	1970-71	2143.00	3.331022	0.12418	0.01542	79.59
40	1968-69	2134.80	3.329357	0.012585	0.01584	81.63
41	1964-65	1977.70	3.296160	0.15904	0.02529	83.67
42	1960-61	1942.90	3.288450	0.16675	0.02781	85.71
43	1996-97	1769.20	3.247777	0.20743	0.04303	87.76
44	1955-56	1561.30	3.193486	0.26172	0.06850	89.80
45	1981-82	1518.60	3.181443	0.27376	0.07494	91.84
46	1999-00	1504.40	3.177363	0.27784	0.07719	93.88
47	2001-02	1413.60	3.150327	0.30488	0.09295	95.92

CÁLCULO DE PROBABILIDAD DE LOG-NORMAL

$$Pb = \frac{M}{n+1} \times 100$$

Pb = Probabilidad Empírica

M = Número de orden

n = Número

$$S^2 = \frac{\sum d^2}{n-1} = \frac{1.47782}{47} = 0.03144 \text{ (Varianza)}$$

$$S = \sqrt{0.03144} = 0.17731 \text{ (Desviación Estandar)}$$

PROBABILIDAD

$$P^v = X \pm KS$$

$$K_{(25-75)} = 0.674$$

X = Media de los Logaritmos

$$K_{(50)} = 0.000$$

$$K_{(16-84)} = 0.994$$

VOLUMEN

$$Pb_{16} = 3.455202 + 0.994 (0.17731) = 3.63144 \text{ AntLog} = 4,280.00 \text{ Mm}^3$$

$$Pb_{84} = 3.455202 - 0.994 (0.17731) = 3.27895 \text{ AntLog} = 1,900.88 \text{ Mm}^3$$

$$Pb_{25} = 3.455202 + 0.674 (0.17731) = 3.57470 \text{ AntLog} = 3,755.85 \text{ Mm}^3$$

$$Pb_{50} = 3.455202 = 3.45520 \text{ AntLog} = 2,852.34 \text{ Mm}^3$$

$$Pb_{75} = 3.455202 - 0.674 (0.17731) = 3.335696 \text{ AntLog} = 2,166.18 \text{ Mm}^3$$

Considerando una muestra pequeña, el volumen escurrido queda:

$$t = \bar{X} \pm 2.01 \frac{S}{\sqrt{n}} \quad t = \text{students}$$

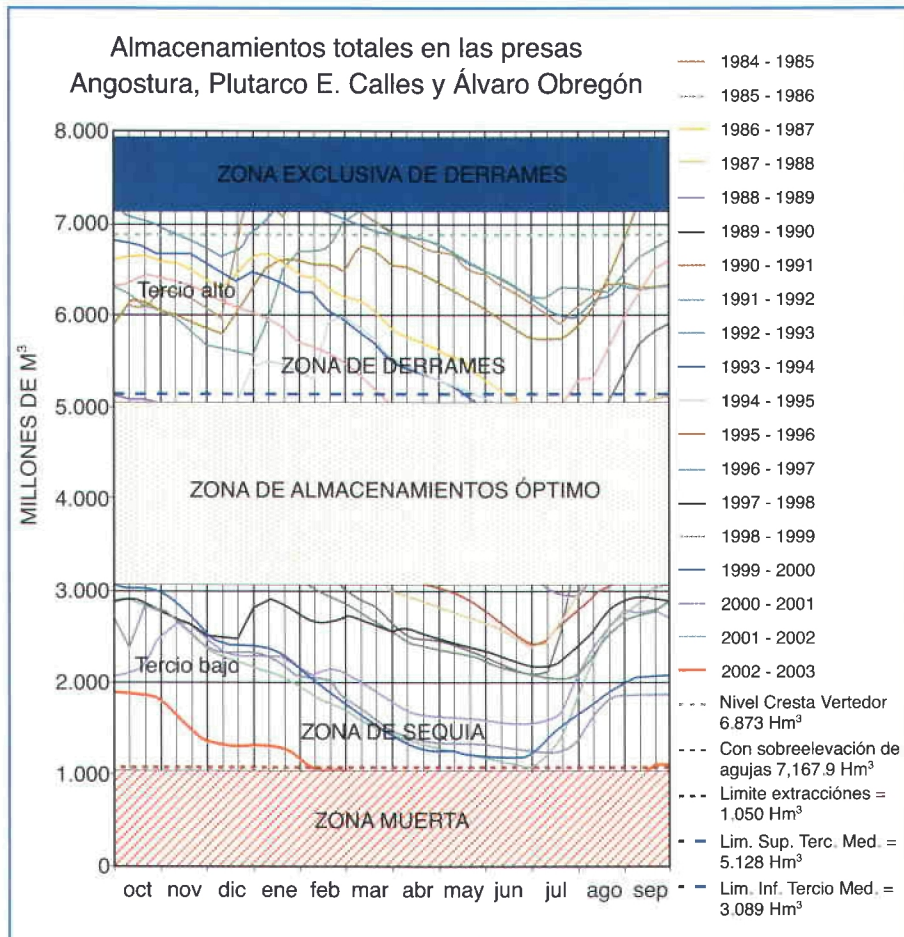
$$(t) = \text{Intervalo de Confianza} = 3.455202 \pm 2.01 \frac{0.17731}{6.92}$$

$$t \text{ sup} = 3.50670, \text{ AntLog} = 3,211.47 \text{ millones } m^3$$

$$t \text{ inf} = 3.40370, \text{ AntLog} = 2,533.37 \text{ millones } m^3$$

$$\text{Error típico de la media} \left\{ Sn = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.17731}{\sqrt{48}} = 0.0256 \right.$$

Lámina 8. Almacenamientos en las presas



Anexos

Tabla 10. Puntos críticos de la distribución t de Student

p	p	10	5	2	1
g. l. = $n-1$	1	6.31	12.7	31.8	63.7
	2	2.92	4.30	6.96	9.92
	3	2.35	3.18	4.54	5.84
	4	2.13	2.78	3.75	4.60
	5	2.02	2.57	3.36	4.03
	6	1.94	2.45	3.14	3.71
	7	1.89	2.36	3.00	3.50
	8	1.86	2.31	2.90	3.36
	9	1.83	2.26	2.82	3.25
	10	1.81	2.23	2.76	3.17
	11	1.80	2.20	2.72	3.11
	12	1.78	2.18	2.68	3.05
	13	1.77	2.16	2.65	3.01
	14	1.76	2.14	2.62	2.98
	15	1.75	2.13	2.60	2.95
	16	1.75	2.12	2.58	2.92
	17	1.74	2.11	2.57	2.90
	18	1.73	2.10	2.55	2.88
	19	1.73	2.09	2.54	2.86
	20	1.72	2.09	2.53	2.85
	21	1.72	2.08	2.52	2.83
	22	1.72	2.07	2.51	2.82
	23	1.71	2.07	2.50	2.81
	24	1.71	2.06	2.49	2.80
	25	1.71	2.06	2.49	2.79
	26	1.71	2.06	2.48	2.78
	27	1.70	2.05	2.47	2.77
	28	1.70	2.05	2.47	2.76
	29	1.70	2.05	2.46	2.76
	30	1.70	2.04	2.46	2.75
	40	1.68	2.02	2.42	2.70
	50	1.68	2.01	2.40	2.68
	60	1.67	2.00	2.39	2.66
80	1.66	1.99	2.37	2.64	
100	1.66	1.98	2.36	2.63	
∞	1.64	1.96	2.33	2.58	

MÉTODO DE PROBABILIDAD POR INTERVALO DE CLASES

Para calcular la probabilidad de ocurrencia de los volúmenes escurridos de una corriente, ya sea mensual, por ciclo agrícola o anual, se puede aplicar el método de frecuencias acumuladas de las aportaciones observadas.

Este método también conocido como "la curva masa u ojiva", consiste en efectuar un ordenamiento en forma creciente de los valores correspondientes al período por estudiar, con el fin de determinar la probabilidad de ocurrencia de las aportaciones y/o escurrimientos de una corriente y con estos valores formar el cuadro y gráfica de frecuencias acumuladas y obtener con ellos los valores de probabilidad deseada.

Cálculo y formación del cuadro y gráfica

1. Los valores de los escurrimientos se ordenan de menor a mayor y posteriormente se determina el número de clases en que se asegurarán los valores.

Para obtener el número mínimo de clases requeridas se puede utilizar la siguiente fórmula empírica:

$$C = 1 + 3.3 \text{ LOG}_{10} N$$

C = clase

N = número de observaciones

2. una vez obtenido el número de clases, si estos son insuficientes, se incrementarán en un número mayor, reduciendo el valor del rango, el cual se obtiene con la diferencia entre el valor de la observación mayor y el valor de la menor entre el número de clases, mediante la siguiente igualdad:

$$R = \frac{X \text{ máx} - X \text{ mín}}{C}$$

R = rango

C = número de clases obtenido ó deseado

X max = valor del escurrimiento máximo

Xmin = valor del escurrimiento mínimo

3. Una vez separados en clases, se determinarán los valores de la frecuencia relativa y se calcula la frecuencia acumulada, obteniendo a la vez porcentajes de dicha frecuencia.

4. Se forma la gráfica correspondiente, utilizando un sistema de ejes coordenados donde en el eje de las ordenadas se colocan los datos de la frecuencia acumulada en porcentaje (%) y el eje de las abscisas, los volúmenes de los escurrimientos observados expresados en millones de metros cúbicos.

Para mayor comprensión se calculará la disponibilidad de agua a diferentes valores de probabilidad de ocurrencia, teniendo como base a los volúmenes escurridos dentro de un período de 48 años de observación.

La metodología es expuesta en los diferentes puntos 1, 2, 3 y 4.

1. Cuadro de escurrimientos mensuales y anuales de una corriente de un período de 48 ciclos agrícolas.
2. Ordenamiento de los datos de los 48 ciclos agrícolas.
3. Cálculo del número mínimo de clases para 48 ciclos, con la sig. fórmula:

$$C = 1 + 3.3 \text{ LOG}_{10} 48 = 6.54$$

$$\text{Número mínimo de clases} = 6.54 \cong 7.00$$

4. El valor del rango de clases:

$$R = \frac{X \text{ máx} - X \text{ mín}}{C}$$

R = rango de clases

X max = 6,389.90 (escurrimiento máximo en 48 ciclos)

X min = 1,006.90 (escurrimiento mínimo en 48 ciclos)

$$R = \frac{6,839.90 - 1006.90}{7} = 769.00$$

Como el valor del rango de 768.91 mm³, proporciona solamente un número muy reducido de clases; incrementaremos las clases disminuyendo el valor del rango, para lo cual se aumenta el número de clases a 18 y el valor del rango (r) será:

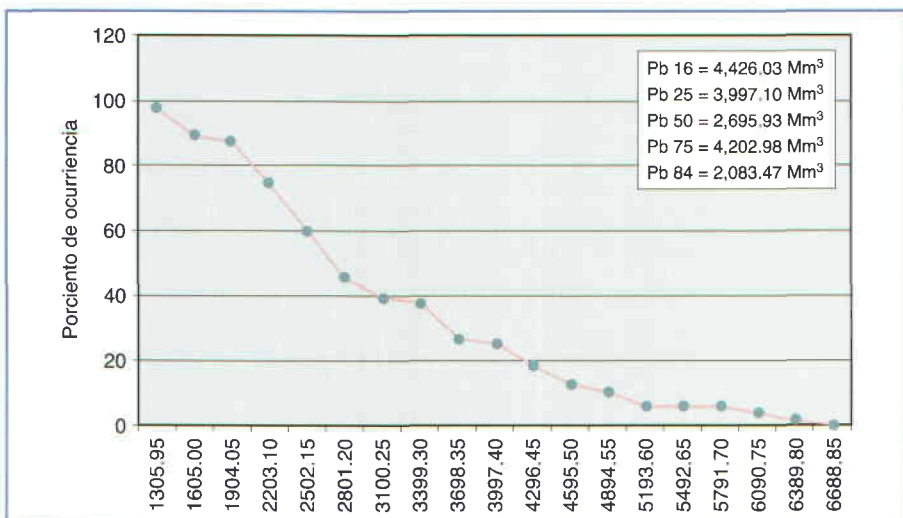
X máx = 6,389.90 Mm ³	X mín = 1,006.90 Mm ³	C = 18
----------------------------------	----------------------------------	--------

$$R = \frac{X \text{ máx} - X \text{ mín}}{18} = \frac{6,839.90 - 1006.90}{18} = \frac{4,870}{18} = 299.05$$

Tabla 11. Cuadro de la disponibilidad hidráulica método de frecuencias acumuladas

Clases	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% Frecuencia acumulada	Coordenadas	
				x	y
1006.90 - 1305.95	1	1	2.08	1305.95	97.92
1305.95 - 1605.00	4	5	10.42	1605.00	89.58
1605.00 - 1904.05	1	6	12.50	1904.05	87.50
1904.05 - 2203.10	6	12	25.00	2203.10	75.00
2203.10 - 2502.15	7	19	39.58	2502.15	60.42
2502.15 - 2801.20	7	26	54.17	2801.20	45.83
2801.20 - 3100.25	3	29	60.42	3100.25	39.58
3100.25 - 3399.30	1	30	62.50	3399.30	37.50
3399.30 - 3698.35	5	35	72.92	3698.35	27.08
3698.35 - 3997.40	1	36	75.00	3997.40	25.00
3997.40 - 4296.45	3	39	81.25	4296.45	18.75
4296.45 - 4595.50	3	42	87.50	4595.50	12.50
4595.50 - 4894.55	1	43	89.58	4894.55	10.42
4894.55 - 5193.60	2	45	93.75	5193.60	6.25
5193.60 - 5492.65	0	45	93.75	5492.65	6.25
5492.65 - 5791.70	0	45	93.75	5791.70	6.25
5791.70 - 6090.75	1	46	95.83	6090.75	4.17
6090.75 - 6389.80	1	47	97.92	6389.80	2.08
6389.80 - 6689.90	1	48	100.00	6688.85	0.00

Lámina 9. Gráfica de la disponibilidad hidráulica método de frecuencias acumuladas



A continuación se presenta un cuadro donde se pueden comparar los valores de probabilidades estimados por medio de cada uno de los tres métodos.

Tabla 12. Cuadro comparativo del cálculo de probabilidades por los tres diferentes métodos

Porcentaje de probabilidad	Resumen de los tres diferentes métodos			Promedio
	weibull	log normal	frecuencias acumuladas	
16	4,412.70	4,280.00	4,426.03	4,372.91
25	3,948.54	3,755.85	3,997.10	3,900.50
50	2,632.80	2,852.34	2,695.93	2,727.02
75	2,191.79	2,166.18	2,202.98	2,186.98
84	1,971.90	1,900.88	2,083.47	1,985.42

Conviene aceptar la disponibilidad del 50% de probabilidad del método log normal, con un valor de 2,852.34 Mm³, para definir el área de riego del distrito 041, río Yaqui, así como su capacidad de almacenamiento para fines de riego.

Disponibilidad total por ciclo agrícola según las tres fuentes de disponibilidad hidráulica

Fuentes	Volumen mm ³
Precipitación pluvial	0.00
Extracción por bombeo	450.00 mm ³
Probabilidad del 50% de ocurrencia de almacenamiento del río Yaqui, según período 1955-1956 a 2003-2004 para riego	2,852.34 mm ³
Volumen total de disponibilidad hidráulica	3,302.34 mm ³

VOLÚMENES COMPROMETIDOS EN LA CUENCA ALTA (sectores ganadero, urbano e industrial)

USO GANADERO

Se han construido gran cantidad de represas para uso de ganado sin el debido control y casi siempre con capacidades mayores a las requeridas, con lo que se aumentan las pérdidas por evaporación y filtraciones de fuertes volúmenes.

Es necesario normar la capacidad de construcción de estas represas en toda la cuenca y revisar las existentes para conocer la capacidad necesaria según el ganado e índice de aridez de los predios, dado que el agua sobrante o no útil, se pierde por evaporación y filtraciones.

Se debe calcular el gasto que se desfogará en los vertedores y además impermeabilizar las represas con plástico y tierra para disminuir pérdidas. Es justificable dar preferencia a pozos con bombas "papalote" o de molinos de viento y *pumping yake*.

Por otra parte, los ganaderos tienden a aumentar el número de represas en los ranchos. Actualmente existen más 2,000 mil represas.

USO AGRÍCOLA CON OBRAS DE PEQUEÑA IRRIGACIÓN DENTRO DE LA CUENCA

En los últimos años, dentro de la cuenca alta se han construido algunas Presas de Almacenamiento para irrigar áreas localizadas a lo largo de los cauces de ríos. Los volúmenes comprometidos alcanzan a la fecha 187.90 millones de metros cúbicos.

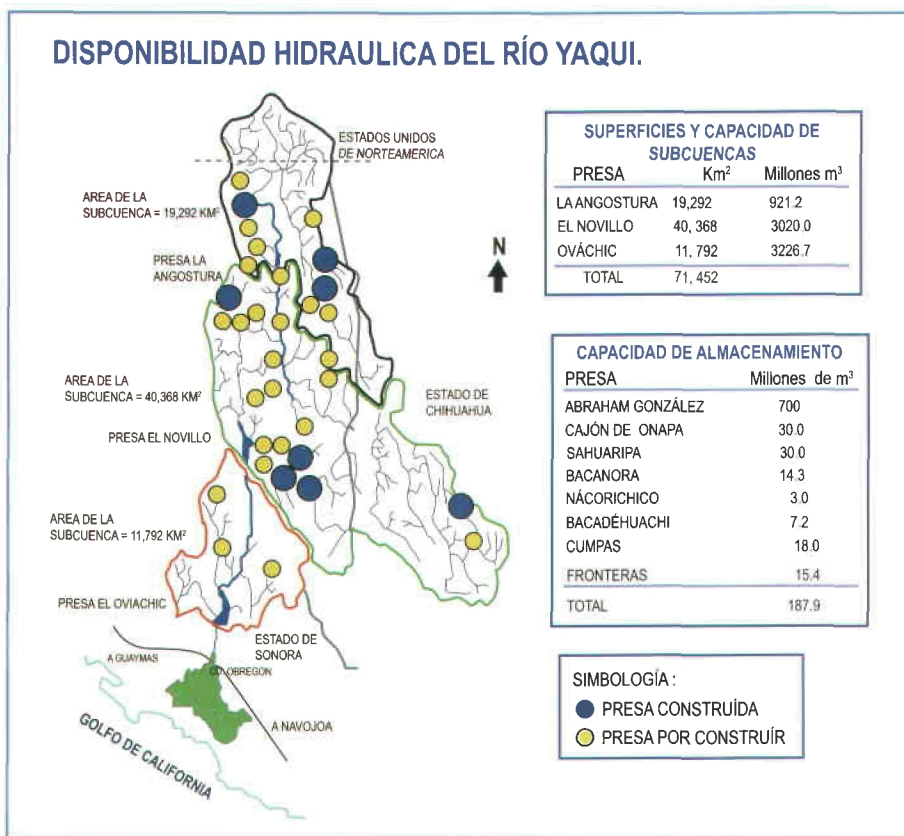
Capacidad de almacenamiento

Presa	Mm ³
Abraham González	70.00
Cajón de Onapa	30.00
Sahuaripa	30.00
Bacanora	14.30
Nácori Chico	3.00
Bacadéhuachi	7.20
Cumpas	18.00
Fronteras	15.40
Total	187.90

Existen estudios y proyectos para crear nuevas obras que constituyen potencialmente una disminución de la disponibilidad hidráulica del río Yaqui sobre todo, al ser presas almacenadoras.

La afectación sería mínima, si en estas pequeñas áreas de riego se construyen presas derivadoras, así como canales revestidos y con una asesoría de riegos se utilizarán los volúmenes para consumo de las plantas y los excedentes regresarían a la corriente.

Lámina 10. Disponibilidad hidráulica del río Yaqui



USO URBANO E INDUSTRIAL

Como parte de los compromisos que afectan las extracciones presentes y futuras, figuran las destinadas a satisfacer las demandas para uso doméstico.

El marco de explotación para fines doméstico e industrial, presenta una tendencia ascendente tanto por el incremento de la población en los distritos de riego, así como en las poblaciones vecinas u otras dentro del estado. (Cd. Obregón, Esperanza, Pueblo Yaqui, Vícam, Villa Juárez, Bácum, etcétera).

Así como el acueducto construido para satisfacer a Empalme, Guaymas-San Carlos y anexas, demandarán aproximadamente 350 Mm³ en los próximos veinte años. Si no se planea su autorización, condicionando a realizar obras que rescaten los volúmenes disponibles, se afectarán los recursos superficiales y subterráneos existentes.



ÁREA TOTAL O TAMAÑO DEL DISTRITO DE RIEGO EN FORMA SUSTENTABLE

ANTECEDENTES

Desde 1967 en que se puso en operación la última presa, se han presentado cinco diferentes derrames en la presa Álvaro Obregón (Oviáchic) de los cuales tres de ellos son considerables:

Derrames de la presa Álvaro Obregón

CICLOS	Q MAX VERTIDO (m ³ /s)	VOL. DERRAMADO MILES m ³
1984-85	815	1,156,337.60
1990-91	295	1,437,790.00
1991-92	724	953,613.00

Al estar en operación las tres diferentes presas, el volumen más alto derramado a través de la cresta del vertedor (así como por las dos diferentes Tomas Alta y Baja operando simultáneamente), es de 1,437 Mm³, durante los meses de septiembre de 1990 a febrero de 1991.

Se considera que la capacidad de almacenamiento faltante sería igual al volumen máximo derramado de 1,437 Mm³ más el almacenamiento máximo sin derramar. Para tener al río aproximadamente controlado, se puede aceptar que es necesario un almacenamiento de 2.5 a 3.0 veces el total del sistema de presas. Aplicando esta consideración a la corriente del río Yaqui, la capacidad máxima sería igual a 7,168 Mm³ existentes más 1,438 Mm³ vertidos por la presa Álvaro Obregón.

Capacidad Máxima de Almacenamiento = K (Vme) despejando a " K "

$$K = \frac{\text{Capacidad Máxima de Almacenamiento Necesario}}{Vme}$$

K = Índice de Almacenamiento Existente + Almacenamiento Faltante.

Vme = Vol. Medio escurrido al 50% de ocurrencia = 2,852 Mm³ (período de 48 años)

Substituyendo Valores:

$$K = \frac{\text{Cap. Máxima de Almacenamiento}}{V_{me}} = \frac{7,168 + 1,437}{2,852} = \frac{8,605}{2,852} = 3.1 \text{ veces}$$

Consecuentemente, la capacidad necesaria de almacenamiento para la corriente del río Yaqui está entre 2.5 a 3.5 veces.

Índice de Aprovechamiento (I_a):

$$I_a = \frac{\text{Capacidad Construida}}{\text{Capacidad Necesaria}} * 100 = \frac{7,168}{8,605} * 100 = \underline{83.30\%}$$

En virtud de que se trata de una corriente con 83% de control y con tres diferentes presas que regulan las avenidas, aún las extraordinarias, se puede aprovechar el 100% del escurrimiento medio del río Yaqui.

DISPONIBILIDAD POTENCIAL HIDRÁULICA DE LA CUENCA DEL RÍO YAQUI

Tabla 13. Cuadro resumen

CONCEPTO	VOLUMEN	
Escurrecimiento medio del río yaqui (Mm ³) con el 50% de probabilidad de ocurrencia se obtiene		2,852.34
Volúmenes comprometidos (Mm ³) de la cuenca, evaporación y pérdidas.	-275.00	
Mexicana del Cobre	-30.00	
Pueblos ribereños	-80.00	
volumen disponible distrito 018	-250.00	
Volumen de agua potable para Ciudad Obregón y Guaymas	-75.00	-710.00
Volumen disponible distrito 041, río Yaqui		2,142.34
Volumen de pozos profundos	+450.00	
Volumen disponible a nivel presa Álvaro Obregón (Mm ³) más volumen de pozos.		2,592.34

Como disponibilidad potencial, el río proporciona un escurrimiento medio de 2,852.34 Mm³, los cuales, al restarle los volúmenes comprometidos a lo largo de su recorrido y las pérdidas por evaporación en las presas que comprenden 710.00 Mm³, solamente podrá disponerse de 2,142.34 Mm³ por ciclo agrícola de agua superficial, así como 2,592.34 Mm³ contando con 450 Mm³ de las aguas procedentes de bombeo.

SUPERFICIE MÁXIMA QUE DEBEN CONSTITUIR LOS DISTRITOS DE RIEGO

En estas condiciones, se determina el área óptima que deberá tener el Distrito de Riego, la cual es ligeramente diferente para una corriente controlada o parcialmente controlada.

La superficie máxima de los distritos de riego, se calcula mediante la igualdad siguiente:

$$\frac{\text{SUPERFICIE TOTAL DEL DISTRITO RIEGO}}{\text{LÁMINA BRUTA ANUAL/Ha}} = \frac{\text{VOLUMEN APROVECHABLE}}{\text{LÁMINA BRUTA ANUAL/Ha}}$$

Dado que esta corriente alimenta dos diferentes distritos ubicados uno en la margen derecha y otro en la margen izquierda

LA LÁMINA BRUTA DE 1.00M/HA A NIVEL DE FUENTE DE ABASTECIMIENTO O SEAN 10, 000 m³/HA. HA SIDO LA BASE PARA CALCULAR EL TAMAÑO DE LOS DISTRITOS DE RIEGO EN LA REPÚBLICA MEXICANA, ASÍ COMO LA CAPACIDAD O GASTO MÁXIMO DE LOS CANALES PRINCIPALES.

La superficie de riego ha quedado definida de la manera siguiente:

2,592.34 Mm³ a los cuales se les restan 250 Mm³ que es el volumen destinado a Colonias Yaqui 018.

$$2,592.34 \text{ Mm}^3 - 250 \text{ Mm}^3 = 2,342.34 \text{ Mm}^3$$

$$\frac{\text{SUPERFICIE TOTAL DEL DISTRITO DE RIEGO 041, RÍO YAQUI}}{1.00 \times 10^4} = \frac{2,342.34 \times 10^6}{1.00 \times 10^4} = 234,234 \text{ ha}$$

Considerando que para el Distrito de Riego 018, Col. Yaqui (C. Y.), Se destinan 250 Mm³, la superficie será:

$$\text{SUPERFICIE DEL DISTRITO 018 (C. Y.)} = \frac{250 \times 10^6}{1.00 \times 10^4} = 25,000 \text{ ha}$$

$$\text{SUPERFICIE TOTAL DEL DISTRITO 041 (R. Y.) + DISTRITO 018 (C. Y.)} = 234,234 + 25,000 = 259,234 \text{ ha}$$

Dado que se deben aprovechar para el riego 2,342.34 Mm³ de las presas del río Yaqui y 450 Mm³ de bombeo o sea 2,592.34 Mm³ en todos los ciclos agrícolas en las 259,234 ha cultivables el volumen por ha por utilizar será:

$$\text{VOLUMEN / ha} = \frac{2,592.34 \times 10^6}{259,234 \times 10^4} = 1.00 \text{ m} = 10,000 \text{ m}^3/\text{ha}$$



ALMACENAMIENTOS QUE DEBEN CONSERVARSE EN LAS PRESAS PARA EXTRAER UN VOLUMEN CONSTANTE POR CICLO AGRÍCOLA EN UN SISTEMA CONTROLADO

El propósito primordial de los distritos de riego es mantener al sistema de presas dentro de un rango de volúmenes almacenados en el tercio medio de la capacidad total de los almacenamientos aprovechables.

El propósito principal de almacenar agua en un sistema hidrológico es el de ajustar con el tiempo el balance de los volúmenes que entran y salen y sostener una explotación sustentable bajo la siguiente igualdad:

$$\sum_1^n vd = \sum_1^n Ve - \sum_1^n Vs$$

- $\sum Vd =$ Suma de Volúmenes Disponibles Mm^3
- $\sum Ve =$ Suma de Volúmenes Escurridos Mm^3
- $\sum Vs =$ Suma de Volúmenes Extraídos Mm^3

Esta consideración debe tenerse en cuenta para no incurrir en el error de autorizar extracciones de volúmenes mayores que los aportados en los escurrimientos y poner en peligro las reservas almacenadas, ocasionando con el tiempo, una baja paulatina de los almacenamientos, e incluso llegar a niveles de escasez.

Graficando los almacenamientos históricos del valle del Yaqui, comprendidos desde la línea de derrames (7,167 Mm^3) o capacidad máxima de almacenamiento y la línea de almacenamiento muerto más la carga de operación de las presas (1,050 Mm^3) con lo cual quedan definidas cinco diferentes zonas, denominadas:

Zona de derrames excesiva > 7,167 Mm³	Pb = 16%
Tercio medio alto (zona de derrames definida entre los rangos de 7,167 a 5,128 Mm ³).	Pb = 25%
Tercio medio (zona óptima de funcionamiento, cuyos volúmenes almacenados quedan entre 5,128 y 3,089 Mm³).	Pb = 50%
Tercio bajo (zona de escasez), cuyos volúmenes quedan entre 3,089 Mm ³ y 1,050 Mm ³).	Pb = 75%
Zona de almacenamientos muertos <1050, >450	Pb = 84%

De las cinco zonas se deberá mantener y cuidar la zona de almacenamiento óptimo para poder llevar a efecto una continua extracción en todos los ciclos agrícolas próximos y mantener el nivel de almacenamiento óptimo denominado tercio medio.

Tercio medio "zona de almacenamiento óptimo", cuyos volúmenes almacenados quedan entre 5,128 y 3,089 Mm³, con un aprovechamiento constante y permanente por ciclo agrícola pb = 50% de 2,852 Mm³.

Sin embargo se presentan ciclos agrícolas con volúmenes almacenados menores o mayores que el tercio medio con lo cual existe la necesidad de precisar el valor existente de las presas (al día 1° de octubre), como necesario y útil para el próximo ciclo. Utilizando los valores de un período de ciclos correspondientes a esta consideración, se presentan varios valores de volúmenes requerido según la existencia en las presas.

Sin embargo, cuando se presentan almacenamientos diferentes habrá que utilizarlos de la manera siguiente:

Tabla 14. Disponibilidad de agua para diferentes probabilidades

DISPONIBILIDAD DEL AGUA AL 01 DE OCTUBRE EN EL SISTEMA DE PRESAS (48 CICLOS AGRÍCOLAS)						
	98%	84%	75%	50%	25%	16%
Volumen almacenado en presas al 01 oct.	1,006	1,900	2,166	2,852	3,756	4,280
Volumen muerto y carga hidráulica	-1100	-1100	-1100	-1100	-1100	-1100
Volumen comprometido DDR 018, Col. Yaquis	-250	-250	-250	-250	-250	-250
Volumen comprometido pueblos ribereños	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Volumen extracción Distrito 041	0	470	736	1,422	2,326	2,850
Volumen P. Control S.R.L. (96%)	0	451	706	1,365	2,233	2,736
Volumen P. control módulos (83.5%)	0	376	590	1,139	1,864	2,284
Volumen de bombeo	+450	+450	+450	+450	+450	+450
Volumen total	450	827	1,040	1,590	2,314	2,734
Volumen uso doméstico	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Volumen total para riego	400	776	990	1,540	2,264	2,684
Superficie de riego	206,000	206,000	206,000	206,000	206,000	206,000
Dotación por hectárea nivel módulo	1.9	3.7	4.8	7.4	11.0	13.0
Dotación por hectárea nivel parcela	1.4	2.8	3.6	5.6	8.2	9.75
Superficie por autorizar con 7,500 m ³ ha	53,333	103,466	132,266	205,333	323,333	357,866
Precio probable del millar de m ³ para presupuesto de 120 millones de pesos	300	154	121	105	105	105

Los valores de 1,100 Mm³ en todas las probabilidades carecen de carga hidráulica suficiente para extraer gastos mayores de 50Mm³/s en meses de mayor demanda. En el siguiente cuadro, se presentan dos diferentes grupos de disponibilidades, las de 98%, 84% y 75% con demanda menor (1,100Mm³) y los de 50%, 25% y 16% (almacenamientos mayores en las presas), cuyo azolve y carga hidráulica requieren tener 1,400 Mm³.

Lámina 11. Curva gastos-elevaciones

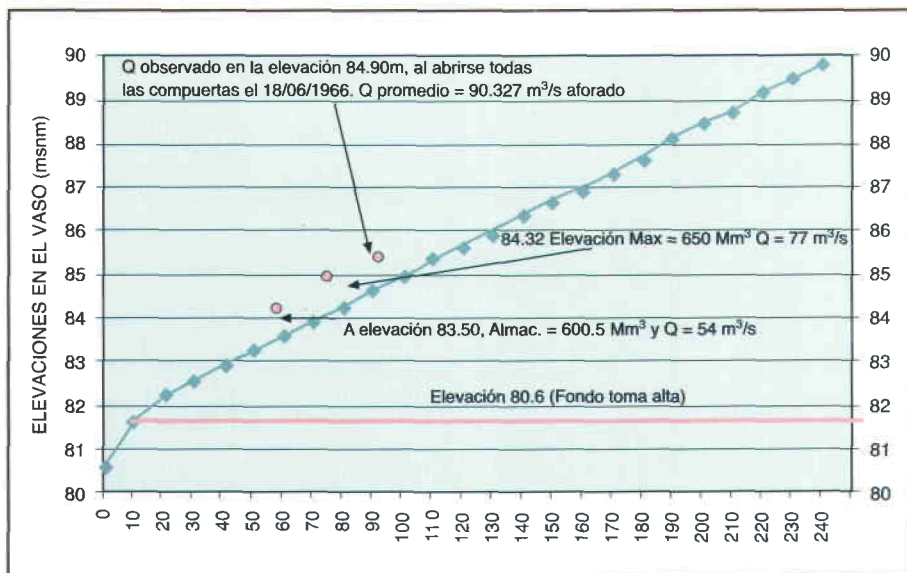


Tabla 15. Presa Álvaro Obregón (Oviáchic)

ELEVACIÓN EN EL VASO (m)	ALMACENAMIENTO Mm ³	GASTO Q = m ³ /s	NOTAS
80.60	444.60	0.00	DATOS AFOROS Y BOMBEO, 1953
81.00	463.00	2.00	
81.50	490.50	7.00	ELEV.= 82.75, ALMAC.= 558.50, Q=30m ³ /s
82.00	518.00	15.00	ELEV.= 83.50, ALMAC.= 600.50, Q=54m ³ /s
82.50	545.00	28.00	
83.00	572.00	41.00	ELEV.= 84.02, ALMAC.= 630.00, Q=68m ³ /s
83.50	600.50	50.00	
84.00	629.00	69.00	ELEV.= 84.32, ALMAC.= 650.00, Q=77m ³ /s
84.50	662.50	85.00	
85.00	696.00	100.00	ELEV. = 84.90, ALMAC.= 689.30, Q= 90.327 m ³ /s PROMEDIO
85.50	727.00	115.00	
86.00	758.00	129.00	ELEV. = 85.60, ALMAC.= 733, Q= 110 m ³ /s (SIN CONSIDERAR PÉRDIDAS POR FRICCIÓN)

Tabla 16. Disponibilidad de agua para diferentes probabilidades

DISPONIBILIDAD DEL AGUA AL 01 DE OCTUBRE EN EL SISTEMA DE PRESAS (48 ciclos agrícolas)						
	98%	84%	75%	50%	25%	16%
Volumen almacenado en presas al 01 oct.	1,006	1,900	2,166	2,852	3,756	4,280
Volumen muerto y azolve y carga hidráulica	-1100	-1100	-1100	-1400	-1400	-1400
Volumen comprometido DDR 018, Col. Yaquis	-250	-250	-250	-250	-250	-250
Volumen comprometido pueblos ribereños	-80	-80	-80	-80	-80	-80
Volumen extracción Distrito 041	0	470	736	1,122	2,026	2,550
Volumen P. Control S.R.L. (96%)	0	451	706	1,077	1,945	2,448
Volumen P. control módulos (83.5%)	0	376	590	899	1,624	2,044
Volumen de bombeo	+600	+600	+600	+450	+450	+450
Volumen total	600	976	1,190	1,349	2,074	2,494
Volumen uso doméstico	-50	-50	-50	-50	-50	-50
Volumen total para riego	550	926	1140	1,299	2,024	2,444
Superficie de riego	206,000	206,000	206,000	206,000	206,000	206,000
Dotación por hectárea nivel módulo	2.66	4.5	5.5	6.3	9.8	11.9
Dotación por hectárea nivel parcela	1.99	3.77	4.12	4.72	7.35	8.92
Superficie por autorizar con 7,500 m ³ ha	73,333	123,466	152,000	205,333	323,333	357,866
Precio probable del millar de m ³ para presupuesto de 120 millones de pesos	218	129	105	105	105	105

Con estos valores podemos pasar al siguiente concepto que es el plan de riegos.

Lámina 12. Almacenamientos requeridos según volúmenes existentes el 1o. de octubre en el sistema de presas del río Yaqui ciclo 2004-2005

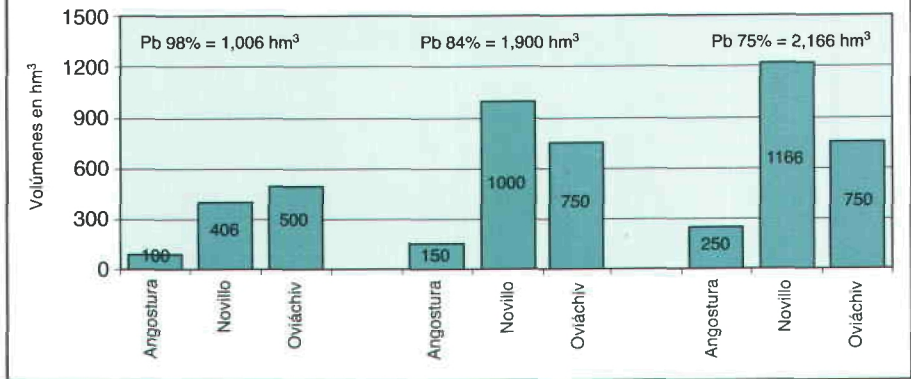
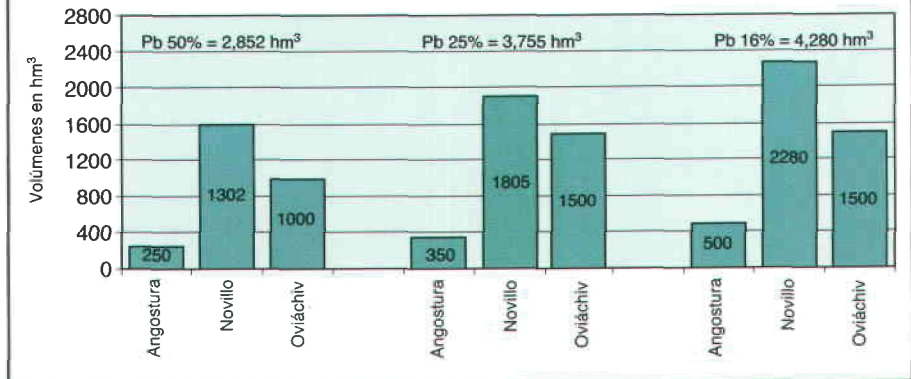


Lámina 13. Almacenamientos requeridos según volúmenes existentes el 1o. de octubre en el sistema de presas del río Yaqui ciclo 2004-2005



VOLÚMENES EXTRAÍDOS DE LA PRESA ÁLVARO OBREGÓN PARA RIEGO DEL DISTRITO DE RIEGO 041, RÍO YAQUI, ASÍ COMO LOS VOLÚMENES DE AGUA DE BOMBEO Y LAS SUPERFICIES CULTIVADAS

En la tabla 17 se presentan las extracciones de las presas, así como los volúmenes bombeados para el riego de 1969-70 a 2003-04, o sea 35 ciclos agrícolas, donde se extrajo para riego un volumen de 2,431,288 Mm³ y se bombearon 237,492 Mm³ para utilizar un volumen medio de 2,668.78 Mm³ y cultivar 280,575 ha en primeros y segundos cultivos con una aplicación media, de 9,480 m³/ha o sea, 9.48 millares/ha.

De esta tabla se detecta además, estar derivando 237 Mm³ adicionales del sistema de presas, dejando de extraer 213 Mm³ del acuífero, por espacio de 35 años.

El utilizar mayor volumen de las presas y al no extraer del acuífero los 450 Mm³ de agua, por ciclo ha contribuido a ocasionar el decremento de volúmenes almacenados en las presas.

En el renglón de superficies cultivadas se observa que en los ciclos 1984-85 y en 1985-86 alcanzaron valores de 362,710 ha y 355,871 ha cultivadas, respectivamente utilizando volúmenes de 3,545.996 Mm³ de agua para la primera y 3,627.892 Mm³ para la segunda, que es la explotación agrícola máxima que libremente puede realizarse sin limitaciones ó sea 1.6 veces la superficie física del distrito de 220,000 ha.

Tabla 17. Distrito de Riego del Río Yaqui, S. de R. L. de I. P. y C. V.
Extracciones Presa Álvaro Obregón para Distrito 041 y Superficie

	CICLO AGRÍCOLA	EXTRACCIONES Millares m ³				TOTAL	SUPERFICIE CULTIVADA	LÁMINA BRUTA
		PRESA PARA DTTO. 041	BOMBEO RED MAYOR	BOMBEO RED MENOR	SUMA BO MBEO			
1	1969-70	2,603,915	11,986	45,064	57,050	2,660,964	311.307	0.85
2	1970-71	2,448,117	46,207	126,924	173,131	2,621,247	266.327	0.98
3	1971-72	2,390,287	50,654	122,822	173,477	2,563,763	267.478	0.96
4	1972-73	2,666,800	56,387	110,180	166,566	2,833,366	318.007	0.89
5	1973-74	2,772,044	81,018	104,377	185,395	2,957,439	281.872	1.05
6	1974-75	2,393,056	61,506	96,727	158,233	2,551,289	302.121	0.84
7	1975-76	2,012,487	99,789	102,059	201,848	2,214,335	253.332	0.87
8	1976-77	1,677,869	77,545	47,721	125,266	1,803,135	218.773	0.82
9	1977-78	1,931,616	99,669	91,146	190,814	2,122,431	263.995	0.80
10	1978-79	2,455,297	115,147	136,047	251,194	2,706,491	333.417	0.81
11	1979-80	2,313,741	151,294	215,874	367,168	2,680,909	263.699	1.02
12	1980-81	2,265,461	150,546	204,167	354,713	2,620,174	305.486	0.86
13	1981-82	2,481,211	161,949	251,160	413,109	2,894,320	281.244	1.03
14	1982-83	2,237,136	148,722	207,757	356,479	2,593,615	315.563	0.82
15	1983-84	2,507,059	118,337	149,321	267,658	2,774,717	325.329	0.85
16	1984-85	3,455,970	34,961	55,035	89,996	3,545,966	362.710	0.98
17	1985-86	3,377,997	113,000	136,896	249,896	3,627,893	355.871	1.02
18	1986-87	3,583,649	96,649	124,019	220,668	3,804,317	327.673	1.16
19	1987-88	2,538,403	145,161	176,705	321,866	2,860,269	271.079	1.06
20	1988-89	2,908,256	150,612	125,791	276,404	3,184,659	298.067	1.07
21	1989-90	2,182,335	110,665	99,000	209,664	2,392,000	280.792	0.85
22	1990-91	3,017,099	67,622	60,775	128,396	3,145,495	293.273	1.07
23	1991-92	2,922,511	18,660	35,492	54,152	2,976,663	289.575	1.03
24	1992-93	3,378,370	29,877	47,676	77,553	3,455,923	323.190	1.07
25	1993-94	3,256,658	74,176	114,074	188,250	3,444,908	344.121	1.00
26	1994-95	2,681,493	32,998	32,661	65,659	2,747,152	258.908	1.06
27	1995-96	2,609,293	124,987	110,731	235,718	2,844,150	287.456	0.99
28	1996-97	2,156,762	180,192	197,634	377,826	2,533,609	246.988	1.03
29	1997-98	1,886,267	172,091	194,220	366,311	2,252,542	233.102	0.97
30	1998-99	1,659,607	153,565	164,561	318,126	1,977,733	221.558	0.89
31	1999-00	1,733,031	177,200	134,060	311,260	2,044,291	215.070	0.95
32	2000-01	1,450,483	223,996	128,119	352,116	1,714,305	207.173	0.83
33	2001-02	1,533,323	230,604	141,510	372,114	1,905,436	206.908	0.92
34	2002-03	1,176,174	211,679	204,985	416,664	1,592,838	208.084	0.77
35	2003-04	101,662	68,860	188,645	257,505	359,167	131.269	0.27
36	2004-05*							
	MEDIA	2,431,288	111,160	126,332	237,492	2,668,780	280,575	0.948

Ciclo sin agua de gravedad * Datos 31 de marzo 2005. Nota: Las medias son calculadas hasta 2002-03

Con esta consideración se pueden comprobar los resultados del período comprendido 1969-70 a 2002-03, del Distrito de Riego 041 Río Yaqui, donde se observa un cuadro de extracciones para el uso de riego, con valor de 2,668,780 Mm³ tanto de aguas de la presa como de la batería de pozos profundos, de la red mayor y la de red menor, con una superficie de 280,575 ha cultivadas, cuya lámina bruta obtenida en dicho período, resultó ser de 0.948, o sea 9.48 millares /ha, casi igual al valor de 10 millares/ha.

Queda perfectamente asentado que la disponibilidad hidráulica, producto de los escurrimientos del río Yaqui y la máxima extracción de los acuíferos, es insuficiente para regar el área de riego en los primeros y segundos cultivos.

En caso de pretender tres cultivos dentro de dos ciclos agrícolas, se explotaría un área total de 320,000 ha, o sea 1.5 veces el área de riego del distrito.

Sin embargo, los volúmenes necesarios en estas superficies sobrepasan las aportaciones del agua de las presas y acuíferos. Requiriendo para ello de 500 Mm³ de agua de fuentes ajenas a ellas, por ejemplo, incrementando la eficiencia de operación en la Red de Canales y en el uso de la propia parcela por el usuario.

En atención a las eficiencias y pérdidas de agua, puede establecerse proporcionar 7.50 millares anivel de boca toma de parcela, de 8.40 millares a nivel de boca toma del módulo y 10.00 millares de boca toma de estructuras en hornos y km 14 en el canal alto:

7.50 nivel de boca toma parcela

9.37 nivel de boca toma módulo

10.96 nivel de boca toma hornos

Siempre y cuando se aprovechen los 450 Mm³ de bombeo del acuífero. Punto difícil de lograr por razones de escasez de equipos, líneas eléctricas y calidad del agua.

CÁLCULO DEL VOLUMEN DISPONIBLE PARA EL PRÓXIMO CICLO AGRÍCOLA

En la planicie costera dentro de la cual una gran parte la ocupa el Distrito de Riego Río Yaqui, se han presentado bajas precipitaciones, en los últimos nueve ciclos agrícolas, dañando fuertemente a los almacenamientos en el sistema de presas, lo que ha ocasionado una disminución de los volúmenes asignados para la agricultura.

El día 1° de octubre de cada año se autoriza el volumen disponible en el sistema de presas, más el volumen a extraer del subsuelo mediante el bombeo.

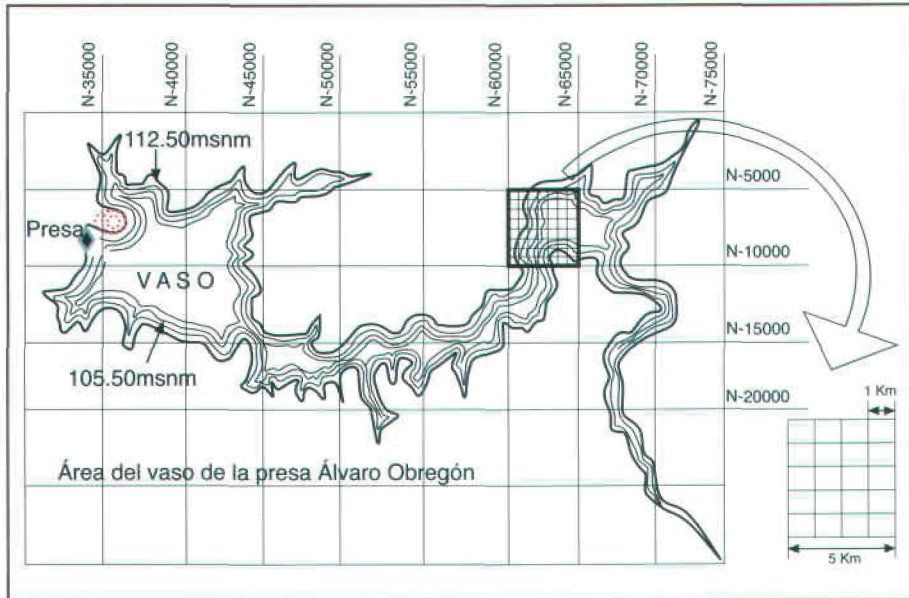
Para el ciclo agrícola próximo, la dotación volumétrica en millares de m^3 por hectárea con los que se debe operar el sistema de presas es ajustando al 50% de probabilidad, o sea, $2,852.34Mm^3$ menos los volúmenes destinados a Colonias Yaquis y pueblos ribereños, quedando disponibles $2,142 Mm^3$, para procurar mantenerse dentro del tercio medio y lograr la sustentabilidad en los próximos años.

CÁLCULO DE LAS ÁREAS-ELEVACIONES Y CAPACIDADES DE VOLÚMENES DE LAS DIFERENTES PRESAS

Para obtener la ecuación que presente las diferentes capacidades de los volúmenes existentes, así como la elevación o cota de embalse de la presa y el área de inundación, en cada una de las presas. El procedimiento de cálculo se lleva a efecto mediante el proceso siguiente:

- Elaboración de la configuración de la superficie del vaso mediante su plano topográfico con curvas a nivel a 1 m de elevación fijando como punto de referencia la cota a nivel del mar (cero).
- Para ello se trazan líneas que formen una cuadrícula primeramente a 1 km de separación en toda la superficie factible de inundación y después, subdividiendo cada uno de los cuadrados en sublínea de 50 a 100 metros.
- Con aparato se nivelan los puntos dentro de cada cuadro y las elevaciones obtenidas, con las cuales se configura el plano topográfico.
- Mediante un planímetro se obtienen las superficies entre cada dos curvas.
- Dichas superficies son multiplicadas por la elevación media de dos curvas y sumadas entre ellas forman la superficie acumulada.

Lámina 14. Áreas del vaso de la presa



Un complemento indispensable para el funcionamiento de cada una de las presas, está en la obtención de tres conceptos:

- La elevación de los niveles del agua para derivar el gasto (Q) requerido.
- El volumen del agua que se almacena en función de la altura relacionada al nivel del mar.
- El área que cubre el agua, según sea la capacidad de cada presa en un momento dado.

Estos tres factores se llevan a efecto en atención al piso de la toma de salida de la presa y el nivel máximo del vertedor con su carga hidráulica.

A continuación pondremos un ejemplo con la presa Álvaro Obregón:

$$A = aV^b$$

A = Área que cubre el volumen del agua según sea la altura en la presa.

b = Exponente según la pendiente de los almacenamientos.

a = Ordenada al origen en atención al volumen muerto.

V = Volumen en Mm³ según la altura de la presa.

Tabla 18. Áreas-capacidades

No.	ELEVACIÓN msnm	ÁREA Ha X	CAPACIDAD (Mm ³) Y	Log X	Log Y	ACUM Log X	ACUM Log Y
1	56.2	6.67	200	0.82413	2.30103		
2	56.4	13.33	400	1.12493	2.60206		
3	56.7	23.33	700	1.36797	2.84510		
4	56.9	30.00	900	1.47712	2.95424		
5	57.1	36.67	1100	1.56428	3.04139		
6	57.3	43.33	1300	1.63682	3.11394		
7	57.5	50.00	1500	1.69897	3.17609		
8	57.7	56.67	1700	1.75333	3.23045		
9	57.9	63.33	1900	1.80163	3.27875		
10	58.1	70.00	2100	1.84510	3.32222		
11	58.3	76.67	2300	1.88461	3.36173		
12	58.5	83.33	2500	1.92082	3.39794		
13	58.7	90.00	2700	1.95424	3.43136		
14	58.9	96.67	2900	1.98528	3.46240		
15	59.1	107.10	3100	2.02979	3.49136		
16	59.3	121.30	3300	2.08386	3.51851		
17	59.5	135.50	3500	2.13194	3.54407		
18	59.7	149.70	3700	2.17522	3.56820		
19	59.9	163.90	3900	2.21458	3.59106		
20	60.1	176.80	4200	2.24748	3.62325		
21	60.3	188.40	4600	2.27508	3.66276		
22	60.5	200.00	5000	2.30103	3.69897		
23	60.7	214.00	6400	2.33041	3.80618		
24	60.9	228.00	5800	2.35793	3.76343		
25	61.1	243.00	6400	2.38561	3.80618		
26	61.3	259.00	7200	2.41330	3.85733		
27	61.5	275.00	8000	2.43933	3.90309		
28	61.7	285.00	8800	2.45484	3.94448		
29	61.9	295.00	9600	2.46982	3.98227		
30	62.1	312.00	10300	2.49415	4.01284		
31	62.3	336.00	10900	2.52834	4.03743		
32	62.5	360.00	11500	2.55630	4.06070		
33	62.7	381.71	12329	2.58174	4.09091		
34	62.9	403.43	13157	2.60577	4.11916		
35	63.1	425.14	13986	2.62854	4.14568		
36	63.3	444.00	15100	2.64738	4.17898	75,18967	127,92556
37	63.5	460.00	16500	2.66276	4.21748		
38	63.7	480.00	17900	2.68124	4.25285		
39	63.9	500.00	19300	2.69897	4.28556		
40	64.1	523.00	20500	2.71850	4.31175		
41	64.3	549.00	21500	2.73957	4.33244		
42	64.5	575.00	22500	2.75967	4.35218		
43	64.7	602.20	23500	2.77974	4.37107		
44	64.9	629.40	24500	2.79893	4.38917		
45	65.1	664.40	25700	2.82243	4.40993		
46	65.3	707.20	27100	2.84954	4.43297		
47	65.5	750.00	28500	2.87506	4.45484		
48	65.7	784.00	29900	2.89432	4.47567		
49	65.9	818.00	31300	2.91275	4.49554		
50	66.1	860.00	33000	2.93450	4.51851		
51	66.3	910.00	35000	2.95904	4.54407		
52	66.5	960.00	37000	2.98227	4.56820		
53	66.7	1,000.00	39000	3.00000	4.59106		
54	66.9	1,040.00	41000	3.01703	4.61278		
55	67.1	1,084.00	43000	3.03503	4.63649		
56	67.3	1,132.00	45900	3.05385	4.66181		
57	67.5	1,180.00	48500	3.07188	4.68574		
58	67.7	1,188.00	51100	3.07482	4.70842		
59	67.9	1,196.00	53700	3.07773	4.72997		
60	68.1	1,247.00	56500	3.09587	4.75205		
61	68.3	1,341.00	59500	3.12743	4.77452		
62	68.5	1,435.00	62500	3.15685	4.79588		
63	68.7	1,485.00	65500	3.17173	4.81624		
64	68.9	1,535.00	68500	3.18611	4.83569		
65	69.1	1,590.00	71700	3.20140	4.85552		
66	69.3	1,650.00	75100	3.21748	4.87564		
67	69.5	1,710.00	78500	3.23300	4.89487		
68	69.7	1,767.20	81900	3.24729	4.91328		
69	69.9	1,824.40	85300	3.26112	4.93095		
70	70.1	1,882.40	88800	3.27471	4.94841		
71	70.3	1,941.20	92400	3.28807	4.96567		
72	70.5	2,000.00	96000	3.30103	4.98227		
			163,351	294,335	106,16171	166,37953	

Resolviendo la ecuación exponencial anterior se obtiene:

$$\text{Log } A = \text{Log } a + b \text{ Log } V$$

Sustituyendo en esta ecuación los valores de $\log a$ y $\log v$ obtenidos de la Tabla 18 para dos grupos de datos resulta:

$$108.16171 = 36 \log a + 166.37953b \dots (1)$$

$$-75.18967 = 36 \log a + 127.92556b$$

$$\hline 32.97204 = 0 \quad + 38.45397b$$

De donde se determina el valor de b

$$b = 0.857441$$

Substituyendo el valor de b en la ecuación (1)

$$108.16171 = 36 \log a + 166.37953b$$

$$108.16171 = 36 \log a + 0.857441(166.37953)$$

$$108.16171 = 36 \log a + 142.6606$$

De donde se obtiene el valor de a

$$a = 0.1100772$$

Con estos coeficientes la fórmula general es:

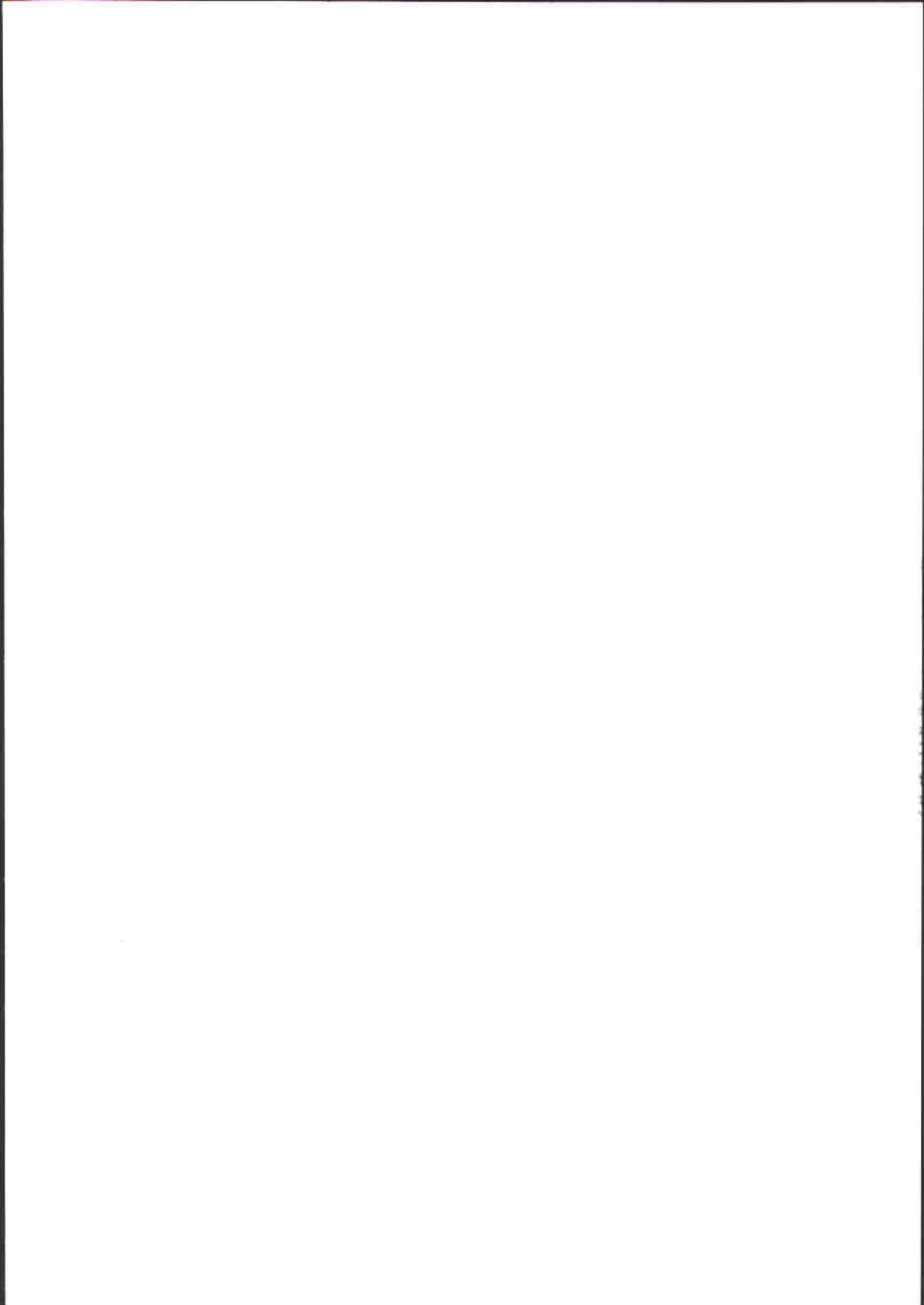
$$A = 0.1100772V^{0.857441}$$

Ejemplo: Suponiendo que exista un volumen de $48,500 \text{ Mm}^3$

$$A = 0.1100772V^{0.857441}$$

$$A = 0.1100772(48,50 \text{ Mm}^3)^{0.857441}$$

$$A = 1,146.6858 \text{ ha}$$



REFERENCIAS

- Blaney, H. F. and Criddle, W. D. 1950. Determining Water Requirements in Irrigated Areas from Climatological and Irrigation Data. USDA Soil Conservation Serv. SCS-TP96, 44 p.
- Chow, Ven Te . 1968. Statistical and Probability Analysis of Hydrology Data. Mc. Graw Hill Book. New York, USA.
- De La Loma, J.L. 1959. Distribución de Aguas. Memorandum Técnico no. 148. Dirección General de Distritos de Riego, SRH. México.
- Espinoza, V. E. 1962. Los Distritos de Riego. CECSA. México.
- Israelsen, O. W. 1950. Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Palacios Vélez, E. 1981. Manual de Operación de Distritos de Riego. UACH. México.
- Richard, G. A. et al. 1998. Crop Evapotranspiration-Guielines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper 56. Roma.
- Robles, E. 1964. Organización de los Planes de Riego y Distribución de Agua. III Seminario Latinoamericano de Irrigación. México.
- S.R.H. 1953. Ley de Riego. Dirección General de Distritos de Riego. México.
- S.R.H. 1962. Instructivo para el control en el ejercicio de los planes de riego. Instructivo Técnico no. 25. Dirección General de Distritos de Riego. México.

LÁMINAS Y TABLAS

- Lámina 1. Representación de una zona de cálculo del volumen de precipitación, 18
- Lámina 2. Representación del trazo de polígonos en un área determinada, 19
- Lámina 3. Plano de Isoyetas del valle del Yaqui, 19
- Lámina 4. Localización del distrito de riego del Yaqui, 34
- Lámina 5. Gráficas de escurrimientos medios del río Yaqui (periodo de 1955-56 a 2002-03), 36
- Lámina 6. Prueba de ajuste de datos, 45
- Lámina 7. Entradas al sistema de presas, 46
- Lámina 8. Almacenamientos en las presas, 49
- Lámina 9. Gráfica de la disponibilidad hidráulica método de frecuencias acumuladas, 53
- Lámina 10. Disponibilidad hidráulica del río Yaqui, 56
- Lámina 11. Curva gastos-elevaciones, 66
- Lámina 12. Almacenamientos requeridos según volúmenes existentes el 1o. de octubre en el sistema de presas del río Yaqui ciclo 2004-2005, 68
- Lámina 13. Almacenamientos requeridos según volúmenes existentes el 1o. de octubre en el sistema de presas del río Yaqui ciclo 2004-2005, 68
- Lámina 14. Áreas del vaso de la presa, 74
-
- Tabla 1. Precipitaciones y evaporación media estaciones SARH-Ciano 1969-1982, 21
- Tabla 2. Coeficientes de lluvia efectiva según Blaney y Criddle, 22
- Tabla 3. Lluvia Efectiva/mes en función de evapotranspiración del cultivo, 24
- Tabla 4. Pérdidas de conducción, 26
- Tabla 5. Calidad del agua, 29
- Tabla 6. Entrada en la presa Álvaro Obregón (Aportaciones Deducidas + Lluvias), 35
- Tabla 7. Entradas (Aportaciones Deducidas + Lluvias) a nivel de presa Álvaro Obregón (Oviáchic), 38
- Tabla 8. Distribución empírica de Weibul, 42
- Tabla 9. Cálculo del escurrimiento (log-normal) del río Yaqui, 47
- Tabla 10. Puntos críticos de la distribución *t* de Student, 50
- Tabla 11. Cuadro de la disponibilidad hidráulica método de frecuencias acumuladas, 53
- Tabla 12. Cuadro comparativo del cálculo de probabilidades por los tres diferentes métodos, 54
- Tabla 13. Cuadro Resumen, 60
- Tabla 14. Disponibilidad de agua para diferentes probabilidades, 65
- Tabla 15. Presa Álvaro Obregón (Oviáchic), 66
- Tabla 16. Disponibilidad de agua para diferentes probabilidades, 67
- Tabla 17. Distrito de Riego del Río Yaqui, S. de R. L. de I. P. y C. V. Extracciones
- Tabla 18. Presa Álvaro Obregón para Distrito 041 y Superficie, 70
Áreas-capacidades, 75



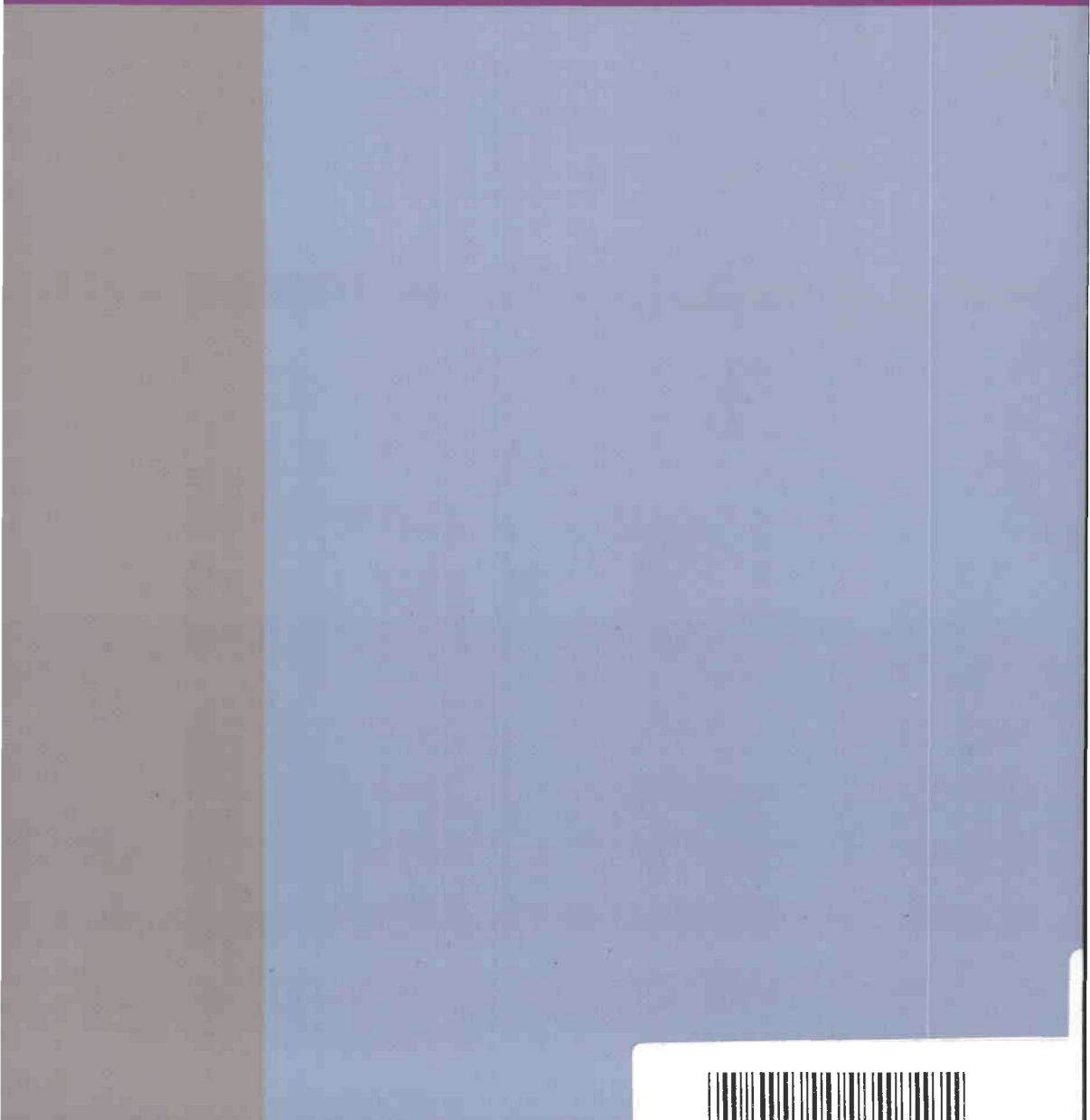
**BIBLIOTECA DEL PROGRAMA DE MAESTRÍAS Y DOCTORADOS EN
INGENIERÍA DE LA UNAM CAMPUS MORELOS**

PAPELETA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro a la fecha del vencimiento del préstamo señalado en el último sello.

--	--	--

**INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
CENTRO DE CONSULTA DEL AGUA**



01277

www.imta.gob.mx