

01162



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ANALISIS INTEGRAL DEL PROYECTO

BALUARTE - PRESIDIO

T E S I S

PRESENTADA POR

JUAN SANTIAGO GONZALEZ MALDONADO

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)**

DIRIGIDA POR:

DR. CARLOS A, ESCALANTE SANDOVAL

CIUDAD UNIVERSITARIA.

ENERO 1997

TESIS CON



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**A Alejandra, Kriztina y Juanito por
su apoyo, comprensión y cariño.**

Mi especial agradecimiento:

**Al Dr. Carlos A. Escalante Sandoval por
su guía y comentarios al presente.**

**A la Comisión Nacional del Agua, Lic. Alejandro Espinosa Garibay,
Ing. Carlos M. Estrada Cañedo, Ing. Alfredo Jorge Capiz por el apoyo
recibido.**

A mis sinodales y profesores de la DEPFI.

I N D I C E

INTRODUCCION

OBJETIVOS

1.-	CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO	3
1.1	Ubicación	3
1.2	Características climáticas e hidrológicas	3
1.3	Características topográficas y geológicas	6
1.4	Infraestructura hidráulica existente en la zona	19
1.4.1	Infraestructura sobre el río Presidio	19
1.4.2	Infraestructura entre los ríos Baluarte y Presidio	20
1.4.3	Infraestructura sobre el río Baluarte	21
1.4.4	Infraestructura de agua potable	22
2.-	ANALISIS DEL APROVECHAMIENTO HIDRAULICO	23
2.1	Características de las series de tiempo	24
2.1.1	Componentes de una serie hidrológica	24
2.1.2	Características básicas de una serie de tiempo	25
2.1.3	Características complejas de las series de tiempo periódicas	27
2.1.4	Proceso estacionario	28
2.1.5	Técnicas básicas de estimación de parámetros	29
2.1.6	Normalización de una serie de tiempo	31
2.2	Modelación de una serie de tiempo	34
2.2.1	Modelo autorregresivo anual AR(p) con parámetros constantes	34
2.2.2	Modelos autorregresivos con parámetros periódicos	35
2.2.3	Propiedades de los modelos AR(p) con parámetros constantes	36
2.2.4	Propiedades de los modelos AR con parámetros periódicos	39
2.2.5	Modelo autorregresivo de promedios móviles ARMA(p,q)	40
2.2.6	Propiedades de los modelos ARMA (p,q)	41
2.2.7	Modelo anual ARMA (p,q) con parámetros constantes	44
2.2.8	Modelo ARMA (p,q) con parámetros periódicos	44

2.3	Pruebas de bondad de ajuste	46
2.3.1	Pruebas de independencia en el tiempo	46
2.3.2	Pruebas de normalidad	48
2.4	Preservación de estadísticos y principios de parsimonia	49
2.5	Generación de muestras sintéticas	51
2.5.1	Generación usando el modelo AR(p) anual	51
2.5.2	Generación usando el modelo AR(p) periódico	53
2.5.3	Generación usando el modelo ARMA (p,q) anual	54
2.5.4	Generación usando el modelo ARMA (p,q) periódico	55
2.6	Proceso de modelación de las series de tiempo hidrológicas	56
2.6.1	Análisis preliminar e identificación del modelo	56
2.6.2	Estimación de parámetros	59
2.6.3	Pruebas de bondad de ajuste	66
2.6.4	Pruebas adicionales del modelo (preservación de estadísticos)	67
2.7	Funcionamiento del vaso	68
2.7.1	Deducción de la ecuación fundamental del vaso	69
2.8	Simulación del funcionamiento de un vaso	72
3.-	EVALUACION DE PROYECTO	75
3.1	Estudio del mercado	77
3.2	Estudio técnico	78
3.3	Análisis económico	78
3.3.1	Costos	80
3.3.2	Inversiones	81
3.3.3	Beneficios	82
3.4	Evaluación económica	83
4.-	APLICACIONES	85
5.-	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	112

INTRODUCCION

La optimización de recursos naturales juega un papel importante dentro del desarrollo económico nacional, por ello es indispensable que el aprovechamiento que se les de tanto al agua como al suelo sea el que mejor resuelva la problemática, que implica por una parte, la insuficiencia de agua para el desarrollo de suelos con potencial agrícola, y por otra la carencia de infraestructura hidráulica que permite la mejor asignación de este recurso en superficies susceptibles agrícolamente.

Dadas estas condiciones se presenta la posibilidad de incorporar zonas del noroeste de la República Mexicana que actualmente no han sido explotadas adecuadamente, y en consecuencia los resultados de producción son poco significativos.

Particularmente, sobre la Planicie Costera del Pacífico, en el Sur del estado de Sinaloa y circundada por la Sierra Madre Occidental, lagunas y esteros que colindan con el Océano Pacífico, se encuentran 55,318 hectáreas aptas para la agricultura, que actualmente se destinan en su mayor parte a cultivos de temporal, en un pequeño porcentaje a riego y en mínima porción a la ganadería.

La zona se caracteriza por contar solamente con acuíferos subterráneos de muy poco potencial, en general ya explotado cerca de su capacidad de recarga y que constituye la principal fuente de captación para los usos urbanos del área.

Ahora bien, los regímenes de escurrimiento de las corrientes de la zona son fuertemente estacionales, disponiéndose usualmente de abundantes volúmenes en la época de lluvia, los que se reducen drásticamente en los meses del estiaje; por estas circunstancias, el aprovechamiento por derivación en épocas de estiaje ofrecerá riego firme a superficies muy poco significativas; por tal motivo, el desarrollo del proyecto se plantea a través de la regulación de los escurrimientos con una presa de almacenamiento.

OBJETIVO

El presente trabajo tiene por objetivo principal, el realizar un análisis integral de las posibles alternativas para atender las demandas de más de 55000 ha mediante la construcción de la presa Santa María (Proyecto Baluarte-Presidio).

Para llevar a cabo dicho análisis se requerirá realizar funcionamientos de vaso para las diferentes propuestas de volumen útil.

El funcionamiento de vaso requiere como variables de entrada los volúmenes de escurrimiento mensual o anual, y dado que estos tienen un registro relativamente corto se requerirá, de la aplicación de modelos estocásticos para la generación de muestras sintéticas que sean capaces de preservar las características estadísticas de las series originales.

Una vez realizado el funcionamiento de vaso, se obtendrá como volumen óptimo aquel que sea capaz de satisfacer la demanda de las 55318 ha, teniendo como limitante el hecho de no incurrir en déficits esperados mayores al 5%.

Después de éste análisis se deberá verificar si la propuesta es económicamente factible, lo cual se determinará al obtener una relación beneficio-costos mayor a uno.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 1 se describen las características generales del proyecto. En el capítulo 2 se presentan las técnicas y modelos estocásticos para el análisis de las series de tiempo tanto anuales como periódicas. Para el análisis económico del proyecto se describen los principios fundamentales en el capítulo 3. En el capítulo 4 se realiza la aplicación de las técnicas presentadas en el trabajo al proyecto. Las conclusiones y recomendaciones se describen en el capítulo 5.

1.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

1.1 Ubicación

La zona del proyecto Baluarte-Presidio (fig. 1.1) se localiza en la porción meridional del Estado de Sinaloa, limita al norte con la sierra de los Frailes, también llamada Espinazo del Diablo; al noroeste por la sierra de las Ventanas; hacia el sureste con el cerro de la Punta; al suroeste con un litoral bajo y arenoso que da lugar a numerosas lagunas y esteros, entre los que se encuentran los del Malz y Bacocas, que circundan la isla de la Palma; las lagunas de Agua Grande, los Sábalos, Pozo Puercos, Cañales, Lomitas, Ancha Cabras, sirven de límite a la isla Palmito del Verde, que se extiende desde la desembocadura del río Baluarte hasta la boca del río Teacapán, en los límites de Estado de Nayarit. Al poniente se encuentra delimitada por la Laguna del Caimanero, también llamada Huizache, finalmente queda limitada al noroeste por el estero de Urias, situado en las cercanías de la Ciudad de Mazatlán.

Geográficamente se ubica entre los paralelos 22°40' y 23°19' de latitud norte y los meridianos 105°36' y 106°18' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su altitud varía entre los 3 y 60 msnm.

El área a beneficiar queda comprendida, políticamente, dentro de los municipios de Mazatlán, Rosario, Escuinapa de Hidalgo y Concordia, cuyas cabeceras municipales son denominadas con el mismo nombre y a la vez son los centros urbanos más importantes de la región.

1.2 Características climáticas e hidrológicas

Las principales características climáticas de la región son registradas en las estaciones Siqueros, Mazatlán, Las Habitas, Rosario, Escuinapa y la Concha, de las cuales se tienen períodos de observación de más de 30 años.

La clasificación del clima en la parte más alta del proyecto son del grupo de climas cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y sequía en invierno; en la parte baja de la zona del proyecto predomina el grupo de climas cálidos semisecos, con lluvias en verano y sequía en invierno.

1.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

1.1 Ubicación

La zona del proyecto Baluarte-Presidio (fig. 1.1) se localiza en la porción meridional del Estado de Sinaloa, limita al norte con la sierra de los Frailes, también llamada Espinazo del Diablo; al noroeste por la sierra de las Ventanas; hacia el sureste con el cerro de la Punta; al suroeste con un litoral bajo y arenoso que da lugar a numerosas lagunas y esteros, entre los que se encuentran los del Maíz y Bacocas, que circundan la isla de la Palma; las lagunas de Agua Grande, los Sábalo, Pozo Puerco, Cañales, Lomitas, Ancha Cabras, sirven de límite a la isla Palmito del Verde, que se extiende desde la desembocadura del río Baluarte hasta la boca del río Teacapán, en los límites de Estado de Nayarit. Al poniente se encuentra delimitada por la Laguna del Caimanero, también llamada Huizache, finalmente queda limitada al noroeste por el estero de Urías, situado en las cercanías de la Ciudad de Mazatlán.

Geográficamente se ubica entre los paralelos 22°40' y 23°19' de latitud norte y los meridianos 105°36' y 106°18' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Su altitud varía entre los 3 y 60 msnm.

El área a beneficiar queda comprendida, políticamente, dentro de los municipios de Mazatlán, Rosario, Escuinapa de Hidalgo y Concordia, cuyas cabeceras municipales son denominadas con el mismo nombre y a la vez son los centros urbanos más importantes de la región.

1.2 Características climáticas e hidrológicas

Las principales características climáticas de la región son registradas en las estaciones Siqueros, Mazatlán, Las Habitas, Rosario, Escuinapa y la Concha, de las cuales se tienen períodos de observación de más de 30 años.

La clasificación del clima en la parte más alta del proyecto son del grupo de climas cálidos subhúmedos, con lluvias en verano y sequía en invierno; en la parte baja de la zona del proyecto predomina el grupo de climas cálidos semisecos, con lluvias en verano y sequía en invierno.

La precipitación media anual registrada en la zona del proyecto es de 1091.5 mm, cuya mayor precipitación es en los meses de julio, agosto y septiembre con un 76% del total; y los de menor precipitación es en los meses de marzo a mayo. En la zona del proyecto se presenta un bajo porcentaje de precipitación pluvial en la temporada invernal.

La evaporación media anual registrada es de 1758.5 mm, cuyos registros mas altos es en la porción sureste de la zona estudiada, concentrándose un 65% en el periodo de marzo a agosto.

Con respecto a la evaporación neta media anual que se registra actualmente es 276.7 mm, lo cual es obtenida en base a los datos de precipitación y evaporación observada en las estaciones climatológicas.

La temperatura media promedio observada en la zona del proyecto es de 24.7°C y los valores promedio máximo y mínimo son de 32.3°C y 16.7°C respectivamente.

Las principales corrientes que drenan la zona de estudio son los ríos Presidio y Baluarte, este último recibe también las aportaciones de dos afluentes importantes que son los ríos Matatán y Pánuco. El río Presidio nace en la vertiente sur de la sierra Espinazo del Diablo, contrafuerte de la sierra Madre Occidental, en su inicio y a través de 80 km se le conoce con el nombre de arroyo El Jaral, en este trayecto recibe las aportaciones de los arroyos Arenales y El Salto; a partir de la confluencia de este último, cambia su nombre por el río de Las Ventanas, recorriendo así 75 km hasta que adopta la denominación de río Presidio, el cual 40 km aguas abajo, recibe por su margen izquierda los escurrimientos del río Concordia, a partir de este punto recorre una distancia de aproximadamente 35 km hasta desembocar en el Océano Pacífico.

La cuenca del río Presidio es de aproximadamente 150 km de largo por 40 km de ancho, drena una área aproximada de 5614 km², hasta la estación hidrométrica Siqueros. Limita al norte con la cuenca del río Piaxtla, al este con la del río Tunal, afluente del San Pedro, al sureste con la parte alta de la cuenca del río Acafoneta, al sur con la del Baluarte, al poniente con el Océano Pacífico y al noroeste con la cuenca del río Quelite. El régimen del río Presidio es aforado por la estación Siqueros con un escurrimiento medio anual de 1063 Mm³.

El Río Baluarte nace en el municipio de Pueblo Nuevo, Durango, a una altitud de 2600 msnm en sus orígenes se le conoce con el nombre de Quebrada de Guadalupe, recorre 40 km hasta llegar a los límites de los Estados de Durango y Sinaloa, donde sirve de límite de los mismos; posteriormente cambia su denominación a la de Espíritu Santo a lo largo de 35 km, a partir de este punto se le conoce como río Baluarte y 30 km aguas abajo recibe las aportaciones del río Matatán; después de esta

confluencia, 17 km mas adelante recibe otro afluente, el río Pánuco y posteriormente el arroyo San Isidro y su afluente las Higueras descargan las últimas aportaciones al Baluarte, que finalmente desemboca en el Océano Pacífico el sitio denominado Boca Baluarte, ubicado entre las lagunas del Caimanero y del Lagarto.

La cuenca del río Baluarte es de forma triangular, mide aproximadamente 115 km de largo y 75 km de ancho, en su parte mas amplia, mismos que van disminuyendo conforme se acerca a su desembocadura.

El área de la cuenca hasta la estación Santa María es de 2758 km², con un escurrimiento medio anual de 1275 Mm³. Esta cuenca limita al norte con la cuenca río Presidio, al oriente con la del río Acaponeta, al sur con el Estero de Teacapán y al oeste con el Océano Pacífico y la cuenca baja del río Presidio.

El régimen del río Baluarte es aforado por la estación Baluarte II que se encuentra aguas abajo donde desemboca el río Pánuco con el río Baluarte, el área de la cuenca hasta esta estación es de 4633 km², sus afluentes Matatán y Pánuco, drenan una superficie de 700 y 965 km² respectivamente, con un escurrimiento medio anual de 1831 Mm³.

1.3 Características topográficas y geológicas

La boquilla Santa María se sitúa aproximadamente a 1500 m aguas abajo del poblado del mismo nombre, el lecho del río se sitúa a la elevación 80.00 msnm con un ancho de cauce de 110 m; a la elevación 200 msnm, corresponde a la máxima levantada en la boquilla, con un ancho de 780 m, y una altura máxima de 120 m.

Geológicamente el área del vaso se encuentra constituida por rocas ígneas piroclásticas de origen intrusivo y efusivo, representadas principalmente por granitos, granodioritas, monzonitas, tonalitas, porfidioríticas, dioritas, andesitas, riolitas, ignimbritas, tobas riolíticas, algunas dacitas y rocas volcánicas, se tienen algunas ventanas de rocas andesíticas de la formación de la sierra Madre Inferior y un gran paquete de casi 1500 m de espesor de rocas volcánicas ácidas del super grupo sierra Madre Superior constituidas por tobas y derrames volcánicos; en cuanto a la boquilla se encuentra formada por intrusivo diorítico.

La sierra Madre Occidental constituye el rasgo geológico más importante en la zona, y a partir de ellas se presentan cadenas montañosas longitudinales separadas por valles paralelos extensos. Aunque las formas terrestres y sus estructuras geomorfológicas son muy complejas en detalle, es posible distinguir un valle longitudinal a lo largo del borde de la misma, que es precisamente donde se ubica la zona del proyecto.

Estos valles están cubiertos por conglomerados del Terciario Superior, ligeramente plegados y la mayor parte de los grandes arroyos tributarios forman el drenaje de tipo dendrítico, siguiendo los valles intermontañosos, la planicie costera se encuentra constituida por sedimentos cuaternarios, y las terrazas y depósitos fluviales están formadas por arenas, gravas y limos.

De acuerdo con estudios geohidrológicos el área del proyecto es una zona de abundante agua a excepción del municipio de Concordia. A continuación se muestran las siguientes tablas 1.1 y 1.2 donde se muestra su fuente, beneficio, recarga, extracción y disponibilidad de agua.

Tabla 1.1 Fuentes de abastecimiento y uso del agua en Mm³ anuales.

Fuente de Abastecimiento	Uso Agrícola	Doméstico y Abrevadero	Público, Urbano y de Servicios	Industrial	Total
Río Presidio	8.00	2.00	54.00	0.20	64.20
Río Baluarte	2.52	0.10	5.80	0.03	8.45

Tabla 1.2 Fuentes de abastecimiento, área de estudio, aprovechamientos acuíferos, recarga, extracción, y disponibilidad del agua.

Fuente de Abastecimiento	Área de Estudio (Km ²)	Aprovecho Acuífero Libre (no)	Pozos (no)	Norias (no)	Recarga Anual (M m ³)	Extracción Anual (Mm ³)	Disponibilidad Anual (M m ³)	Calidad del Agua (ppm)
Río Presidio	220	228	100	128	90	64.20	25.80	190-5000
Río Baluarte	230	132	21	11	15	8.45	6.50	200- 700

De acuerdo al estudio agrológico se detectó que la mayor parte de los suelos del área beneficiable son de formación aluvial y planos, excepto en zonas bajas que sufren inundaciones en épocas de lluvias; el drenaje varía de moderadamente rápido a lento.

Por otra parte, se tienen texturas de medias a finas con suelos de delgado a profundo, con espesores mayores de 50 cm, el relieve varía de suavemente ondulado a ondulado, con pendientes desde 0.3 % hasta el 8 % solo en algunas zonas; sin embargo al promedio varía del 1 al 3 %.

En el área del proyecto se detectaron siete series y doce fases de suelos. A las series se le denominó Charay, Rosarito, Lagunas, Mautillo, Dimas, Barotén y Escuinapa.

El uso actual del suelo en el área del distrito de riego proyectado, lo podemos describir de la manera siguiente:

Existen 6598 ha de terrenos forestales con bosques caducifolio; uso pecuario o de agostadero con vegetación natural de matorral y pastos con una extensión superficial de 6425 ha; uso agrícola de temporal con un total de 82086 ha correspondiendo para el ciclo otoño-invierno una superficie de 26873 ha en el ciclo primavera-verano de 40234 ha y perennes de 14979 ha; uso agrícola de riego con un total de 12604 ha, correspondiendo para el ciclo otoño-invierno una superficie de 7186 ha, en el ciclo primavera-verano de 3790 ha y perennes de 1663 ha; uso urbano y otros con una superficie de 2150ha.

Para la clasificación agrícola, se utilizó el sistema de Clasificación de Tierras de seis clases con fines de riego de la Oficina de Reclamación de Tierras del Departamento del Interior de Estados Unidos (USDI).

Los aspectos conceptuales del sistema utilizado, en las clases de superficies correspondientes a la superficie estudiada son las siguientes:

Clase 1.

Son suelos con ninguna o muy pocas limitaciones para la irrigación, son productivos y con un mínimo manejo se pueden obtener cosechas de altos rendimientos en la mayor parte de los cultivos adaptados climáticamente. Abarcan una superficie aproximada de 15128.4 ha, de la total estudiada.

Clase 2.

Suelos que tienen de ligeras a moderadas limitaciones para fines de riego, son moderadamente productivos y requieren de un mejor manejo para obtener cosechas con altos rendimientos de los cultivos adaptados climáticamente. Abarcan una superficie aproximada de 23457.1 ha, en toda el área de estudio.

Clase 3.

Suelos que tienen de moderadas a severas limitaciones para fines de riego, son de productividad restringida para la mayor parte de los cultivos adaptados climáticamente o son suelos que requieren de un nivel alto de manejo para obtener cosechas de moderados a altos rendimientos. Existen aproximadamente en el área de estudio una superficie de 14926 ha.

Clase 4.

Suelos que tienen muy severas limitaciones para fines de riego y, generalmente son adecuados para pocos cultivos adaptados climáticamente, que producen solo bajo un nivel de manejo alto. La superficie que abarcan estos suelos es de 15976.7 ha.

Clase 6.

Son suelos que no pueden ser irrigables, siendo una superficie aproximada en el área de estudio de 5684.8 ha.

En la tabla 1.3 se presenta la superficie por clases y subclases de suelos en la zona de proyecto; así mismo la tabla 1.4 muestra los cultivos factibles por clases y subclases de suelos en la región.

Actualmente en el zona del proyecto, están siendo aprovechadas en el ciclo primavera-verano una superficie total de 62152 ha con 10 cultivos diferentes de las cuales 58291 ha son de temporal y 3861 ha son de riego. Para el ciclo otoño-invierno, la superficie cultivada es de 49937 ha, de las cuales 10677 ha son de riego y 39260 ha son de temporal.

En la tabla 1.5 se presenta el patrón de cultivos, de las superficies que ocupan, los rendimientos, los valores de producción por cultivo de los últimos 5 años.

Cabe aclarar que en la superficie de riego se consideran las áreas que tienen mínimamente un riego de auxilio, pero en la mayoría se tienen los riegos completos.

Tabla 1.4 Cultivos factibles por clases y subclases de suelos

CULTIVO	CICLO	1a. Y 2a. CLASE		3a. CLASE			4a. CLASE		
		SUELOS PEDREGOSOS	SUELOS SALINOS O SUELOS SODICOS	SUELOS CON PROBLEMAS POR D1, D2, D3. SIN RESTRICCIONES DE SALINIDAD SODICIDAD NI PEDREGOSIDAD	SUELOS CON RESTRICCIONES UNICAMENTE DE PERMEABILIDAD TEXTURA FINA O PROFUNDIDAD	SUELOS CON RELIEVE. SIN RESTRICCIONES DE PEDREGOSIDAD SALINIDAD. SODICIDAD, DNJE. SUPERFICIAL INUNDACION, NI MANTO FREATICO	SUELOS SIN PROBLEMAS DE PEDREGOSIDAD, NI RELIEVE. SODICIDAD NI PENDIENTE	SUELOS SIN PROBLEMAS DE SALINIDAD, NI SODICIDAD O POR D1, D2, D3	SUELOS CON PRESENCIA PREDOMINANTE DE SALES Y/O SODIO
AJONJOLI	P-V		SALINOS						
ARROZ	P-V								
ARROZ	0-1								
CACAHUATE	P-V								
CACAHUATE	0-1								
CARTAMO	0-1		SALINOS						
CHILE	0-1		SALINOS						
FRIJOL	0-1								
GARBANZO	0-1								
JITOMATE	0-1		SALINOS						
MAIZ	P-V		SALINOS						
MAIZ	0-1		SALINOS						
MAIZ FORRAJERO	0-1		SALINOS						
MELON	0-1		SALINOS						
PEPINO	0-1		SALINOS						
SANDIA	0-1		SALINOS						
SORGO GRANO	P-V		SALINOS						
SORGO GRANO	0-1		SALINOS						
SORGO FORRAJERO	P-V		SALINOS						
SORGO FORRAJERO	0-1		SALINOS						
SOYA	0-1								
COPRA									
GUANABANO									
LIMON PERSA									
MANGO									
PAPAYA									
PLATANO									
TORONJA									
PASTOS									

15

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto.

CICLO AGRICOLA	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t / ha)		PWR \$ / t	
		TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO		TEMPORAL			
O.I. 89/90	CHILE	4,707	0	4,707	4,707	0	4,707	54,714	0	54,714	123,108,500	11.62	0.00	2,230.00	
	FRUJOL	2,923	16,864	19,787	2,905	16,413	19,318	4,501	18,107	22,608	45,216,000	1.55	1.10	2,000.00	
	MAIZ	1,363	1,259	2,622	1,317	1,259	2,576	1,841	1,515	3,356	1,406,520	1.40	1.20	419.11	
	SORGO GRANO	389	2,003	2,392	389	2,003	2,392	1,547	4,500	6,056	2,119,600	3.98	2.25	350.00	
	SORGO FORRAJERO	251	3,405	3,656	251	3,405	3,656	5,257	60,562	65,819	8,556,470	20.94	17.79	130.00	
	SORGO ESCOBERO	16	9	25	16	9	25	31	8	37	18,500	1.94	0.67	500.00	
	CALABAZA	25	0	25	25	0	25	198	0	198	89,100	7.92	0.00	450.00	
	JITOMATE	296	6	302	296	6	302	5,571	57	5,628	3,376,800	18.82	9.50	600.00	
	HORTALIZA	16	0	16	16	0	16	224	0	224	134,400	14.00	0.00	600.00	
	SANDIA	80	361	441	73	313	386	1,204	3,567	4,771	3,435,120	16.49	11.40	720.00	
	TABACO	118	0	118	118	0	118	826	0	826	433,850	7.00	0.00	525.00	
	CARTAMO	0	502	502	0	502	502	0	397	397	218,350	0.00	0.78	560.00	
	MELON	0	45	45	0	45	45	0	360	360	144,000	0.00	6.00	400.00	
	TOTAL		10,184	24,454	34,638	10,113	23,956	34,068	76,914	89,860	164,994	188,266,019	7.61	3.72	1,548.88
P.V. 90/90	MAIZ	274	14,204	14,478	274	13,178	13,452	1,134	10,482	11,616	7,201,920	4.14	0.80	620.00	
	SORGO GRANO	681	3,792	4,473	681	3,790	4,471	3,030	5,579	8,609	3,099,600	4.45	1.47	390.00	
	SORGO ESCOBERO	505	4	509	505	0	505	870	0	870	652,500	1.72	0.00	750.00	
	SORGO FORRAJERO	159	6,623	6,782	159	6,603	6,762	2,703	87,570	90,273	10,632,760	17.00	13.26	120.00	
	CALABAZA	26	0	26	0	0	26	295	0	295	94,400	11.35	0.00	320.00	
	HORTALIZA	31	0	31	31	0	31	191	0	191	158,100	6.16	0.00	627.75	
	JITOMATE	76	0	76	76	0	76	527	0	527	158,100	6.93	0.00	300.00	
	MELON	6	8	14	6	0	6	132	0	132	33,000	22.00	0.00	250.00	
	PEPINO	13	0	13	13	0	13	231	0	231	34,650	17.77	0.00	150.00	
	SANDIA	16	4	20	16	2	18	751	2	753	150,600	46.94	1.00	200.00	
	AJONJOLU	0	170	170	0	157	157	0	75	75	300,000	0	0.48	4,000.00	
	CACAHUATE	0	294	294	0	77	77	0	58	58	118,000	0	0.74	2,000.00	
	TOTAL		1,787	26,099	26,888	1,787	23,807	26,684	9,865	103,768	113,631	22,631,636	6.62	4.38	288.83
	PERENES	MANGO			10,228			9,622			68,504	70,044,000	7.12		1,022.48
CIRUELO															
TAMARINDO															
AGUACATE															
COCOTERO															
PAPAYA															
LETCHI															
PASTOS															
LIMON															
NARANJA															
MANDARINA															
NANCHI															
ARRAYAN															
GUANABANA															
CHICOZAPOTE															

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO AGRICOLA	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t / Ha)		PWR \$ / t	
		RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL		RIEGO	TEMPORAL		
O.I.90/91	CHILE	4,368	19,995	24,361	4,340	17,964	22,304	4,933	12,287	17,220	38,162,000	1.14	0.88	2,100.00	
	FRUJOL	5,324	0	5,324	5,308	0	5,308	62,803	0	62,803	125,808,000	11.63	0.00	2,800.00	
	CARTAMO	0	281	281	0	281	281	0	150	150	60,000	0.00	0.53	400.00	
	GARBANZO	0	1	1	0	1	1	0	1	1	2,000	0.00	1.00	2,000.00	
	JITOMATE	456	13	469	456	13	469	7,088	94	7,180	6,582,000	15.50	7.23	1,200.00	
	MAIZ	700	961	1,661	700	937	1,637	2,207	824	3,031	2,081,080	3.15	0.88	680.00	
	FORRAJE	0	265	265	0	265	265	0	3,602	3,602	900,500	0.00	13.59	250.00	
	MELON	0	4	4	0	4	4	0	56	56	16,800	0.00	14.00	300.00	
	SANDIA	6	184	190	6	170	176	280	1,731	2,011	2,614,300	48.67	10.18	1,300.00	
	SORGO ESCOBERO	0	35	35	0	35	35	0	23	23	29,900	0.00	0.86	1,300.00	
	SORGO FORRAJERO	72	3,705	3,777	72	3,705	3,777	2,088	48,998	51,084	12,771,000	29.00	13.22	250.00	
	SORGO GRANO	116	1,676	1,792	116	1,637	1,753	426	3,754	4,180	1,254,000	3.67	2.29	300.00	
	CALABAZA	33	0	33	0	33	33	0	444	444	133,200	0.00	13.45	300.00	
	JICAMA	1	0	1	1	0	1	8	0	8	3,200	8.00	0.00	400.00	
	PEPINO	26	0	26	26	0	26	277	0	277	98,950	10.65	0.00	350.00	
	TOTAL		11,100	27,120	38,220	11,026	26,045	36,071	80,983	71,962	152,060	190,382,930	7.28	2.87	1,281.88
	P.V.91/91	MAIZ	275	11,328	11,603	275	9,939	10,214	930	6,538	7,467	5,228,900	3.38	0.86	700.00
SORGO GRANO		355	3,529	3,884	355	2,817	3,172	1,324	3,947	5,271	2,371,950	3.73	1.40	450.00	
SORGO ESCOBERO		704	0	704	704	0	704	1,183	0	1,184	414,400	1.88	0.00	350.00	
SORGO FORRAJERO		429	8,758	9,187	429	8,440	8,869	7,221	99,849	107,070	8,565,600	18.83	11.83	80.00	
AJONJOLI		0	134	134	0	123	123	0	25	25	75,000	0.00	0.20	3,000.00	
CACAHUATE		0	266	266	0	264	264	0	244	244	488,000	0.00	0.92	2,000.00	
SANDIA		58	27	85	58	27	85	699	94	793	634,400	12.05	3.48	800.00	
CALABAZA		30	0	30	30	0	30	351	0	351	122,850	11.70	0.00	350.00	
HORTALIZAS		11	0	11	11	0	11	168	0	168	63,000	15.27	0.00	375.00	
JITOMATE		71	0	71	71	0	71	238	0	238	85,200	3.35	0.00	400.00	
MELON		9	0	9	9	0	9	120	0	120	36,000	13.33	0.00	380.00	
PEPINO		22	0	22	22	0	22	243	0	243	87,200	11.05	0.00	400.00	
TOTAL			1,984	24,043	26,028	1,984	21,810	23,794	12,476	119,697	123,173	18,198,680	6.36	6.13	147.86
PERENES	MANGO			10,228			9,622			101,011	97,754,567	10.50		887.78	
	CIRUELO														
	TAMARINDO														
	AGUACATE														
	COCOTERO														
	PAPAYA														
	LETCHI														
	PASTOS														
	LIMON														
	NARANJA														
	MANDARINA														
	NANCHI														
	ARRAYAN														
	GLIANABANA														
	CHICOZAPOTE														

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO AGRICOLA	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t/ha)		PBR \$/t	
		RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL		RIEGO	TEMPORAL		
O.I.91/92	CHILE	7,963	0	7,963	6,266	0	6,266	31,777	0	31,777	42,698,950	5.07	0.00	1,380.00	
	FRUJOL	3,678	16,739	20,417	964	8,848	9,832	1,021	4,105	5,126	10,784,800	1.04	0.46	2,180.00	
	JITOMATE	226	0	226	124	0	124	962	0	962	347,200	8.00	0.00	380.00	
	MAIZ	731	1,386	2,117	627	875	1,502	2,402	600	3,002	2,101,400	3.83	0.89	780.00	
	FORRAJE	0	195	195	0	195	195	0	2,925	2,925	365,625	0.00	15.00	125.00	
	PEPINO	1	0	1	1	0	1	5	0	5	2,250	5.00	0.00	480.00	
	SANDIA	48	0	48	24	0	24	156	0	156	85,800	6.50	0.00	350.00	
	SORGO ESCOBERO	2	6	8	2	6	8	3	2	5	5,000	1.50	0.33	1,000.00	
	SORGO FORRAJERO	281	3,206	3,487	193	3,180	3,373	3,351	48,090	51,441	6,172,920	17.36	15.12	120.00	
	SORGO GRANO	148	2,720	2,868	56	2,345	2,401	220	4,959	5,179	2,278,760	3.93	2.11	440.00	
	CALABAZA	0	17	17	0	10	10	0	140	140	70,000	0.00	14.00	580.00	
	CARTAMO	0	194	194	0	14	14	0	7	7	3,850	0.00	0.50	580.00	
	GARBANZO	0	17	17	0	10	10	0	18	18	41,400	0.00	1.80	2,380.00	
	HORTALIZAS	0	4	4	0	4	4	0	56	56	30,800	0.00	14.00	580.00	
TOTAL		13,080	24,484	37,564	8,277	16,487	23,764	39,927	69,902	100,829	64,168,544	4.82	3.93	688.37	
P.V. 92/92	MAIZ	1,198	13,144	14,310	573	10,706	11,279	1,872	8,044	9,916	7,437,000	3.27	0.75	730.00	
	SORGO GRANO	837	3,996	4,803	802	3,252	4,054	3,676	6,953	3,476,500	4.58	1.01	580.00		
	AJONJOLI	0	105	105	0	91	91	0	39	39	156,000	0.00	0.43	4,800.00	
	CACAHUATE	9	285	294	9	285	294	21	280	301	1,202,800	2.33	0.88	1,580.00	
	SANDIA	194	45	239	187	32	219	2,180	524	2,704	1,622,400	11.88	16.38	680.00	
	SORGO FORRAJERO	378	10,460	10,836	378	10,090	10,456	7,188	95,591	102,779	102,779,000	19.12	9.48	1,680.00	
	PASTOS	57	3,372	3,429	57	2,010	2,067	1,170	34,031	35,201	21,120,800	20.53	16.03	600.00	
	MELON	62	2	64	58	2	60	533	36	569	170,700	9.19	18.00	380.00	
	CALABAZA	60	18	78	60	18	78	559	414	973	340,550	9.32	23.00	380.00	
	CAMOTE	0	6	6	0	6	6	0	150	150	45,000	0.00	25.00	380.00	
	FRUJOLLO	0	4	4	0	4	4	0	20	20	12,000	0.00	5.00	600.00	
	SORGO ESCOBERO	926	0	926	922	0	922	2,299	0	2,299	2,299,000	2.49	0.00	1,800.00	
	HORTALIZA	37	0	37	37	0	37	268	0	268	174,200	7.24	0.00	680.00	
	JITOMATE	137	0	137	137	0	137	1,598	0	1,598	958,800	11.88	0.00	680.00	
	PEPINO	23	0	23	23	0	23	254	0	254	114,300	11.04	0.00	4,500.00	
	TOMATILLO	27	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	
	TOTAL		3,841	31,407	35,318	3,241	26,696	29,727	21,619	142,406	164,024	141,908,859	6.67	6.38	888.17
PERENES	MANGO			11,236			11,059			66,313	74,129,000	6.00		1,117.87	
	CIRUELO														
	TAMARINDO														
	AGUACATE														
	COCOTERO														
	PAPAYA														
	LETCHI														
	PASTOS														
	LIMON														
	NARANJA														
	MANDARINA														
NANCHI															
ARRAYAN															
GUANABANA															
CHICOZAPOTE															

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO AGRICOLA	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t/ha)		PROM \$/t
		RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL		RIEGO	TEMPORAL	
O.I.92/93	FRUJOL	220	17008	17228	220	16822	17,042	218	10,103	10,321	21,874,100	0.99	9.90	2,489.80
	MAIZ	575	2092	2667	350	1680	2,039	1,400	1,182	2,582	1,936,725	4.00	9.70	730.00
	SORGO GRANO	115	1627	1742	115	1180	1,295	480	2,590	3,050	1,372,500	4.00	2.98	480.00
	SORGO FORRAJERO	70	1769	1839	30	1747	1,777	540	25,332	25,872	12,935,750	18.00	14.50	698.90
	SORGO ESCOBERO	0	31	31	0	31	31	0	19	19	18,600	0.00	0.61	678.00
	CHILE	5672	0	5672	5623	0	5,623	33,730	0	33,730	50,595,000	6.00	0.00	1,980.00
	JITOMATE	239	0	239	239	0	239	1,912	0	1,912	1,051,600	8.00	0.00	590.00
	SANDIA	94	0	94	84	0	84	1,008	0	1,008	554,400	12.00	0.00	590.00
	CALABAZA	37	0	37	37	0	37	298	0	298	148,000	8.00	0.00	590.00
	TABACO	210	0	210	210	0	210	1,470	0	1,470	808,500	7.00	0.00	590.00
	ALFALFA	20	0	20	20	0	20	300	0	300	195,000	15.00	0.00	690.00
	MELON	6	0	6	6	0	6	0	90	90	27,000	0.00	0.00	360.00
	PASTOS	0	30	30	0	30	30	0	360	360	234,000	0.00	12.00	690.00
	HORTALIZA	40	0	40	40	0	40	720	0	720	432,000	18.00	0.00	690.00
TOTAL		7,298	22,657	29,855	6,974	21,499	28,473	42,064	39,678	81,730	91,982,176	6.83	1.85	1,128.40
P.V.93/93	AJONJOLI	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	CACAHUATE	0	41	41	0	28	28	0	13	13	52,000	0.00	0.45	4,600.00
	MAIZ	0	10,896	10,896	0	9,125	9,125	0	3,982	3,982	2,986,500	0.00	0.44	730.00
	PAPA	0	1	1	0	1	1	0	25	25	11,250	0.00	25.00	490.00
	PASTOS	0	962	962	0	962	962	0	7,696	7,696	4,817,600	0.00	8.00	690.00
	SANDIA	58	0	58	58	0	58	418	0	418	249,600	7.17	0.00	690.00
	SORGO GRANO	0	3,294	3,294	0	3,142	3,142	0	4,115	4,115	2,057,500	0.00	1.31	590.00
	SORGO ESCOBERO	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
SORGO FORRAJERO	0	10,961	10,961	0	10,204	10,204	0	102,850	102,850	102,850,000	0.00	10.08	1,030.00	
TOTAL		58	26,196	26,253	58	23,462	23,620	418	118,681	118,097	112,824,450	7.17	6.86	947.30
PERENES	MANGO			11,236			11,063			66,372	93,699,600	6.00		1411.73
	CIRUELO													
	TAMARINDO													
	AGUACATE													
	COCOTERO													
	PAPAYA													
	LETCHE													
	PASTOS													
	LIMON													
	NARANJA													
	MANDARINA													
NANCHI														
ARRAYAN														
GUANABANA														
CHICOZAPOTE														

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t/ha)		PBR \$ Ft
		RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL		RIEGO	TEMPORAL	
O.I.93/94	FRÍJOL	2,235	18,789	21,004	1,400	18,494	19,894	1,059	10,388	11,444	24,021,350	9.73	9.89	2,899.94
	MAIZ	1,234	2,228	3,462	1,006	1,373	2,469	4,848	918	5,762	403,050	4.42	9.67	699.94
	SORGO GRANO	92	2,153	2,245	71	2,129	2,200	156	3,744	3,900	1,850,000	2.29	1.78	399.94
	SORGO FORRAJERO	119	4,474	4,593	108	4,423	4,531	1,728	54,678	56,404	36,404,100	18.00	12.39	1,899.94
	CHILE	5,698	0	5,698	5,040	0	5,040	40,442	0	40,442	84,707,200	8.02	0.00	1,899.94
	JITOMATE	178	0	178	125	0	125	1,428	0	1,428	828,200	11.42	0.00	699.94
	PEPINO	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	SANDIA	25	67	92	20	52	72	300	878	1,178	705,800	15.00	16.85	699.94
	MELON	17	39	56	17	39	56	306	585	891	534,800	18.00	15.90	699.94
	CALABAZA	5	40	45	0	40	40	0	520	520	416,000	0.00	13.00	699.94
	PAPAYA	13	0	13	13	0	13	182	0	182	127,400	14.00	0.00	799.94
HORTALIZAS	12	0	12	6	0	6	72	0	72	54,000	12.00	0.00	799.94	
TOTAL		9,827	27,770	37,597	7,896	25,848	34,436	66,816	71,786	122,221	168,381,689	6.48	2.79	1,399.92
P.V.94/94	MAIZ	1,231	19,850	21,081	798	9,670	10,468	3,008	8,188	11,174	7,263,100	3.77	9.89	899.94
	SORGO GRANO	1,057	9,783	10,840	654	8,012	8,666	2,389	15,157	17,546	7,895,700	3.95	1.89	499.94
	SORGO FORRAJERO	941	28,753	29,694	775	23,039	23,814	12,324	378,792	391,116	391,116,000	15.90	16.44	1,899.94
	SORGO ESCOBERO	1,278	0	1,278	882	0	882	1,793	0	1,793	2,510,200	2.03	0.00	1,499.94
	JITOMATE	51	0	51	36	0	36	624	0	624	374,400	18.00	0.00	699.94
	CALABAZA	8	0	8	7	0	7	98	0	98	34,300	14.00	0.00	399.94
	SANDIA	19	17	36	19	17	36	304	218	522	313,200	16.00	17.82	699.94
	PASTOS	0	235	235	0	111	111	0	888	888	532,800	0.00	8.90	699.94
	CACAHUATE	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	HORTALIZAS	8	0	8	8	0	8	112	0	112	72,800	14.00	0.00	699.94
	TOTAL		4,591	68,644	83,236	3,182	48,849	44,631	28,662	483,221	423,873	418,112,699	6.48	9.87
PERENES	MANGO			11,236			11,063			72,560	91,980,400	6.56		1,297.80
	CRIUELO													
	TAMARINDO													
	AGUACATE													
	COCOTERO													
	PAPAYA													
	LETCHI													
	PASTOS													
	LIMON													
	NARANJA													
	MANDARINA													
NANCHI														
ARRAYAN														
GUANABANA														
CHICOZAPOTE														

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (g / ha)		PBR \$/t	
		RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL		RIEGO	TEMPORAL		
O.I.93/94	FRUJOL	2,235	18,789	21,004	1,400	18,484	19,884	1,056	10,388	11,444	24,031,350	0.75	0.58	2,889.94	
	MAIZ	1,234	2,228	3,462	1,066	1,373	2,469	4,848	916	5,762	403,050	4.42	0.67	689.94	
	SORGO GRANO	92	2,153	2,245	71	2,129	2,200	156	3,744	3,900	1,950,000	2.20	1.76	389.94	
	SORGO FORRAJERO	119	4,474	4,593	108	4,423	4,531	1,728	54,678	56,404	56,404,000	18.00	12.38	1,889.94	
	CHILE	5,698	0	5,698	5,040	0	5,040	40,442	0	40,442	84,707,200	8.02	0.00	1,889.94	
	JITOMATE	176	0	176	125	0	125	1,428	0	1,428	928,200	11.42	0.00	689.94	
	PEPINO	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	
	SANDIA	25	67	92	20	52	72	300	878	1,178	705,800	15.00	16.85	689.94	
	MELON	17	39	56	17	39	56	308	585	891	534,800	18.00	15.00	689.94	
	CALABAZA	5	40	45	0	40	40	0	520	520	416,000	0.00	13.00	689.94	
	PAPAYA	13	0	13	13	0	13	182	0	182	127,400	14.00	0.00	789.94	
	HORTALIZAS	12	0	12	6	0	6	72	0	72	54,000	12.00	0.00	789.94	
	TOTAL		9,627	27,778	37,397	7,896	26,640	34,436	68,616	71,786	122,221	188,261,460	6.69	2.79	1,389.12
P.V.94/94	MAIZ	1,231	19,850	21,081	798	9,670	10,468	3,008	8,198	11,174	7,263,100	3.77	0.84	689.94	
	SORGO GRANO	1,057	9,783	10,840	654	8,012	8,666	2,389	15,157	17,546	7,895,700	3.85	1.88	439.94	
	SORGO FORRAJERO	941	28,753	29,694	775	23,039	23,814	12,324	378,792	391,118	391,118,000	15.90	16.44	1,889.94	
	SORGO ESCOBERO	1,276	0	1,276	882	0	882	1,793	0	1,793	2,510,200	2.03	0.00	1,489.94	
	JITOMATE	51	0	51	39	0	39	624	0	624	374,400	16.00	0.00	689.94	
	CALABAZA	8	0	8	7	0	7	98	0	98	34,300	14.00	0.00	389.94	
	SANDIA	19	17	36	19	17	36	304	218	522	313,200	18.00	12.82	689.94	
	PASTOS	0	235	235	0	111	111	0	888	888	532,800	0.00	9.00	689.94	
	CACAHUATE	0	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	
	HORTALIZAS	8	0	8	8	0	8	112	0	112	72,800	14.00	0.00	689.94	
	TOTAL		4,891	68,644	83,235	3,182	48,848	44,831	28,662	483,221	423,873	418,112,600	6.48	9.27	1,677.80
PERENES	MANGO			11,236			11,063			72,560	91,980,400	6.56		1,387.85	
	CIRUELO														
	TAMARINDO														
	AGUACATE														
	COCOTERO														
	PAPAYA														
	LECHI														
	PASTOS														
	LIMON														
	NARANJA														
	MANDARINA														
NANCI															
ARRAYAN															
GUANABANA															
CHICOZAPOTE															

Tabla 1.5 Patrón de cultivos en la zona del proyecto (continuación).

CICLO AGRICOLA	CULTIVOS	SUPERFICIE SEMBRADA			SUPERFICIE COSECHADA			PRODUCCION (t)			VALOR DE LA PRODUCCION	RENDIMIENTO (t/ha)		PROM S/ha
		REGIO	TEMPORAL	TOTAL	REGIO	TEMPORAL	TOTAL	REGIO	TEMPORAL	TOTAL		REGIO	TEMPORAL	
O.I.94/95	FRUJOL	4,561	23,295	27,856	3,612	17,243	20,855	2,690	5,173	8,063	14,513,400	0.80	0.30	1,980.00
	MAIZ	1,260	4,434	5,694	984	2,231	3,215	3,739	892	4,631	2,917,530	3.80	0.40	630.00
	SORGO GRANO	351	3,025	3,376	203	1,963	2,166	568	785	1,353	1,150,050	2.80	0.40	630.00
	SORGO FORRAJERO	260	8,500	8,760	198	5,436	5,634	2,376	38,052	40,428	40,428,000	12.00	7.00	1,880.00
	CHILE	4,073	0	4,073	2,104	0	2,104	16,832	0	16,832	20,198,400	8.00	0.00	1,200.00
	JITOMATE	85	0	85	58	0	58	522	0	522	391,500	9.00	0.00	730.00
	PEPINO	1	0	1	1	0	1	9	0	9	7,200	9.00	0.00	800.00
	SANDIA	50	2	52	24	0	24	384	0	384	307,200	16.00	0.00	830.00
	MELON	2	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	CALABAZA	10	0	10	3	0	3	27	0	27	21,800	9.00	0.00	800.00
	TOMATILLO	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
	HORTALIZA	16	0	16	14	0	14	196	0	196	147,000	14.00	0.00	730.00
	TOTAL		10,677	39,260	49,937	7,201	26,873	34,074	27,643	44,902	72,446	80,081,889	3.82	1.67
P.V.95/96	MAIZ	1,520	16,750	20,270										
	SORGO GRANO	1,540	26,168	27,708										
	SORGO FORRAJERO	352	12,227	12,579										
	SORGO ESCOBERO	298	0	298										
	SANDIA	18	234	252										
	JITOMATE	8	0	8										
	CALABAZA	50	10	60										
	HORTALIZA	4	1	5										
	PEPINO	4	0	4										
	PASTOS	67	344	411										
	CACAHUATE	0	55	55										
JAMAICA	0	2	2											
TOTAL		3,861	58,291	62,152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERENES	MANGO			12,820			7,345			60,242	76,716,700	8.20		1,273.40
	CIRUELO	0	892	892										
	TAMARINDO	7	72	79										
	AGUACATE	30	179	209										
	COCOTERO	13	7,524	7,537										
	PAPAYA	34	0	34										
	LETCHI	0	20	20										
	PASTOS	0	7,984	7,984										
	LIMON	8	111	119										
	NARANJA	4	0	4										
	MANDARINA	2	0	2										
	NANCHI	1	0	1										
	ARRAYAN	1	0	1										
	GUANABANA	1	60	61										
CHICOZAPOTE	0	1	1											
TOTAL		101	16,823	29,744										

1.4 Infraestructura hidráulica existente en la zona

El proyecto Baluarte-Presidio forma parte integral del sistema hidráulico interconectado del Noroeste (SHINO), que tiene como propósito fundamental dentro de un marco de desarrollo regional utilizar en forma racional y eficiente los recursos naturales. En la actualidad existe infraestructura de riego que permite desarrollar en forma precaria actividades agrícolas en una superficie de 12604 ha, misma que se encuentra abastecida y distribuida de la manera siguiente:

1.4.1 Infraestructura sobre el río Presidio

Sobre el río Presidio 18 km aguas arriba del poblado de Villa Unión municipio de Mazatlán, Sinaloa, se localiza la presa derivadora "Siqueros", que fue dañada por el huracán "Lidia" en el año 1993, por lo que esta en proceso su reconstrucción.

Esta obra inició su construcción en el mes de enero de 1981 y fue terminada en el año de 1983 y cuyas características son:

Avenida de diseño	8000	m ³ /s
Longitud de la cresta vertedora	275	m
Elevación de la cresta vertedora	36.50	msnm
Carga hidráulica en la cresta vertedora	5.94	m
Elevación del NAME	42.44	msnm
Capacidad de la obra de toma margen izquierda	7.50	m ³ /s.
Capacidad de la obra de toma margen derecha	15.00	m ³ /s
Capacidad de la estructura de limpia margen izquierda	40.00	m ³ /s
Capacidad de la estructura de limpia margen derecha	60.00	m ³ /s
Ancho de la corona	5.00	m ³ /s
Talud de la cortina aguas abajo	12:1	
Talud de la cortina aguas arriba	3:1	

En la margen derecha sobre el río Presidio se cuenta con un canal principal, del cual se tiene un avance en su construcción de 16.9 km de longitud y 20.7 km de canales de distribución, 264 estructuras de operación y servicio y 5 diques como parte del sistema de conducción del canal principal, los cuales almacenan 6.2 Mm³ y benefician 2153 ha; el canal principal cuenta con una capacidad hidráulica de proyecto de 15 m³/s, de los cuales 2 m³/s serán destinados para abastecer de agua potable a la ciudad de Mazatlán, Sinaloa.

Sobre el arroyo Miravalle afluente del río Presidio, por la margen derecha se encuentra la Presa "Los Horcones" con una capacidad de proyecto de 14 Mm³ para el beneficio de 1050 ha, la cortina es de materiales graduados con una longitud de 780 m y una altura de 22 m.

En cuanto a equipo de bombeo se localizan 4 pozos, 2 en el Pozole, 1 en el Vainillo y 1 en el Barrón, se irriga una superficie de 250 ha, se rehabilitarán 14 pozos, localizados en El Vainillo, Barrón, San Francisquito, Cofradía y Lomas de Monterrey para incorporar una superficie de 900 ha.

1.4.2 Infraestructura entre los ríos Baluarte y Presidio

La zona de riego margen izquierda del río Presidio inició su operación por medio de derivación en el año de 1989, la cual beneficia 1825 ha, se cuenta con un canal principal revestido de concreto con una longitud de 12 km, 6 km de canal de tierra con una capacidad hidráulica de 2 m³/s y 25.9 km de canales secundarios.

En cuanto a equipo de bombeo existe un sistema de bombeo eléctrico "El Espolón" que consiste en dos bombas de 14" de 250 l/s cada una localizados en la "Laguna el Espolón", para beneficiar una superficie de 500 ha para los ejidos El Bajío y El Guayabo; un equipo de bombeo "El Roble" con una capacidad de 450 l/s para beneficiar los ejidos de Siqueros y El Bajío, con una superficie a beneficiar de 450 ha; 5 bombas para irrigar los ejidos El Guayabo y El Walamo para 270 ha; 13 pozos localizados en El Roble, Villa Unión y El Walamo para incorporar una superficie de 600 ha.

Dentro de la zona intermedia de los ríos Baluarte y Presidio existe la presa de almacenamiento "Las Higueras" con capacidad de 13 Mm³, longitud de corona de 366 m y altura de 27 m, con esta presa se riegan 1266 ha.

Por la margen derecha del río Baluarte, en la zona de riego Agua Verde existe una batería de pozos para irrigar una superficie de 620 ha.

Se encuentra bajo riego una superficie de 1000 ha que son abastecidas por la Laguna de Beltranes localizada en la margen derecha del río Baluarte.

1.4.3 Infraestructura sobre el río Baluarte

Con la presa derivadora "Genaro Estrada" se contempla aprovechar los escurrimientos del río Baluarte y ha sido diseñada para derivar un gasto de 50 m³/s hacia la margen izquierda, con el cual se pretende beneficiar una superficie de proyecto de 17022 ha; sus características principales son las siguientes:

Avenida de diseño	16000	m ³ /s
Longitud de la cresta vertedora	715	m
Elevación de la cresta vertedora	40.75	msnm
Carga hidráulica en la cresta vertedora	5.71	m
Elevación del NAME	46.46	msnm
Capacidad de la obra de toma margen izquierda	50.00	m ³ /s.
Capacidad de la estructura de limpia margen izquierda	205.00	m ³ /s
Ancho de la corona	5.00	m ³ /s
Talud de la cortina aguas abajo	12:1	
Talud de la cortina aguas arriba	3:1	

Sobre la margen izquierda se cuenta con 12 km revestidos de canal principal, con un gasto de 50 m³/s, la sección del canal cambia en el km. 8+540 con un gasto de 26.47 m³/s. En cuanto a canales laterales revestidos existen el 1+660, 4+170, 8+440 y 9+130.

Sobre el km. 8+440 inicia un canal de conducción de terracería que cuenta con una longitud de 2.8 km, el cual pretende abastecer de agua al canal "Chilillos" (sección de tierra), con la finalidad de beneficiar a las secciones Pozole, Monte Alto y Chagareña cubriendo una superficie de 6287 ha, este canal cuenta con una longitud de 20 km y una capacidad de conducción de 30 m³.

1.4.4 Infraestructura de agua potable

El agua potable es uno de los principales servicios con que debe contar la zona en estudio, para el suministro al municipio de Mazatlán se cuenta con 43 aprovechamientos subterráneos localizados en la margen derecha del río Presidio, con un gasto total de 1432 l/s, el gasto servido es de 917 l/s para un volumen de 28.5 Mm³/año, lográndose cubrir las necesidades del 98.6% de la población considerándose con ello una buena calidad en sus servicios.

La localidad de Concordia tiene una población actual de 7300 habitantes, que para satisfacer sus necesidades demanda un volumen de 1730 m³/día y con un gasto de 30 l/s; esta demanda abastece en un 100% durante los meses de julio a diciembre, en un 70% de enero a marzo y en un 50% de abril a junio. En los últimos año, ha venido presentando deficiencias en sus servicios para satisfacer la demanda de agua potable a sus pobladores, sobre todo en época de estiaje.

El municipio de Rosario cuenta con 24 pozos de captación localizados en su mayoría en la cabecera municipal y el resto en las poblaciones aledañas. La demanda actual es de 11238 m³/día con un gasto de 193 l/s, esta demanda abastece en un 100% al municipio.

En el municipio de Escuinapa para satisfacer los servicios básicos de agua potable, se tienen 17 fuentes de captación; el gasto producido por estas fuentes es de 384 l/s y de estos 124 l/s son autoabastecidos por una planta industrial. El volumen demandado diario es de 10885 m³, con una eficiencia de conducción del 80%.

2.- ANALISIS DEL APROVECHAMIENTO HIDRAULICO

Existen dos grupos básicos de datos necesarios para el diseño de un vaso de almacenamiento: planos topográficos y registros hidrológicos. Los primeros proporcionan la relación que hay entre los volúmenes, áreas y elevaciones del vaso y los segundos sirven para estimar los volúmenes o gastos que llegarán al vaso durante su operación. Los datos topográficos se pueden sintetizar mediante curvas elevaciones-volúmenes y elevaciones-áreas.

Por otra parte, para poder estimar el volumen útil que se requiere para satisfacer una determinada demanda, se deben tener datos de volúmenes escurridos por el río durante un tiempo relativamente largo. Desde luego, entre mayor sea el lapso de registros, más confiable será la estimación del volumen útil.

Es recomendable determinar el volumen útil de una presa en dos pasos: el primero consiste en hacer una primera estimación, usando datos medios mensuales de aportaciones y demandas e ignorando factores de menor importancia como la evaporación y precipitación directa en el vaso; el segundo paso es simular el funcionamiento del vaso para un período largo tomando en cuenta las variaciones mensuales y anuales de aportaciones y demandas, y todos los demás factores que intervienen en la cantidad de agua almacenada en un instante cualquiera.

Dado que generalmente los registros de escurrimiento disponibles son relativamente cortos (menores de 30 años), es necesario generar muestras sintéticas que intenten describir el comportamiento de la serie histórica a largo plazo. Para cumplir con este propósito se deberán aplicar las técnicas de análisis de series de tiempo.

Generalmente la aplicación de las series de tiempo pueden ser: en la predicción del comportamiento de los escurrimientos de un río, generar series para la toma de decisión en la capacidad de almacenamiento de una presa, planes futuros de operación, planeación de los sistemas integrales hidroagrícolas, planeación de la operación de una presa durante una prolongada sequía y aplicaciones similares.

2.1 Características de las series de tiempo

Un proceso estocástico se presenta cuando una variable aleatoria X es observada en forma secuencial X_1, X_2, \dots , donde el subíndice indica intervalos de tiempo, distancia, etc. Cuando el intervalo es el tiempo, el proceso se denomina "serie de tiempo".

El análisis de las series de tiempo se utiliza para caracterizar estadísticamente un registro en el tiempo de la(s) variable(s) de interés.

Las series de tiempo univariadas son aquellas que se pueden obtener al discretizar datos de precipitación, evaporación o escurrimiento anual o mensual, en una estación.

Las series de tiempo múltiple o múltiple-variada se obtienen de las precipitaciones en varias estaciones, del escurrimiento en varios puntos de un río, etc.

2.1.1 Componentes de una serie hidrológica

Las componentes de una serie hidrológica son:

- a) Tendencia
- b) Componente cíclica
- c) Componente autorregresiva o persistencia
- d) Componente aleatoria.

a) Tendencia.

La tendencia indica la propensión, si existe, de la serie a crecer o decrecer conforme avanza el tiempo. En los escurrimientos, esta componente se manifiesta solo en cuencas en las que existe un proceso continuo de modificación (por ejemplo, cuando se urbaniza o se desforesta parte de la cuenca). En caso contrario, es decir, cuando no existe esta propensión, la tendencia será igual a la media de los valores registrados.

b) Componente cíclica.

El comportamiento cíclico de las series asociadas a variables hidrológicas depende del clima asociado a la zona; pero el clima sufre variaciones cíclicas debido fundamentalmente a la rotación de la tierra alrededor de su eje y a su traslación alrededor del sol.

c) Componente autorregresiva.

El proceso de conversión de la lluvia en escurrimiento depende del estado de la cuenca al inicio del proceso (grado de saturación del suelo, almacenamiento de acuíferos ...) lo que determina que el escurrimiento en un instante t dependa de la historia del proceso. Se dice entonces que el proceso tiene memoria, y por lo tanto, lo que ocurre en un momento dado depende en cierto grado de lo que ocurrió en los instantes previos. Este mecanismo, al que se debe la existencia de la persistencia o componente autorregresiva es evidente en el proceso del escurrimiento, sin embargo aunque en menor grado se presenta también con la precipitación y la evaporación.

d) Componente aleatoria.

Finalmente aún pudiendo conocer con precisión la tendencia, las variaciones cíclicas y la dependencia del proceso con su historia, quedarían algunas variaciones sin explicar en términos de relación causa-efecto. Estas variaciones pueden atribuirse a fenómenos completamente casuales y son adicionados a la serie de tiempo mediante una componente aleatoria.

2.1.2 Características básicas de una serie de tiempo

La serie de tiempo se representa por:

$$X_t ; \quad t = 1, \dots, n$$

n tamaño de la muestra.

Las características básicas de una serie de tiempo son sus parámetros estadísticos, la media, la variancia y el coeficiente de asimetría.

La función de autocovariancia mide el grado de autodependencia lineal de una serie de tiempo. La autocovariancia de retraso k C_k entre X_t y X_{t+k} puede ser determinada por:

$$C_k = \frac{1}{n-k} \sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X}) \quad (2.1)$$

donde

- C_k autocovariancia de retraso k .
- k representa el tiempo de retraso o la distancia entre los pares (X_t, X_{t+k}) .
- \bar{X} media muestral.
- n tamaño de la muestra.

Una medida adimensional de la dependencia lineal se obtiene mediante el coeficiente de autocorrelación de retraso k .

$$r_k = \frac{c_k}{c_0} = \frac{n}{n-k} \cdot \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} \quad (2.2)$$

La gráfica de r_k contra k es llamada correlograma de la muestra.

Una alternativa para r_k es

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_t)(X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})}{\left[\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X}_t)^2 \cdot \sum_{t=1}^{n-k} (X_{t+k} - \bar{X}_{t+k})^2 \right]^{1/2}} \quad (2.3)$$

donde

- \bar{X}_t es la media de los primeros $n-k$ valores (X_1, \dots, X_{n-k}) .
- \bar{X}_{t+k} es la media de los últimos $n-k$ valores (X_{k+1}, \dots, X_n) .

Las dos ecuaciones anteriores dan $r_k = 1$ para $k = 0$, así el correlograma siempre empieza en 1 y en general $-1 \leq r_k \leq +1$.

2.1.3 Características complejas de las series de tiempo periódicas

Las características estadísticas de una serie de tiempo periódica deben determinarse para cada intervalo de tiempo dentro del año.

Considérese la serie de tiempo periódica $X_{v,\tau}$, donde v denota el año y τ el intervalo de tiempo dentro del año, las características complejas son las siguientes:

La media muestral para el intervalo τ se determina por:

$$\bar{X}_\tau = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n X_{v,\tau}, \quad \tau = 1, \dots, \omega \quad (2.4)$$

donde

- n es el número de años del registro
- ω es el número de intervalos en el año

La variancia muestral para el tiempo τ esta dada por:

$$S_\tau^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{v=1}^n (X_{v,\tau} - \bar{X}_\tau)^2 \quad (2.5)$$

Similarmente, el coeficiente de asimetría para el tiempo τ es:

$$g_\tau = \frac{n \sum_{v=1}^n (X_{v,\tau} - \bar{X}_\tau)^3}{(n-1)(n-2) S_\tau^3} \quad (2.6)$$

Por ejemplo si se trata de series mensuales; $\omega = 12$

AÑO	v	ENE	FEB	. . .	DIC
1920	v = 1	X _{1,1}	X _{1,2}	. . .	X _{1,12}
.	.	X _{2,1}	X _{2,2}	. . .	X _{2,12}
.
.
.
1994	v = n	X _{n,1}	X _{n,2}	. . .	X _{n,12}
		X _{t-1}	X _{t-2}	. . .	X _{t-12}

La estructura de la correlación de una serie de tiempo periódica puede ser determinada para cada intervalo de tiempo τ por:

$$r_{k,\tau} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{v=1}^n (x_{v,\tau} - \bar{x}_\tau)(x_{v,\tau-k} - \bar{x}_{\tau-k})}{s_\tau \cdot s_{\tau-k}} \quad (2.7)$$

cuando $\tau-k < 1$ en la ecuación anterior, los términos $1/n$, $v = 1$, $X_{v,\tau-k}$, $X_{\tau-k}$ y $S_{\tau-k}$ son reemplazados por $1/(n-1)$, $v = 2$, $X_{v-1, \omega+\tau-k}$, $X_{\omega+\tau-k}$ y $S_{\omega+\tau-k}$, respectivamente.

2.1.4 Proceso estacionario

Una serie de tiempo (o un proceso estocástico) es estacionaria de primer orden si sus valores esperados no varían con el tiempo, esto es:

$$E(X_1) = E(X_2) = \dots = E(X_t) = E(X) = \mu$$

Similarmente, cuando $\text{Var}(x_t) = \sigma^2$; $t = 1, 2, \dots$ es constante, el proceso estocástico es estacionario en la variancia.

Un proceso estocástico es estacionario en la covariancia cuando ésta sólo depende del tiempo de retraso k , pero no depende de la posición t . Esto es:

$$\text{Cov}(X_t, X_{t+k}) = \text{Cov}(k)$$

Un proceso estocástico es estacionario de segundo orden cuando es estacionario en la media, variancia y covariancia.

2.1.5 Técnicas básicas de estimación de parámetros

Se denominan técnicas de estimación de parámetros a los métodos derivados de la estadística que permiten estimar los parámetros de los modelos que representan el comportamiento de las variables aleatorias.

Considérese un proceso estocástico X_1, \dots, X_n y un modelo con parámetros α y β que la representan. Los estimadores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ obtenidos de una muestra X_1, \dots, X_n se denominan valores estimados o estimadores de α y β .

Las técnicas de estimación de los parámetros α y β más comunes son los métodos de momentos, mínimos cuadrados y máxima verosimilitud. Dependiendo de la técnica de estimación, algunos estimadores son mejores que otros.

Propiedades de los estimadores

Las propiedades más importantes para juzgar la bondad de los estimadores son el sesgo, el error medio cuadrático, la consistencia y la suficiencia.

Si el valor esperado $E(\hat{\alpha})$ de un parámetro $\hat{\alpha}$ es igual al parámetro α de la población, entonces $\hat{\alpha}$ es un estimador no sesgado de α . En caso contrario $\hat{\alpha}$ es un estimador sesgado de α y el sesgo está definido por:

$$\text{sesgo} = E(\hat{\alpha}) - \alpha$$

Las diferencias entre el parámetro poblacional α y su estimador $\hat{\alpha}$, se definen como error del estimador; el valor esperado del cuadrado de dicho error es el Error Medio Cuadrático (EMC).

Cuando un estimador es no sesgado su error medio cuadrático es igual a la variancia de dicho estimador. Se dice que tiene mínima variancia si el error medio cuadrático es mínimo. Cuando ambas condiciones están presentes, el estimador es considerado como eficiente.

Si $\hat{\alpha}_n$ es un estimador del parámetro α determinado de una muestra de longitud n , y si $\hat{\alpha}_n \rightarrow \alpha$ cuando n aumenta, entonces $\hat{\alpha}_n$ es un estimador consistente de α .

Finalmente, si los estimadores hacen uso de toda la información contenida en la muestra, se dice que son suficientes.

Método de momentos

El método de momentos consiste en plantear tantas ecuaciones de momentos poblacionales y muestrales como parámetros se tengan que determinar, para posteriormente igualar las expresiones poblacionales con las muestrales del mismo orden y resolver el sistema de ecuaciones resultante.

Método de mínimos cuadrados

Considérese que el modelo de una serie de tiempo muestral y_1, \dots, y_n , es $y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, \alpha_1, \dots, \alpha_p) + \varepsilon_t$, donde $\alpha_1, \dots, \alpha_p$ son los parámetros del modelo y ε_t es el error o residuo de la serie. Los estimadores para $\alpha_1, \dots, \alpha_p$ se obtienen al minimizar la suma de los cuadrados de las diferencias entre valores observados y estimados. Por lo tanto, la función a minimizar se expresa como

$$\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2 = \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 = \sum_{t=1}^n (y_t - f(y_{t-1}, \dots, \hat{\alpha}_1, \dots, \hat{\alpha}_p))^2$$

Para minimizar la expresión anterior se hace uso de procedimientos de búsqueda de mínimos.

Método de máxima verosimilitud

Considérese que el modelo de una serie de tiempo muestral y_1, \dots, y_n es $y_i = f(y_{i-1}, y_{i-2}, \dots, \alpha_1, \dots, \alpha_p) + \varepsilon_i$, donde $\alpha_1, \dots, \alpha_p$ son los parámetros de modelo y ε_i es el error o residuo de la serie. La probabilidad conjunta de los términos de error es llamada la función de verosimilitud $L(\cdot)$, expresada como

$$L(\cdot) = f(\varepsilon_1; \alpha) f(\varepsilon_2; \alpha) \dots f(\varepsilon_n; \alpha) = \prod_{i=1}^n f(\varepsilon_i; \alpha)$$

donde $f(\varepsilon_i; \alpha)$ es el valor de la función de densidad de probabilidad de ε_i , dado α .

La anterior función puede ser escrita en su forma logarítmica.

2.1.6 Normalización de una serie de tiempo

La mayor parte de la teoría de la probabilidad y técnicas estadísticas aplicadas en hidrología en general y análisis de series de tiempo en particular son desarrolladas suponiendo que las variables son normalmente distribuidas. A causa de que la mayor parte de las curvas de frecuencia de variables hidrológicas son distribuidas asimétricamente, es necesario transformar estas variables a normales antes de llevar a cabo el análisis estadístico. Se define entonces la normalización como aquel proceso por medio del cual una serie de tiempo se transforma en normal.

Normalización de serie de tiempo anuales

Existen diversas técnicas para transformar las variables de una serie de tiempo en normales.

a) Transformación de Box-Cox

La transformación propuesta por Chander (1978) está dada por

$$\begin{aligned} y_i &= \frac{(x_i^\lambda - 1)}{\lambda} & \text{para } \lambda \neq 0; & \quad -4 \leq \lambda \leq 4 \\ y_i &= \ln(x_i) & \text{para } \lambda = 0 \end{aligned} \quad (2.8)$$

donde

- x_t = serie de tiempo original.
- y_t = serie de transformada por Box-Cox.
- λ = parámetros de la transformación.

El valor de λ que normaliza a la muestra se encuentra por tanteos hasta que el coeficiente de asimetría de la serie de tiempo y_t pueda suponerse estadísticamente igual a cero.

b) Transformación de doble potencia (Two step power Transformation, TSPT)

Las variables con distribución normal tienen, además de asimetría nula, un coeficiente de curtosis igual a tres, por lo que la transformación completa puede lograrse por el proceso llamado "transformación de doble potencia" (TSPT), dada por

$$t_t = (|y_t - \bar{y}|)^\gamma \quad (2.9)$$

donde

- γ es positiva y t_t es del signo dado por $(y_t - \bar{y})$.
- t_t = serie de tiempo transformada por TSPT.
- \bar{y} = media de la serie transformada por el método de Box-Cox.
- y_t = serie transformada por el método de Box-Cox.
- γ = parámetro de transformación de TSPT.

Este método de transformación se usa simultáneamente con el Box-Cox. El proceso resumido es el siguiente:

Con el método de Box-Cox el coeficiente de asimetría se reduce a cero o cercano a cero, y se obtiene una serie transformada y_t . Esta serie transformada se sustituye en la expresión de TSPT y variando γ se consigue un coeficiente de curtosis igual o cercano a tres para la serie transformada t_t . En esta etapa se modifica el coeficiente de asimetría de la serie t_t ($g \neq 0$), el cual se ajusta nuevamente dejando fijo el valor de γ y variando λ en la expresión de Box-Cox, hasta lograr finalmente que $g = 0$ y $k = 3$.

Normalización de series de tiempo periódicas

La transformación de las series de tiempo periódicas $X_{v,\tau}$ puede hacerse usando diversas funciones de transformación como en el caso de las series de tiempo anuales. Por ejemplo, si se usa la transformación Box-Cox se tiene:

$$\begin{aligned} y_{v,\tau} &= \frac{(x_{v,\tau}^\lambda - 1)}{\lambda} & \text{para } \lambda \neq 0; -4 \leq \lambda \leq 4 \\ y_{v,\tau} &= \ln(x_{v,\tau}) & \text{para } \lambda = 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

donde

- v denota el año.
- τ denota el intervalo de tiempo en el año.

2.2 Modelación de una serie de tiempo

En este subcapítulo se presentan los modelos estocásticos utilizados en el análisis de la series de tiempo considerando que la muestra tiene una distribución normal.

2.2.1 Modelo autorregresivo anual AR(p) con parámetros constantes

Los modelos autorregresivos pueden tener parámetros constantes, parámetros que varían con el tiempo o una combinación de ellos. Los primeros pueden usarse para modelar series anuales, mientras que los restantes suelen usarse para modelar series con intervalos de tiempo menor al anual.

Si se tiene una serie de tiempo hidrológica anual estacionaria y_t normalmente distribuida con media μ y variancia σ^2 , la cual tiene una correlación autorregresiva con parámetros constantes, esta serie puede representarse por medio de un modelo autorregresivo de orden p , con parámetros constantes AR(p).

$$y_t = \mu + \sum_{j=1}^p \phi_j (y_{t-j} - \mu) + \xi_t \quad (2.11)$$

donde

y_t es una serie de tiempo dependiente.

ξ_t es una serie de tiempo independiente que esta normalmente distribuida con $\mu=0$ y variancia σ^2 .

ϕ_j coeficientes de autocorrelación.

Otra forma usual del modelo AR es la siguiente:

$$y_t = \mu + z_t \quad (2.12)$$

$$z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j} + \varepsilon_t \quad (2.13)$$

O bien, directamente

$$z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j} + \sigma_\varepsilon \xi_t \quad (2.14)$$

El conjunto de parámetros de las dos ecuaciones anteriores son $\{\mu, \sigma^2, \phi_1, \dots, \phi_p, \text{ y } \sigma_\varepsilon^2\}$ y deben ser estimados usando los datos de la muestra.

2.2.2 Modelos autorregresivos con parámetros periódicos

Los modelos autorregresivos con parámetros periódicos son aquellos modelos en los cuales sus parámetros varían cíclicamente en períodos anuales. La periodicidad puede estar en la media, la variancia y/o en los coeficientes autorregresivos. Un modelo AR(n) con media periódica y variancia periódica pero con coeficientes autorregresivos constantes puede ser representado por:

$$y_{v,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau z_{v,\tau} \quad (2.15)$$

y

$$z_{v,\tau} = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{v,\tau-j} + \varepsilon_{v,\tau} \quad (2.16)$$

donde

- $y_{v,\tau}$ variable dependiente del tiempo para el año v .
- v denota el año.
- τ intervalo de tiempo dentro del año, $\tau = 1, \dots, \omega$.
- ω número de intervalo en el año.
- μ_τ media en el intervalo de tiempo τ dentro del año.
- σ_τ variancia en el intervalo de tiempo τ dentro del año.

La variable dependiente $z_{v,\tau}$ al igual que la variable independiente $\varepsilon_{v,\tau}$ son también normales con media igual a cero y variancia igual a uno y σ_τ^2 , respectivamente.

Si el autocorrelograma tiene también variaciones cíclicas, la variable $z_{v,\tau}$ puede ser representada por un modelo AR con coeficientes periódicos como:

$$z_{v,\tau} = \sum_{j=1}^p \phi_{j,\tau} z_{v,\tau-j} + \sigma_{\varepsilon,\tau} \xi_{v,\tau} \quad (2.17)$$

donde

- $\phi_{j,\tau}$ es el j -ésimo coeficiente de autocorrelación periódico en el tiempo τ .
- $\sigma_{\varepsilon,\tau}$ es también un coeficiente periódico.
- $\xi_{v,\tau}$ es la variable independiente normal y estandarizada.

2.2.3 Propiedades de los modelos AR(p) con parámetros constantes

Las propiedades más importantes de los modelos AR(p), con parámetros constantes son:

a) El valor esperado y la variancia

$$E(y_t) = \mu \quad (2.18)$$

$$E(\varepsilon_t) = 0 \quad (2.19)$$

$$\text{Var}(y_t) = \sigma^2 \quad (2.20)$$

$$\text{Var}(\varepsilon_t) = \sigma_\varepsilon^2 \quad (2.21)$$

Las variancias σ^2 y σ_ε^2 están relacionadas por:

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2 \left(1 - \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_j \right) \quad (2.22)$$

donde

ϕ_j es el j-ésimo coeficiente de autocorregresión.

ρ_j es el coeficiente de autocorrelación de retraso-j de la variable y_t .

b) Función de Autocorrelación serial (FAC)

La función de autocorrelación ρ_k de la variable y_t esta dada por las ecuaciones de Yule-Walker:

$$\rho_k = \phi_1 \rho_{k-1} + \phi_2 \rho_{k-2} + \dots + \phi_p \rho_{k-p}, \quad k > 0$$

$$\rho_k = \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_{k-j}, \quad k > 0 \quad (2.23)$$

Estas ecuaciones son comúnmente usadas para estimar los parámetros de los modelos AR(p) por el método de momentos, así como para determinar el correlograma ρ_k para un conjunto de parámetros dados $\phi_j, j=1, \dots, p$. Es importante conocer la forma de ρ_k para un modelo AR(p), porque sirve para identificar el orden del modelo para una serie de tiempo dada, y comparar el correlograma muestral con el correlograma del modelo.

c) Función de autocorrelación parcial.

La función de autocorrelación parcial es otro modo de representar la estructura de la dependencia respecto al tiempo de una serie o de un modelo. Es usada como auxiliar para identificar el tipo y orden del modelo cuando se investiga una serie de tiempo muestral.

Si se denomina $\phi_j(k)$ al j -ésimo coeficiente de autocorrelación en un modelo AR(k), tal que $\phi_k(k)$ es el último coeficiente, la ec. 2.23 queda como :

$$\rho_j = \phi_1(k)\rho_{j-1} + \phi_2(k)\rho_{j-2} + \dots + \phi_k(k)\rho_{j-k}; j = 1, \dots, k \quad (2.24)$$

La función de autocorrelación parcial es $\phi_k(k)$ y está determinada por solución simultánea de la ec. 2.24 para cada $k = 1, 2, \dots$. Por ejemplo, para un modelo AR(1) queda como:

$$\begin{aligned} \phi_1(1) &= \rho_1 \\ \phi_k(k) &= 0, \quad k > 1 \end{aligned} \quad (2.25)$$

En general para un modelo AR(p) se tiene que

$$\begin{aligned} \phi_k(k) &\neq 0, \quad k \leq p \\ \phi_k(k) &= 0, \quad k > p \end{aligned} \quad (2.26)$$

Condiciones que deben reunir los parámetros (condiciones de estacionariedad)

Para que un modelo AR(p) con parámetros constantes sea estacionario se requiere que el conjunto de parámetros $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ satisfaga la condición de que las raíces de la ecuación característica

$$u^p - \phi_1 u^{p-1} - \phi_2 u^{p-2} - \dots - \phi_p = 0 \quad (2.27)$$

caiga dentro del círculo unitario.

Se debe de obtener $|u_i| < 1, i=1, 2, \dots, p$, donde u_i son las raíces de la ecuación 2.27.

Para un modelo AR(1) la ecuación 2.27 se convierte en $u - \phi_1 = 0$ lo que implica que $u = \phi_1$. $|\phi_1| < 1$ es la condición de estacionariedad para un modelo AR(1) o equivalentemente

$$-1 < \phi_1 < 1 \quad (2.28)$$

Similarmente para un modelo AR(2) la ecuación 2.27 se convierte en $u^2 - \phi_1 u - \phi_2 = 0$. Por lo tanto, para que se cumpla la estacionariedad las raíces de esta ecuación deben de caer dentro del círculo unitario. Esta condición implica que los parámetros ϕ_1 y ϕ_2 deben estar dentro de la región triangular definida por :

$$\begin{aligned} \phi_1 + \phi_2 &< 1 \\ \phi_2 - \phi_1 &< 1 \end{aligned}$$

y

$$-1 < \phi_2 < 1 \quad (2.29)$$

esto implica que la región factible para el primer y segundo coeficientes de autocorrelación ρ_1 y ρ_2 , es

$$\begin{aligned} -1 < \rho_1 < 1 \\ -1 < \rho_2 < 1 \\ \rho_1^2 < (1 + \rho_2)/2 \end{aligned} \quad (2.30)$$

Para $p > 2$ en los modelos AR(p) no se tiene soluciones implícitas por lo que la ecuación característica se resuelve numéricamente.

2.2.4 Propiedades de los modelos AR con parámetros periódicos

Los modelos AR con parámetros periódicos pueden ser representados por cualquiera de las ecuaciones 2.15, 2.16 o 2.17. Las propiedades más importantes de estos modelos son:

a) El valor esperado y la variancia.

$$E(y_{v,\tau}) = \mu_\tau \quad , \tau = 1, \dots, \omega \quad (2.31)$$

$$E(z_{v,\tau}) = E(\xi_{v,\tau}) = 0 \quad , \tau = 1, \dots, \omega \quad (2.32)$$

$$\text{Var}(y_{v,\tau}) = \sigma_\tau^2 \quad , \tau = 1, \dots, \omega \quad (2.33)$$

y

$$\text{Var}(y_{v,\tau}) = \text{Var}(\xi_{v,\tau}) = 1 \quad , \tau = 1, \dots, \omega \quad (2.34)$$

La variancia periódica σ_{τ}^2 de la ecuación 2.17 puede ser escrita como una función de los coeficientes de autocorregresión periódicos $\phi_{j,\tau}$ y de los coeficientes de autocorrelación periódicos $\rho_{j,\tau}$ como :

$$\sigma_{\tau}^2 = 1 - \sum_{j=1}^p \phi_{j,\tau} \rho_{j,\tau} \quad (2.35)$$

Para un modelo AR(1) la ecuación 2.35 se simplifica a

$$\sigma_{\tau}^2 = 1 - \phi_{1,\tau} \rho_{1,\tau} \quad (2.36)$$

Similarmente, para un modelo AR(2) se tiene

$$\sigma_{\tau}^2 = 1 - \phi_{1,\tau} \rho_{1,\tau} - \phi_{2,\tau} \rho_{2,\tau} \quad (2.37)$$

b) Función de autocorrelación.

La función de autocorrelación del modelo de $z_{v,\tau}$ de la ecuación 2.1 satisface la ecuación

$$\rho_{k\tau} = \sum_{j=1}^p \phi_{j,\tau} \rho_{|k-j|,\tau - \lambda_j} \quad , \quad k > 0 \quad (2.38)$$

donde $\lambda_j = \min(k,j)$ y $\rho_{0,\tau} = 1$. Esta ecuación puede ser usada para estimar los parámetros $\phi_{j,\tau}$ del modelo así como el correlograma $\rho_k(\tau)$ para un conjunto dado de datos.

Condiciones que deben cumplir los parámetros

En general las condiciones que deben cumplir los parámetros periódicos no pueden ser derivadas fácilmente. Por consiguiente en la práctica las condiciones dadas en los modelos AR con parámetros constantes, pueden ser usadas como una aproximación.

2.2.5 Modelo autorregresivo de promedios móviles ARMA (p,q)

Si a los modelos autorregresivos AR(p) se les adiciona la componente MA(q) llamada de promedios móviles se forman los modelos llamados de Box-Jenkins.

Considérese los valores de la serie de tiempo hidrológica $y_t, y_{t+1}, y_{t+2}, \dots$ en tiempos igualmente espaciados $t, t+1, t+2, \dots$ las desviaciones con respecto a la media son:

$$z_t = y_t - \bar{y}_t \quad (2.39)$$

entonces la serie Z_t puede ser representada como una suma ponderada infinita de variables aleatorias independientes $\varepsilon_t, \varepsilon_{t+1}, \varepsilon_{t+2}, \dots$

$$z_t = \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots \quad (2.40)$$

Si se hace Z_t dependiente únicamente de un número finito de variables aleatorias previas ε_t , entonces el proceso resultante es un "proceso de promedios móviles" MA(q) que puede ser escrito como:

$$z_t = \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.41)$$

o

$$z_t = - \sum_{j=0}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.42)$$

con la convención de que $\theta_0 = -1$.

Los parámetros del modelo son: la media μ , la variancia σ_ε^2 de la variable independiente ε , y los coeficientes $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ por lo que se deben estimar $(q+2)$ parámetros de los datos.

Un modelo AR(p) y un modelo MA(q) se pueden mezclar para obtener un modelo ARMA (p,q) que esta definido por:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.43)$$

o por

$$z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.44)$$

Los parámetros del modelo son $\mu, \sigma_\varepsilon^2, \phi_1, \dots, \phi_p, \theta_1, \dots, \theta_q$. Un total de $p+q+2$ parámetros que pueden ser estimados desde los datos.

2.2.6 Propiedades de los modelos ARMA (p,q)

El modelo ARMA (p,q) es la adición de un modelo AR(p) y un modelo MA(q), por lo que en esta sección, las propiedades del modelo MA serán presentadas primeramente seguidas de las características generales del modelo ARMA. Las propiedades del modelo AR(p) ya fueron presentadas anteriormente, por lo que ya no se repetirán.

Propiedades del modelo MA(q)

a) Valor esperado.

La media del proceso z_t dado por la ecuación 2.25 o 2.26 es:

$$E[z_t] = 0 \quad (2.45)$$

b) Autocovariancia.

Por la forma del producto z_t, z_{t-k} , la autocovariancia esta dada por :
(con la convención de $\theta_0 = -1$)

$$\gamma_k = \text{Cov}[z_t, z_{t+k}] = \sigma_\varepsilon^2 \sum_{j=0}^{q-k} \theta_j \theta_{j+k}, \quad k \leq q$$

$$\gamma_k = 0 \quad k > q \quad (2.46)$$

para $k=0$, la variancia es:

$$\text{Var}[z_t] = \gamma_0 = \sigma_\varepsilon^2 \sum_{j=0}^q \theta_j^2 \quad (2.47)$$

c) Función de autocorrelación

La función de autocorrelación (FAC) se obtiene como la razón entre las ecuaciones 2.46 y 2.47 (con la convención $\theta_0 = -1$):

$$\rho_k = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} = \frac{\sum_{j=0}^{q-k} \theta_j \theta_{j+k}}{\sum_{j=0}^q \theta_j^2}, \quad k \leq q$$

$$\rho_k = 0 \quad k > q \quad (2.48)$$

En forma particular el proceso MA (1) se define por:

$$z_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (2.49)$$

su autocovariancia de retraso 1 se obtiene a partir de la ecuación 2.46 como:

$$\gamma_1 = -\theta_1 \sigma_\varepsilon^2 \quad (2.50)$$

su variancia se obtiene a partir de la ecuación 2.46 como:

$$\gamma_0 = (1 + \theta_1^2) \sigma_\varepsilon^2 \quad (2.51)$$

y su coeficiente de correlación de retraso 1 está dado en términos de sus parámetros por:

$$\rho_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_0} = \frac{\theta_1}{1+\theta_1^2} \quad (2.52)$$

Propiedades generales del modelo ARMA (p,q)

Las propiedades generales del proceso ARMA (p,q) están dadas en términos de la covarianza cruzada entre z y ε

$$\gamma_{zx}(k) = \text{Cov}\{z_{t-k}, \varepsilon_t\}$$

la cual es diferente de cero para $k > 0$, dado que z depende únicamente de valores previos de ε . Con la convención de $\theta_0 = -1$ la autocovarianza del proceso ARMA(p,q) está dada por

$$\begin{aligned} \gamma_k &= \sum_{i=1}^p \phi_i \gamma_{k-i} - \sum_{i=0}^q \theta_i \gamma_{zx}(k-i), \quad k < q+1 \\ \gamma_k &= \sum_{i=1}^p \phi_i \gamma_{k-i}, \quad k \geq q+1 \end{aligned} \quad (2.53)$$

para $k=0$, la variancia es:

$$\gamma_0 = \text{Var}[z_t] = \sigma_\varepsilon^2 + \sum_{i=1}^p \phi_i \gamma_i - \sum_{i=1}^q \theta_i \gamma_{zx}(-i) \quad (2.54)$$

y la función de autocorrelación es

$$\rho_k = \sum_{i=1}^p \phi_i \rho_{k-i}, \quad k \geq q+1 \quad (2.55)$$

La función de autocorrelación parcial $\phi_k(k)$ se obtiene al ajustar a las series dadas un proceso AR de orden $k = 1, 2, \dots$

$$z_t = \phi_1(k)z_{t-1} + \phi_2(k)z_{t-2} + \dots + \phi_j(k)z_{t-j} + \dots + \phi_k(k)z_{t-k}$$

donde $\phi_j(k)$ denota el j -ésimo coeficiente de un proceso AR de orden k .

2.2.7 Modelo anual ARMA (p,q) con parámetros constantes

Consideremos una serie de tiempo hidrológica estacionaria y_t normalmente distribuida con media μ y variancia σ^2 , la cual tiene una correlación autorregresiva (Markoviana) con parámetros constantes.

El modelo autorregresivo de promedios móviles para ajustar la serie hidrológica anual y_t es:

$$y_t = \mu - z_t \quad (2.56)$$

z_t modelo ARMA (p,q)

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + \dots + \phi_p z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

El modelo de autocorrelación es un caso particular del modelo ARMA en el cual todos los coeficientes θ son ceros.

El modelo ARMA (1,1) es usado extensamente en hidrología ; en este caso

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1}$$

Los parámetros del modelo ARMA (p,q) para y_t son estimados con los datos de la serie hidrológica anual.

2.2.8 Modelo ARMA (p,q) con parámetros periódicos

Consideremos la serie periódica $x_{v,\tau}$, donde v denota el año, τ el intervalo de tiempo en el año (día, semana, mes, estación, etc.) con $\tau=1,2,\dots,\omega$. Y ω es el número de intervalos de tiempo en el año, Si la variable es sesgada la serie normalizada es :

$$y_{v,\tau} = g_\tau(x_{v,\tau}) \quad (2.57)$$

donde g_τ es la función de normalización.

La forma general del modelo ARMA periódico para $y_{v,\tau}$ puede escribirse como:

$$y_{v,\tau} = \mu_\tau + \sigma_\tau z_{v,\tau} \quad (2.58)$$

donde μ_t y σ_t son la media periódica y la desviación estándar periódica. $z_{v,t}$ puede ser representada por un modelo ARMA con ambos coeficientes constantes o coeficientes periódicos.

El modelo ARMA (p,q) con coeficientes constantes es :

$$z_t = \sum_{j=1}^p \phi_j z_{t-j} - \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2.59)$$

donde $t = (v-1)\omega + \tau$, ϕ y θ son los coeficientes del modelo y ε_t es la variable independiente normal.

El modelo ARMA (p,q) con coeficientes periódicos usado por Tao y Delleur (1976) es:

$$z_{v,\tau} = \sum_{j=1}^p \phi_{j,\tau} z_{v,\tau-j} - \sum_{i=1}^q \theta_{i,\tau} \varepsilon_{v,\tau-i} + \varepsilon_{v,\tau} \quad (2.60)$$

donde $\phi_{j,\tau}$ y $\theta_{i,\tau}$ son los coeficientes periódicos de los procesos autorregresivo y de media móvil, respectivamente, y $\varepsilon_{v,\tau}$ es una variable aleatoria independiente con distribución normal.

2.3 Pruebas de bondad de ajuste

En el modelado de una serie de tiempo hidrológica, debe removerse la componente periódica y la estructura de dependencia en el tiempo. Con ello, se supone que la serie es independiente y normalmente distribuida. Similarmente en la modelación multivariada se supone que la componente estocástica es independiente en el tiempo y en el espacio, así como normal.

Estas suposiciones deben verificarse con las siguientes pruebas :

- a) Pruebas de independencia.
- b) Pruebas de normalidad.

Por otro lado, debe compararse el correlograma histórico con el proporcionado por el modelo, así como los estadísticos históricos con los generados por el modelo.

2.3.1 Pruebas de independencia en el tiempo

- a) Prueba de Anderson

Para una serie independiente el correlograma poblacional es igual a cero para $k \neq 0$. Sin embargo debido a la variabilidad en el muestreo, el correlograma fluctúa alrededor de cero. En tal caso es conveniente calcular los límites de confianza para una serie independiente. Anderson dio los siguientes límites

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.645 \sqrt{n-k-1}}{n-k} \quad (2.61)$$

donde

- n tamaño de la muestra .
- k representa el tiempo de retraso.

si los valores del correlograma obtenido a partir de la muestra caen dentro de estos límites, se considera satisfecha la prueba de independencia.

b) Prueba de Porte Manteau

Considérese que una serie de tiempo x_t de tamaño n es representada por un modelo ARMA (p,q) donde p es el número de parámetros autorregresivos y q es el número de parámetros de promedios móviles.

Se requiere aplicar prueba de Porte Manteau para verificar que la serie residual ϵ_t es independiente y que por lo tanto el modelo es adecuado. La prueba usa el estadístico

$$Q = (n) \sum_{k=1}^L r_k^2(\epsilon) \quad (2.62)$$

donde

- $r_k(\epsilon)$ es el correlograma de los residuales ϵ_t .
 L es el máximo retraso considerado, que puede tomarse como $L \sim n/4$.

El estadístico Q está distribuido en forma de Chi-cuadrada con $(L-p-q)$ grados de libertad y lo adecuado de un modelo ARMA se confirma si $Q < \chi^2(L-p-q)$, por lo que se establece que ϵ_t es una serie independiente en el tiempo.

En el caso de los modelos periódicos

$$Q = (n) \sum_{k=1}^L \sum_{\tau=1}^{\omega} [r_{k,\tau}(\epsilon)]^2 \quad (2.63)$$

donde :

- n es el número de años de registro.
 L es el número máximo de retrasos considerados.
 ω es el número de períodos en el año.
 $r_{k,\tau}(\epsilon)$ es el correlograma periódico de los residuales.

2.3.2 Pruebas de normalidad

Existen varias formas para probar si una serie de tiempo es normal; algunas de ellas son las siguientes:

a) Dibujar los valores de la serie en papel de probabilidad normal y observar si los puntos siguen aproximadamente una línea recta.

b) Otra prueba es la del coeficiente de asimetría, si dicho coeficiente es igual o cercano a cero, se considera que la serie está normalmente distribuida.

2.4 Preservación de estadísticos y principios de parsimonia

Con objeto de preservar las características estadísticas determinadas por la muestra histórica es práctica común generar nuevas muestras de series de tiempo. Generalmente lo que interesa es encontrar un modelo que reproduzca las características estadísticas históricas consideradas relevantes, es decir, aquellas que son realmente necesarias para representar la variabilidad natural de la serie hidrológica en cuestión y que son importantes en el problema para el cual se está haciendo el modelo. Generalmente los estadísticos a preservar son la media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y la estructura de correlación serial (correlograma).

Una profunda y cuidadosa interpretación de los estadísticos históricos, ayudará a decidir cuales estadísticos deben preservarse en el modelo.

Una vez que se toma la decisión de cuales estadísticos deben preservarse, entonces el problema es encontrar un modelo con el mínimo número de parámetros que permita preservar los estadísticos escogidos. Para ello se recurre al principio de parsimonia.

Principio de Parsimonia

Si se considera que n es el tamaño de la muestra y c es el número de parámetros del modelo ajustado a dicha serie, entonces el índice de parsimonia puede definirse como

$$\delta = \frac{n}{c}$$

Un valor bajo de δ , por ejemplo menor de 6, indica que el principio de Parsimonia en el número de parámetros no ha sido respetado. En general se recomienda tener valores de δ mayores que 15.

Criterio de información de Akaike

Una formulación matemática que considera el principio de Parsimonia en la construcción de un modelo es el Criterio de Información de Akaike (CIA), definido para un modelo ARMA (p,q) como:

$$CIA = (p,q) = n \ln (\hat{\sigma}_e^2) + 2 (p+q) \quad (2.64)$$

donde.

n es el tamaño de la muestra.

$\hat{\sigma}_e^2$ es la variancia de los residuales del modelo.

Akaike sugirió que este criterio podría ser usado para seleccionar correctamente entre varias opciones en competencia. Bajo este criterio el modelo mas adecuado es el que muestra el mínimo valor de CIA.

2.5 Generación de muestras sintéticas

En la modelación de las series de tiempo hidrológicas es necesario generar primero series sintéticas normales e independientes, con media cero y variancia igual a uno.

Como una ilustración de generación de números aleatorios normales, Box y Muller propusieron las siguientes ecuaciones:

$$\xi_1 = [2\ln(1/u_1)]^{1/2} \cdot \cos(2\pi u_2)$$

$$\xi_2 = [2\ln(1/u_1)]^{1/2} \cdot \sin(2\pi u_2)$$

donde ξ_1 y ξ_2 son números aleatorios normales estándar y u_1 y u_2 son números aleatorios con distribución uniforme $[0,1]$.

2.5.1 Generación usando el modelo AR(p) anual

El modelo para la generación de muestras sintéticas de series de tiempo anuales puede obtenerse sustituyendo los parámetros estimados $\hat{\phi}_1, \dots, \hat{\phi}_p$ dentro de las ecuaciones 2.12 y 2.14 y por la transformación inversa de normalización utilizada, de las mencionadas en el subcapítulo 2.1.6. Así el modelo de generación es:

$$\hat{x} = \hat{g}^{-1}(\hat{y}_t) \quad (2.65)$$

donde $\hat{g}^{-1}(\cdot)$ denota la función de transformación inversa de normalización.

Según las ecuaciones 2.12 y 2.14 la variable \hat{y}_t es:

$$\begin{aligned} \hat{y}_t &= y + \hat{z}_t \\ y \quad \hat{z}_t &= \hat{\phi}_1 z_{t-1} + \dots + \hat{\phi}_p z_{t-p} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.66)$$

Puesto que ε_t es normal con media cero y variancia $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$, se puede usar la variable normal estandarizada ξ_t , tal que $\varepsilon_t = \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_t$. La última ecuación para \hat{Z}_t , se convierte en :

$$\hat{Z}_t = \hat{\phi}_1 Z_{t-1} + \dots + \hat{\phi}_p \hat{Z}_{t-p} + \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_t \quad (2.67)$$

Por lo tanto las ecuaciones 2.65, 2.66 y 2.67 son usadas conjuntamente para generar series sintéticas anuales \hat{X}_t .

El proceso de generación es el siguiente:

1) Generar un número aleatorio normal standar ξ_1 y con la ec. 2.67 se determina \hat{Z}_1 suponiendo que los valores previos a éste ($\hat{Z}_0, \hat{Z}_{-1}, \dots, \hat{Z}_{-p+1}$) son ceros. De la misma forma se genera un nuevo número aleatorio ξ_2 y con la ec. 2.67 se obtiene \hat{Z}_2 basado en \hat{Z}_1 ya calculado y en los valores $\hat{Z}_0, \hat{Z}_{-1}, \dots$ que se suponen igual a cero. Se repite este proceso hasta la serie $\hat{Z}_1, \hat{Z}_2, \dots, \hat{Z}_N$, donde generalmente $N = 50 + N_y \cdot N_g$ es el número considerado de años de generación. La longitud de 50 es necesaria para remover los efectos de las condiciones iniciales ($\hat{Z}_0, \hat{Z}_{-1}, \dots, \hat{Z}_{-p+1}$ son igual a cero).

2) Rechazar los primeros 50 valores de la serie generada de tal modo que los últimos valores se convierten en $\hat{Z}_1, \hat{Z}_2, \dots, \hat{Z}_g$.

3) Con base en la serie generada $\hat{Z}_1, \hat{Z}_2, \dots, \hat{Z}_g$, se determina la serie $\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots, \hat{Y}_g$ con la ec. 2.66.

4) Con base en la serie generada $\hat{Y}_1, \hat{Y}_2, \dots, \hat{Y}_g$ se determina con la ec. 2.65 finalmente la serie de tiempo sintética anual $\hat{X}_1, \dots, \hat{X}_g$.

2.5.2 Generación usando el modelo AR(p) periódico

El modelo para la generación de series de tiempo sintéticas periódicas puede ser descrito como sigue. Sustituyendo los parámetros estimados en la ec. 2.1, el modelo para la generación de la serie $x_{v,t}$ es

$$\hat{x}_{v,t} = \hat{g}_t^{-1}(\hat{y}_{v,t}) \quad (2.68)$$

y

$$\hat{y}_{v,t} = \mu_t + \hat{\sigma}_t \hat{z}_{v,t} \quad (2.69)$$

donde $\hat{g}_t^{-1}(\cdot)$ denota la función de transformación inversa de normalización.

Si $\hat{z}_{v,t}$ se representa con un modelo AR con coeficientes autorregresivos constantes se tiene

$$\hat{z}_t = \hat{\phi}_1 \hat{z}_{t-1} + \dots + \hat{\phi}_p \hat{z}_{t-p} + \hat{\sigma}_t \xi_t \quad (2.70)$$

donde $t = (v-1)\omega + \tau$ y ξ_t es una variable normal con media cero y variancia uno.

Si $\hat{z}_{v,t}$ se representa con un modelo AR con coeficientes autorregresivos periódicos se tiene

$$\hat{z}_{v,t} = \hat{\phi}_{1,\tau} \hat{z}_{v,t-1} + \dots + \hat{\phi}_{p,\tau} \hat{z}_{v,t-p} + \hat{\sigma}_{s,\tau} \xi_{v,t} \quad (2.71)$$

donde $\xi_{v,t}$ es una variable normal con media cero y variancia uno. Así las ecs. 2.68, 2.69 y 2.70 o 2.71 pueden ser usadas para generar series periódicas sintéticas $\hat{x}_{v,t}$.

El proceso de generación es prácticamente el mismo que en el caso de la generación series de tiempo anuales. La única diferencia es que los parámetros del modelo cambian en cada intervalo de tiempo y repiten periódicamente en cada año.

2.5.3 Generación usando el modelo ARMA (p,q) anual

El modelo para la generación de muestras sintéticas de series de tiempo anuales puede obtenerse sustituyendo los parámetros estimados en las ec. 2.39 y 2.44 y por la transformación inversa de normalización utilizada. Así el modelo de generación es

$$\hat{x} = \hat{g}^{-1}(\hat{y}) \quad (2.72)$$

donde $\hat{g}^{-1}(\cdot)$ denota la función de transformación inversa.

Según las ecuaciones 2.39 y 2.44 la variable \hat{y}_t es

$$\hat{y}_t = \bar{y} + \hat{z}_t$$

y

$$\hat{z}_t = \sum_{j=1}^p \hat{\phi}_j \hat{z}_{t-j} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^q \hat{\theta}_j \varepsilon_{t-j} \quad (2.73)$$

Puesto que ε_t es normal con media cero y variancia $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$, se puede usar la variable normal estandarizada ξ_t tal que $\varepsilon_t = \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_t$. Entonces la ecuación 2.73 se convierte en

$$\hat{z}_t = \sum_{j=1}^p \hat{\phi}_j \hat{z}_{t-j} + \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_t - \sum_{j=1}^q \hat{\phi}_j \hat{\sigma}_\varepsilon \xi_{t-j} \quad (2.74)$$

Por lo tanto las ecs. 2.72, 2.73 y 2.74 se utilizan conjuntamente para generar series sintéticas anuales \hat{x}_t .

El proceso de generación es prácticamente el mismo, como en el caso de la generación de series de tiempo anuales vista en el subcapítulo 2.5.1.

2.5.4 Generación usando el modelo ARMA (p,q) periódico

El modelo para generación de muestras sintéticas periódicas puede obtenerse sustituyendo los parámetros estimados en la ec. 2.57. Así el modelo para la generación es

$$\hat{x}_{v,t} = g_t^{-1}(\hat{y}_{v,t}) \quad (2.75)$$

y

$$\hat{y}_{v,t} = \hat{\mu}_t + \hat{\sigma}_t \hat{z}_{v,t} \quad (2.76)$$

donde $\hat{g}^{-1}(\cdot)$ denota la función de transformación inversa.

Para un modelo ARMA (p,q) periódico con coeficientes autorregresivos constantes el modelo de generación es:

$$\hat{z}_t = \hat{\phi}_1 \hat{z}_{t-1} + \dots + \hat{\phi}_p \hat{z}_{t-p} + \hat{\sigma}_e \xi_t - \hat{\theta}_1 \hat{\sigma}_e \xi_{t-1} - \dots - \hat{\theta}_q \hat{\sigma}_e \xi_{t-q} \quad (2.77)$$

donde $t = (v-1)\omega + \tau$ y ξ_t es una variable normal con media cero y variancia uno.

Para un modelo ARMA (p,q) periódico con coeficientes autorregresivos periódicos el modelo será:

$$\hat{z}_{v,t} = \hat{\phi}_{1,t} \hat{z}_{v,t-1} + \dots + \hat{\phi}_{p,t} \hat{z}_{v,t-p} + \hat{\sigma}_{e,t} \xi_{v,t} - \hat{\theta}_{1,t} \hat{\sigma}_{e,t} \xi_{v,t-1} - \dots - \hat{\theta}_{q,t} \hat{\sigma}_{e,t} \xi_{v,t-q} \quad (2.78)$$

donde $\xi_{v,t}$ es una variable aleatoria independiente con distribución normal.

Por lo tanto las ecs. 2.75, 2.76, 2.77 y 2.78 se utilizan conjuntamente para generar series sintéticas anuales \hat{x}_t .

El proceso de generación es prácticamente el mismo, que en el caso de la generación de series de tiempo anuales vista en el subcapítulo 2.5.1.

2.6 Proceso de modelación de las series de tiempo hidrológicas

El proceso de modelación de las series de tiempo hidrológicas consta de cuatro partes principales:

- 1.- Análisis preliminar e identificación del modelo.
- 2.- Estimación de parámetros.
- 3.- Pruebas de bondad de ajuste.
- 4.- Pruebas adicionales del modelo (preservación de estadísticos).

En la primera parte se analizan las características de la serie histórica, tomando en cuenta el conocimiento previo del proceso que se quiere modelar, para determinar el tipo de modelo que debe utilizarse, así como el orden de dicho modelo. En la segunda parte se estiman los parámetros del modelo seleccionado; en la tercera se aplican las pruebas de bondad de ajuste, basadas esencialmente en las pruebas de independencia y normalidad de los residuos, en la comparación gráfica de los correlogramas de la serie histórica y del modelo y en la prueba de parsimonia. Finalmente en la cuarta parte se comparan las características de la serie histórica con las características correspondientes de las series de tiempo sintéticas generadas con el modelo. En seguida se presenta un resumen de los cálculos que deben realizarse en cada caso.

2.6.1 Análisis preliminar e identificación del modelo

Para esta parte se requiere :

- a) Verificar la normalidad de la serie de tiempo original, aplicando la prueba del coeficiente de asimetría ($g \approx 0$) o dibujando la serie en papel de probabilidad normal.
- b) Si la serie no es normal se utilizan los métodos de transformación visto en el subcapítulo 2.1.6.
- c) Calcular y dibujar la función de autocovariancia C_k de la serie normalizada con la ec. 2.1, los coeficientes de autocorrelación $r_k = C_k/s^2$ con la ec. 2.2 y 2.3 y los coeficientes de autocorrelación parcial $\phi_k(\kappa)$ para un retraso k dado desde 1 hasta $n/4$. La función de autocorrelación parcial se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$\hat{\phi}_1(1) = r_1; \hat{\phi}_2(2) = \frac{r_2 - r_1^2}{1 - r_1^2}; \hat{\phi}_1(2) = \frac{r_1(1 - r_2)}{1 - r_1^2}$$

$$\hat{\phi}_{k+1}(k+1) = [r_{k+1} - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_j(k) r_{k+1-j}] / [1 - \sum_{j=1}^k \hat{\phi}_j(k) r_j]$$

$$\hat{\phi}_j(k+1) = \hat{\phi}_j(k) - \hat{\phi}_{k+1}(k+1) \hat{\phi}_{k-j+1}(k)$$

d) Identificación. Observando el comportamiento de las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial y haciendo uso de la tabla 2.1, inferir el orden del modelo con base en los siguientes puntos.

Si el valor calculado de $r_1(y)$ es cercano a cero y los otros valores de $r_1(y), r_2(y), \dots$ son también pequeños ó fluctúan alrededor de cero, la serie de tiempo puede ser representada por un modelo de orden cero ($p=0$), es decir, puramente aleatorio.

Si $r_1(y)$ tiene un decaimiento de forma exponencial, esto indica que el modelo de orden uno ($p=1$) es un posible modelo para la serie de tiempo.

En el caso de que no se tenga experiencia y no se pueda decidir el orden del modelo, se seleccionará el modelo de menor orden y se procederá con la segunda parte del análisis.

Tabla 2.1. Propiedades para identificar los procesos AR, MA y ARMA.

Proceso	Autocorrelación	Autocorrelación Parcial
AR(p)	Infinito en extensión, consta de un decaimiento exponencial y/o un decaimiento ondular. Atenuándose como	Finito en extensión, se presentan picos en los retrasos 1 hasta p y se corta. (se hace cero).
	$\rho_k = \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_{k-j}$	
MA(q)	Finito en extensión, se presentan picos en los retrasos 1 hasta p y se corta (se hace cero).	Infinito en extensión, consta de un decaimiento exponencial y/o un decaimiento ondular.
ARMA(p,q)	Infinito en extensión, en los primeros q-p retrasos es irregular; después tiene un decaimiento exponencial y/o decaimiento ondular. Atenuándose como:	Infinito en extensión, en los primeros q-p retrasos es irregular; después tiene un decaimiento exponencial y/o decaimiento ondular.
	$\rho_k = \sum_{j=1}^p \phi_j \rho_{k-j}$ (k ≥ q+1)	

2.6.2 Estimación de parámetros

Modelo AR(p) con parámetros constantes anual

La estimación de parámetros puede ser realizada por el método de momentos o por el método de máxima verosimilitud.

Los dos primeros pasos son comunes a los métodos de estimación mencionados.

a) Determinar la media muestral \bar{y} y la variancia muestral $\hat{\sigma}^2$:

b) Determinar la serie z_t

$$z_t = y_t - \bar{y}, \quad t=1, \dots, n.$$

Estimación de parámetros por momentos

c) Determinar los parámetros autorregresivos $\hat{\phi}_j, j=1, \dots, p$.

si $p=1$,

$$\hat{\phi}_1 = r_1$$

si $p=2$,

$$\hat{\phi}_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2} \quad \text{y} \quad \hat{\phi}_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2}$$

si $p>2$ los parámetros son estimados resolviendo el sistema de ecuaciones lineales (ec.2.23).

d) Cálculo de la variancia de los residuos $\hat{\sigma}_e^2$

si $p=1$,

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{n\hat{\sigma}^2}{(n-1)} (1-\hat{\phi}_1^2)$$

si $p=2$,

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{n\hat{\sigma}^2}{(n-2)} (1 - \hat{\phi}_1 r_1 - \hat{\phi}_2 r_2)$$

$$= \frac{n\hat{\sigma}^2 (1 + \hat{\phi}_1)}{(n-2)(1 - \hat{\phi}_1)} [(1 - \hat{\phi}_1)^2 - \hat{\phi}_1^2]$$

si $p > 2$ la variancia de los residuales se obtienen como:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{n\hat{\sigma}^2}{(n-p)} \left(1 - \sum_{j=1}^p \hat{\phi}_j r_j\right)$$

Estimación de parámetros por máxima verosimilitud

c') Calcular D_{ij} , $i, j = 1, \dots, p+1$

$$D_{ij} = D_{ji} = \frac{n}{(n+2-i-j)} \sum_{t=1}^{n+1-i-j} z_{t+i} z_{t+j}$$

y determinar los parámetros autorregresivos $\hat{\phi}_j$, $j=1, \dots, p$

si $p=1$

$$\hat{\phi}_1 = \frac{D_{12}}{D_{22}}$$

si $p=2$.

$$\hat{\phi}_1 = \frac{D_{12} D_{33} - D_{13} D_{23}}{(D_{22} D_{33} - D_{23}^2)} \quad \text{y} \quad \hat{\phi}_2 = \frac{D_{13} D_{22} - D_{12} D_{23}}{(D_{22} D_{33} - D_{23}^2)}$$

Si $p > 2$ los parámetros son estimados resolviendo el sistema de ecuaciones

$$D_{1j} = \hat{\phi}_1 D_{1j} + \hat{\phi}_2 D_{2j} + \dots + \hat{\phi}_p D_{pj}, \quad j=2, \dots, p+1$$

$$\text{para } \hat{\phi}_1, \dots, \hat{\phi}_p$$

d') Cálculo de la variancia de los residuales $\hat{\sigma}_\epsilon^2$.

Si $p = 1$,

$$\sigma_\epsilon^2 = \frac{1}{n-1} (D_{11} - \hat{\phi}_1 D_{12})$$

si $p = 2$,

$$\sigma_\epsilon^2 = \frac{1}{n-2} (D_{11} - \hat{\phi}_1 D_{12} - \hat{\phi}_2 D_{13})$$

si $p > 2$ la variancia de los residuales se obtiene como

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2 = \frac{1}{n-p} (D_{11} - \sum_{j=1}^p \hat{\phi}_j D_{1,j+1})$$

e) Verificar las condiciones de estacionariedad de los parámetros del proceso AR(p), según el subcapítulo 2.2.3.

Modelo AR(p) con parámetros periódicos

a) Determinar la serie estandarizada $z_{v,\tau}$

$$z_{v,\tau} = \frac{y_{v,\tau} - \hat{\mu}_\tau}{\hat{\sigma}_\tau}, \quad v = 1, \dots, n; \tau = 1, \dots, \omega$$

y continuar con el paso b) o b') lo cual dependerá si el modelo AR que se ajuste a $z_{v,\tau}$ es de coeficientes constantes o periódicos, respectivamente.

b) Determinar los parámetros del modelo AR con coeficientes autorregresivos constantes, siguiendo el proceso de modelación para el caso de series anuales.

b') Determinar los parámetros del modelo AR con coeficientes autorregresivos periódicos, con los pasos siguientes.

i) Calcular y dibujar los coeficientes de correlación $r_{k,\tau}(z)$ de z_t con la ec. 2.7 para $k=1, \dots, p'$ y $\tau=1, \dots, \omega$. Usualmente $p' \approx 3$.

ii) seleccionar el orden p del modelo.

iii) Hacer $\hat{\rho}_{k,\tau} = r_{k,\tau}(z)$.

iv) Determinar los coeficientes autorregresivos periódicos $\hat{\phi}_{1,\tau}, \dots, \hat{\phi}_{p,\tau}$ con la ec. 2.38.

En particular para $p=1$

$$\hat{\phi}_{1,\tau} = \hat{\rho}_{1,\tau}, \quad \tau = 1, \dots, \omega$$

para $p=2$

$$\hat{\phi}_{1,\tau} = \frac{\hat{\rho}_{1,\tau} - \hat{\rho}_{1,\tau-1} \hat{\rho}_{2,\tau}}{1 - \hat{\rho}_{1,\tau-1}^2}, \quad \tau = 1, \dots, \omega$$

y

$$\hat{\phi}_{2,\tau} = \frac{\hat{\rho}_{2,\tau} - \hat{\rho}_{1,\tau} \hat{\rho}_{1,\tau-1}}{1 - \hat{\rho}_{1,\tau-1}^2}, \quad \tau = 1, \dots, \omega$$

También se determinará la variancia periódica $\hat{\sigma}_{\varepsilon,\tau}^2$.

$$\hat{\sigma}_{\varepsilon,\tau}^2 = 1 - \sum_{j=1}^p \hat{\phi}_{j,\tau} \cdot \hat{\rho}_{j,\tau}, \quad \tau = 1, \dots, \omega$$

v) Comprobar las condiciones de estacionariedad para los parámetros estimados

$$\hat{\phi}_{1,\tau}, \dots, \hat{\phi}_{p,\tau}$$

Modelo ARMA (p,q) con parámetros constantes anual

a) Obtener los estimadores preliminares de los parámetros autorregresivos $\hat{\phi}_1, \hat{\phi}_2, \dots, \hat{\phi}_p$, resolviendo p ecuaciones de Yule - Walker.

$$\begin{aligned} C_{q+1} &= \hat{\phi}_1 C_q + \hat{\phi}_2 C_{q-1} + \dots + \hat{\phi}_p C_{q+1-p} \\ C_{q+2} &= \hat{\phi}_1 C_{q+1} + \hat{\phi}_2 C_q + \dots + \hat{\phi}_p C_{q+2-p} \\ C_{q+p} &= \hat{\phi}_1 C_{q+p-1} + \hat{\phi}_2 C_{q+p-2} + \dots + \hat{\phi}_p C_q \end{aligned}$$

Si la serie z_t no tiene media cero se adiciona una constante θ_∞ en el lado derecho de la ec. 2.43 o 2.44

$$\theta_\infty = z \left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i \right)$$

b) Obtener de los estimadores preliminares de los q parámetros de promedios móviles y de la variancia de los residuales, en función de las covariancias C'_j que se calcula con las ecs. de Box y Jenkins en términos de los C_k de la serie z_t y de los $\hat{\phi}_i$, determinados en los pasos c) del subcapítulo 2.6.1 y a) de este subcapítulo respectivamente.

$$C'_j = \sum_{i=0}^j \hat{\phi}_i^2 C_j - \sum_{i=1}^j (\hat{\phi}_0 \hat{\phi}_i + \hat{\phi}_1 \hat{\phi}_{j+1} + \dots + \hat{\phi}_{j-i} \hat{\phi}_j) d_j$$

donde

$$d_j = C_{j+1} + C_j; \quad j = 0, 1, \dots, q; \quad \hat{\phi}_0 = -1$$

Se obtiene de los parámetros θ y la variancia de los residuales σ_ϵ^2 con los valores de C'_j y resolviendo las ecs. 2.79 y 2.80 iterativamente, suponiendo que los valores iniciales son iguales a cero.

$$\hat{\sigma}_\epsilon^2 = \frac{C'_0}{1 + \hat{\theta}_1^2 + \hat{\theta}_2^2 + \dots + \hat{\theta}_q^2} \quad (2.79)$$

$$\hat{\theta}_j = - \left(\frac{C'_j}{\hat{\sigma}_\epsilon^2} - \hat{\theta}_1 \hat{\theta}_{j+1} - \hat{\theta}_2 \hat{\theta}_{j+2} - \dots - \hat{\theta}_{q-j} \hat{\theta}_q \right) \quad (2.80)$$

Con los estimadores preliminares de los parámetros $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q, \sigma_\varepsilon^2$ y θ_ω , se tendrá un modelo preliminar tal que

$$z_t = \hat{\theta}_\omega + \sum_{i=1}^p \hat{\phi}_i z_{t-i} + \varepsilon_t - \sum_{i=1}^q \hat{\theta}_i \varepsilon_{t-i}$$

e) Obtención de los estimadores de los parámetros por máxima verosimilitud. Calcular los residuales

$$\varepsilon_j = 0; j = 1, \dots, \max(p, q)$$

si $p > q$,

$$\varepsilon_{p+j} = \theta_\omega - \sum_{i=1}^p \hat{\phi}_i z_{p+j-i} + \sum_{i=1}^q \hat{\theta}_i \varepsilon_{p+j-i}$$

$$j = 1, 2, \dots, n-p$$

Calcular la suma de los cuadrados

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

para varios valores de ϕ y θ alrededor de los estimadores preliminares y obtener los valores de los ϕ' y θ' para los cuales S es mínima. Para minimizar S puede ser uso de un programa de optimización, el cual dará los estimadores de los parámetros por máxima verosimilitud. La variancia de los residuales ε_i es $\sigma_\varepsilon^2 = S/n$.

Modelo ARMA (p,q) con parámetros periódicos

a) Hacer la serie estacionaria con la transformación:

$$z_{v,\tau} = \frac{y_{v,\tau} - y_{\tau}}{S_{\tau}}$$

A. Modelo con coeficientes constantes.

Los parámetros del modelo ARMA (p,q) para la serie $z_{\tau} = z_{v,\tau}$ ($t = (v-1)\omega + \tau$) se estiman como en el modelo ARMA (p,q) con parámetros constantes.

B. Modelo con coeficientes periódicos

b') Calcular los coeficientes de correlación periódicos con la ec. 2.7.

c') Obtener los coeficientes periódicos del modelo ARMA según sea el caso

$$\text{ARMA}(1,0) \quad \hat{\sigma}_{1,\tau} = \Gamma_{1,\tau}$$

$$\text{ARMA}(2,0) \quad \hat{\phi}_{1,\tau} = \frac{\Gamma_{1,\tau} - \Gamma_{1,\tau-1} \cdot \Gamma_{2,\tau}}{1 - \Gamma_{1,\tau-1}^2}$$

$$\hat{\phi}_{2,\tau} = \frac{\Gamma_{2,\tau} - \Gamma_{1,\tau} \cdot \Gamma_{1,\tau-1}}{1 - \Gamma_{1,\tau-1}^2}$$

$$\text{ARMA}(1,1) \quad r_{2,t} = r_{1,t} \cdot \hat{\phi}_{1,t}$$

$$r_{1,t} = \frac{(1 - \hat{\theta}_{1,t} \cdot \hat{\phi}_{1,t})(\hat{\phi}_{1,t} - \hat{\theta}_{1,t})}{1 + \hat{\theta}_{1,t}^2 - 2\hat{\phi}_{1,t} \hat{\theta}_{1,t}}$$

2.6.3 Pruebas de bondad de ajuste

Los pasos que se recomiendan para la bondad de ajuste de los modelos son:

a) Determinar los residuos $\hat{\epsilon}_t$ del modelo

b) Comprobar la hipótesis de que los residuos son normales e independientes de acuerdo con el subcapítulo 2.3. Si la hipótesis no se cumple se selecciona un modelo de mayor orden y se repiten los pasos de la sección anterior.

Para el modelo ARMA (p,q) para series periódicas, aplicar la prueba de bondad de ajuste usando la Q-estadística modificada

$$Q_1 = N \sum_{k=1}^L \sum_{t=1}^{\infty} (r_{k,t})^2$$

c) Determinar el valor del Criterio de Información de Akaike para seleccionar el modelo final entre los modelos en competencia.

d) Construir el correlograma del modelo seleccionado para compararlo con el de la muestra. Si los correlogramas son similares, modelo seleccionado es el adecuado.

2.6.4 Pruebas adicionales del modelo (preservación de estadísticas)

- a) Generar por ejemplo 10,000 muestras sintéticas de datos de la misma longitud n de la muestra histórica (ver subcapítulo 2.5)**
- b) Determinar los estadísticos de cada secuencia generada.**
- c) Comparar los estadísticos generados con los correspondientes estadísticos históricos.**

2.7 Funcionamiento del vaso

Un vaso de almacenamiento (figura 2.1) cumple una función de regulación, esto es, permite almacenar los abundantes volúmenes que escurren en épocas de lluvia y que puedan aprovecharse cuando los escurrimientos son escasos.

La simulación del funcionamiento de un vaso, tiene como objetivo fundamental, contabilizar la evolución de los volúmenes almacenados en función de la hidrología de la cuenca de proyecto; por lo que trataremos las técnicas que permitan contabilizar y simular la evolución de dichos volúmenes.

El objetivo es disponer de información estadística que permita definir políticas de operación a corto plazo y adaptar o mejorar las políticas para la operación a largo plazo. La cual se expresa definiendo el régimen de aportaciones destinadas a surtir la demanda.

El funcionamiento de un vaso expresa la variación de almacenamiento con respecto al tiempo, en función de las entradas totales y las salidas totales, mediante esto, se puede evaluar los volúmenes aprovechables, derramados, evaporados e infiltrados. La finalidad con la que se realiza el funcionamiento del vaso de una presa en proyecto, es la de determinar la capacidad útil que esta debe de tener.

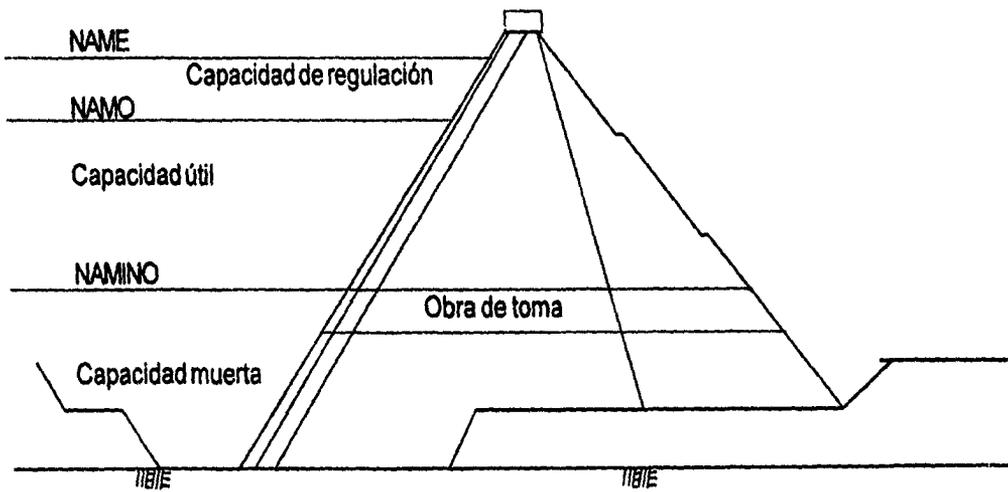


Figura 2.1 Componentes de un vaso

La capacidad útil se puede definir, como aquella capacidad que puede regularizar en una forma las entradas al vaso, de tal forma que sea posible extraer el máximo volumen de este, para un mismo régimen de escurrimiento.

Los componentes de un vaso se muestra en la figura 2.1 nombrándolas de la siguiente manera: Al límite inferior de esta capacidad se le llama NAMINO (nivel de aguas mínimas de operación), el cual generalmente se encuentra localizado en la parte superior del umbral de la obra de toma y el límite superior se le llama NAMO (nivel de aguas máximas de operación), el volumen que está delimitado por este nivel, se le llama volumen útil.

2.7.1 Deducción de la ecuación fundamental del vaso

Empleando la ecuación de masa de un vaso de almacenamiento, se tiene que :

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = I - O \quad (2.81)$$

donde :

$\frac{\Delta V}{\Delta T}$ variación del almacenamiento en función del tiempo.

V almacenamiento (volumen).

T tiempo.

I entradas al vaso (gasto).

O salidas del vaso (gasto).

Desglosando los términos anteriores, en un vaso de almacenamiento se tiene que:

$$I = E + P \quad (2.82)$$

$$O = E_v + DER + SA + F \quad (2.83)$$

donde:

E volumen debido al escurrimiento.

P volumen aportado por precipitación directa sobre el vaso.

E_v volumen evaporado.

DER volumen derramado.

SA volumen de salida para aprovechamiento directo.

F volumen debido a pérdidas por filtraciones en vaso y cortina.

Sustituyendo las ecuaciones (2.82) y (2.83) en la ecuación (2.81) y considerando un instante unitario, se tiene :

$$\Delta V = E + P - E_v - DER - SA - F \quad (2.84)$$

Las filtraciones se desprecian cuando no se espera que sean muy importantes, en caso contrario se determinan como una función de la elevación del nivel del agua.

La diferencia entre la precipitación y las evaporaciones sobre el vaso, se acostumbra llamar evaporaciones netas.

$$E_n = P - E_v$$

donde :

E_n evaporación neta.

Con las consideraciones anteriores la ecuación (2.84), queda como:

$$\Delta V = E + E_n - DER - SA \quad (2.85)$$

Separando el cambio de almacenamiento en condiciones iniciales y finales se tiene que:

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

donde:

- 1 representa a condiciones iniciales.
- 2 representa a condiciones finales.

Despejando el almacenamiento final, la ecuación de masas en un vaso de almacenamiento queda como sigue:

$$V_2 = V_1 + E + E_n - DER - SA \quad (2.86)$$

Dividiendo el período analizado en intervalos de tiempo de magnitud determinada, la ecuación queda establecida como :

$$V_{2k} = V_{1k} + E_k + E_{mk} - DER_k - SA \quad (2.87)$$

donde:

k 1, 2, ... n.

n número de intervalos por analizar .

En la simulación se utilizan generalmente intervalos de un mes, pero si los vasos son muy grandes, con capacidad de regulación interanual, pueden utilizarse intervalos mayores hasta de un año; en cambio en vasos de muy poca capacidad de regulación, el intervalo se reduce a una semana o un día.

2.8 Simulación del funcionamiento de un vaso

Durante el proceso de diseño de una presa, que comprende la selección del sitio, es necesario simular la evolución de los volúmenes almacenados en el vaso, a fin de conocer las consecuencias que produciría la adopción de cada una de las alternativas de diseño, definiendo los niveles característicos (NAMIN, NAMO, NAME) y determinar las políticas de operación, la cual se expresa definiendo el régimen de aportaciones destinadas a surtir la demanda y debe estar sujeta a ciertas restricciones; así al simular el funcionamiento del vaso, se puede presentar períodos en que el almacenamiento sea insuficiente para cubrir la demanda o por el contrario abundantes derrames.

Para realizar el cálculo de manera más eficiente conviene expresar la ecuación de continuidad de la manera siguiente:

$$V_{i+1} = V_i + X_i - S_i - P_i \quad (2.88)$$

sujeto a

$$V_m \leq V_{i+1} \leq V_u$$

donde

V_{i+1} , V_i volúmenes almacenados al final y al principio del intervalo, que generalmente es un mes, respectivamente.

X_i volumen que ingresó al vaso durante el intervalo considerado. Puede ser tomado del registro histórico o del sintético.

S_i salidas destinadas a satisfacer la demanda, que estarán restringidas por la disponibilidad de agua (V_{i+1} debe ser mayor que un valor mínimo de V_m) y, en particular, cuando la demanda es para generar energía eléctrica, son función de los niveles en el vaso, las cuales se desea que tengan el mayor valor posible.

P_i términos que dependen del nivel medio en el vaso en el intervalo Δt (volumen lleno, volumen evaporado y volumen infiltrado).

V_m volumen mínimo aceptable en el vaso.

V_u volumen correspondiente al NAMO.

El cálculo de la simulación del vaso se desarrolla de la manera siguiente:

- 1.- De la topografía del vaso se obtienen las relaciones elevación del nivel del agua - volumen almacenado y elevación del nivel del agua - área de la superficie libre.**
- 2.- Se inicia el cálculo a partir de un nivel inicial h_i y de los valores correspondientes del volumen almacenado, V_i , y el área de la superficie libre A_i . Es conveniente empezar el cálculo al final de la temporada de lluvias (al mes de noviembre generalmente), con el nivel de aguas máximas como nivel inicial. Sin embargo, conviene simular el funcionamiento del vaso con otras condiciones iniciales y verificar en cuanto tiempo sus funcionamientos son similares.**
- 3.- Con las entradas y salidas que no dependen del nivel en el vaso, se calcula en una primera aproximación, el volumen final del intervalo, o sea**

$$V'_{i+1} = V_i + ICP + IT - VDEM \quad (2.89)$$

ICP Escurremientos generados por la cuenca propia.
IT Entradas por transferencia de otras cuencas.
DERR Volumen derramado.

(el superíndice indica que se trata de la primera aproximación).

- 4.- Con el volumen obtenido en el paso anterior, se determinan los valores correspondientes de h_{i+1} y A_{i+1} y se calculan los valores medios**

$$h = 0.5 (h_i + h_{i+1}) \quad (2.90)$$

$$\bar{A} = 0.5 (A_i + A_{i+1}) \quad (2.91)$$

5.- Se obtiene una nueva aproximación del volumen correspondiente al final del intervalo

$$V_{i+1}^2 = V_i + ICP + IT - VDEM + hp(\bar{A}) - EVAP(\bar{A}) - VINP(h) \quad (2.92)$$

donde :

$$\begin{aligned} X_i &= ICP + IT \\ S_i &= VDEM \\ P_i &= hp(\bar{A}) - EVAP(\bar{A}) - VINP(h) \end{aligned}$$

6.- Si el nuevo volumen calculado V_{i+1}^2 , es "semejante" al anterior, V_{i+1}^1 , se continúa con el paso

7, si no, se repite el proceso a partir del paso 4 hasta que: $V_{i+1}^{k+1} = V_{i+1}^k$

Se recomienda utilizar como criterio de semejanza que: $V_{i+1}^{k+1} - V_{i+1}^k \leq V_u / 100$.

7.- Cuando del resultado del cálculo se obtiene un volumen V_{i+1} mayor que V_u , se registra un volumen derramado igual a la diferencia y se considera que $V_{i+1} = V_u$; cuando V_{i+1} es menor que V_m , se considera un volumen de déficit igual a la diferencia y se considera que $V_{i+1} = V_m$.

8.- Se calculan las condiciones para el nuevo intervalo de tiempo Δt a partir del paso 3.

3.- EVALUACION DE PROYECTO

Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendente a resolver, entre muchas, una necesidad humana.

En esta forma, puede haber diferentes ideas, inversiones de diverso monto, tecnología y metodologías con diverso enfoque, pero todas ellas destinadas a resolver la necesidad del ser humano en todas sus facetas, como pueden ser: educación, alimentación, salud, ambiente, cultura, etcétera.

La evaluación de un proyecto de inversión, cuya estructura se muestra en la figura 3.1, cualquiera que esta sea, tiene por objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable. Solo así es posible asignar los escasos recursos económicos a la mejor alternativa.

El hecho de realizar un análisis que se considere lo más completo posible, no implica que, al invertir, el dinero estará exento de riesgo. El futuro siempre tendrá el grado de incertidumbre y por esta razón el dinero siempre se estará arriesgando. El hecho de calcular unas ganancias futuras, a pesar de haber realizado un análisis profundo, no asegura necesariamente que esas utilidades se vayan a ganar, tal como se haya calculado. En los cálculos no están incluidos los factores fortuitos como huelgas, incendios, derrumbes, etcétera; simplemente porque no es posible predecirlos y no es posible asegurar que una empresa de nueva creación o cualquier otra, este a salvo de factores fortuitos. Estos factores también pueden caer en el ámbito de lo económico o lo político, como es el caso de las devaluaciones monetarias drásticas, la atonía económica, los golpes de estado, u otros acontecimientos que podría afectar gravemente la rentabilidad y estabilidad del inversionista o empresa.

La evaluación, aunque es la parte fundamental del estudio, dado que es la base para decidir sobre el proyecto, depende en gran medida del criterio adoptado de acuerdo con el objetivo general del proyecto. En los tiempos actuales de crisis, el objetivo principal puede ser que la empresa sobreviva, mantener el mismo segmento del mercado, diversificar la producción, aunque no se aumente el rendimiento sobre el capital, etcétera.

Por tanto la realidad económica, política, social y cultural de la entidad donde se piensa invertir, marcarán los criterios que se seguirán para realizar la evaluación adecuada, independientemente de la metodología empleada. Los criterios y la evaluación son, por tanto, la parte fundamental de toda evaluación de proyectos.

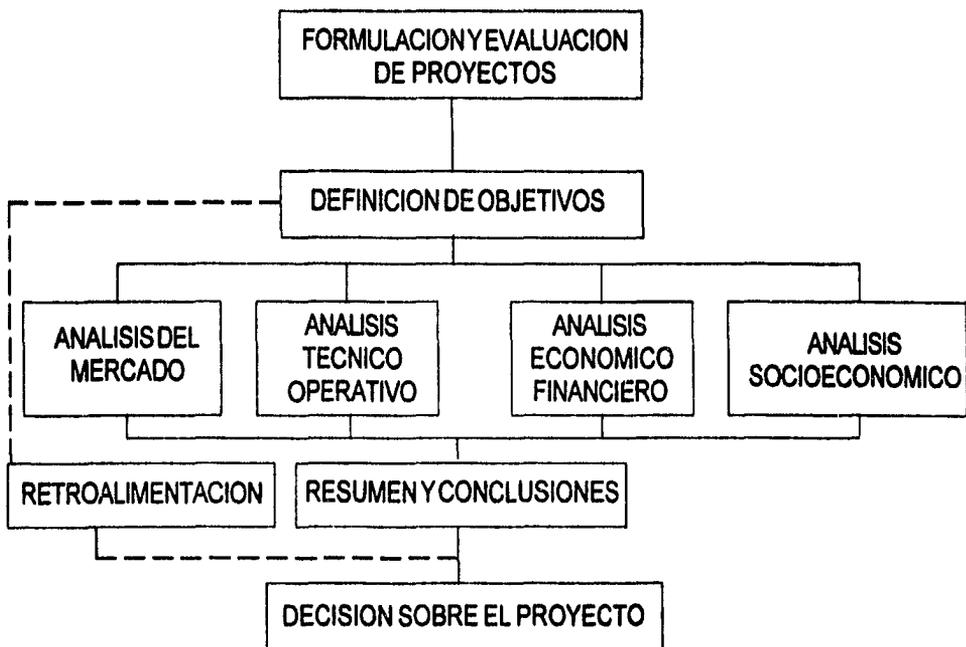
Se distinguen tres niveles de profundidad en un estudio de evaluación de proyectos:

Al más simple se le denomina "perfil", "gran visión" o "identificación de la idea", el cual se elabora a partir de la información existente, el juicio común y la opinión que da la experiencia. En términos monetarios, solo presenta cálculos globales de las inversiones, los costos y los ingresos, sin entrar a investigaciones de terreno.

El siguiente nivel se le denomina "estudio de prefactibilidad" o "anteproyecto". Este estudio profundiza la investigación en fuentes secundarias y primarias en investigación de mercado, detalla la tecnología que se empleará, determina los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto, y es la base en que se apoyan los inversionistas para tomar una decisión.

El nivel más profundo y final es conocido como "proyecto definitivo". Contiene básicamente toda la información del anteproyecto, pero aquí son tratados los puntos finos. Aquí no sólo deben presentarse los canales de comercialización más adecuados, si no que se deberá presentarse una lista de contratos de venta ya establecidos; se deben de preparar por escrito las cotizaciones de la inversión, presentar los planos arquitectónicos de la construcción, etcétera. La información presentada en el "proyecto definitivo" no debe alterar la decisión tomada respecto a la inversión.

Fig. 3.1 Estructura general de la evaluación de proyectos.



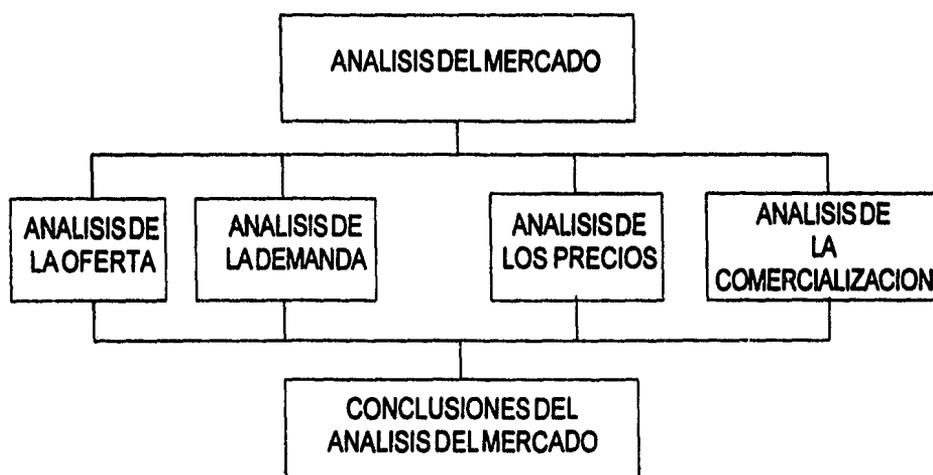
De los objetivos del proyecto, se puede decir que están en función de las intenciones de quienes promueven este último, y se puede agregar cuáles son las limitaciones que se imponen, donde puede ser preferible la localización, el tipo de productos primarios que se desean producir, el monto máximo de la inversión, y otros elementos. La primera parte de todo proyecto es una presentación formal del mismo, con sus objetivos y limitaciones.

3.1 Estudio del mercado

El estudio del mercado es la primera parte de la investigación formal, que consta básicamente de la determinación y la cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización (fig.3.2). Aunque la cuantificación de la oferta y la demanda pueda obtenerse fácilmente de fuentes de información secundaria en algunos productos, siempre es recomendable la investigación de las fuentes primarias, pues proporciona información directa, actualizada y mucho más confiable que cualquier otro tipo de fuente de datos. El objetivo general de esta investigación es verificar la posibilidad real de penetración del producto en un mercado determinado.

Por otro lado, el estudio del mercado también es útil para prever una política adecuada de precios, para estudiar la mejor forma de comercializar del producto.

fig. 3.2 Estructura del análisis del mercado



La investigación de mercado que se realice debe proporcionar información que sirva de apoyo para la toma de decisiones, y en este tipo de estudios la decisión final está encaminada a determinar si las condiciones del mercado no son un obstáculo para llevar a cabo el proyecto.

La investigación que se realice debe tener las siguientes características :

- a) La recopilación de la información debe ser sistemática.**
- b) El método de recopilación debe ser objetivo y no tendencioso.**
- c) Los datos recopilados siempre deben constituir información útil.**
- d) El objeto de la investigación siempre debe tener como objetivo final servir de base para toma de decisiones.**

La investigación de mercado tiene una aplicación muy amplia, como en las investigaciones de publicidad, ventas, precios, potencial del mercado etcétera. La investigación se realiza sobre productos similares ya existentes en la región, para tomarlos como referencia en las siguientes decisiones aplicables a la evolución del nuevo producto.

3.2 Estudio técnico

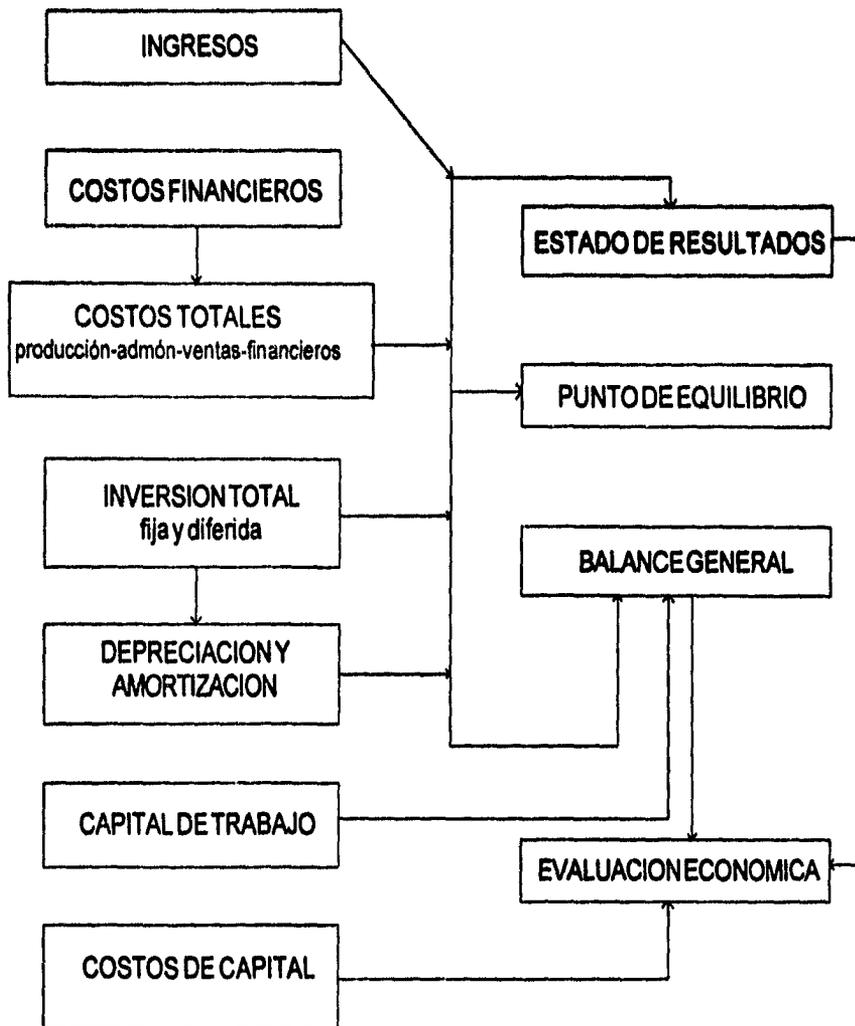
En el estudio técnico, se debe de analizar integralmente todos los estudios básicos (hidrológicos, topográficos, geológicos, agrológicos, tenencia de la tierra, impacto ambiental), así como la gama de alternativas posibles, que son fundamentales para la toma de decisión del tamaño óptimo de la infraestructura, la elección de alguna de ellas dependerá en gran parte de la disponibilidad de capital.

Para el caso particular de este trabajo, se describieron en el capítulo 2 las técnicas de series de tiempo hidrológicas, para generar muestras sintéticas que intenten describir el comportamiento histórico y poder determinar la capacidad de almacenamiento de una presa.

3.3 Análisis económico

Habiendo concluido el estudio hasta la parte técnica, se habrá dado cuenta de que existe un mercado potencial por cubrir y que tecnológicamente no existe impedimento para llevar a cabo el proyecto. La parte de análisis económico cuya estructura se muestra en la figura 3.3 pretende determinar cuales el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cual será el costo total de la operación de la infraestructura, así como otra serie de indicadores que servirán de base para la parte final y definitiva del proyecto, que es la evaluación económica.

3.3 Estructura del análisis económico



En la etapa de análisis económico es ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar los cuadros analíticos que sirven de base para la evaluación económica.

La base de los costos totales y de la inversión inicial, son los estudios de ingeniería, ya que estos dependen de la alternativa seleccionada.

El capital de trabajo, que aunque también es parte de la inversión inicial, no está sujeto a depreciación y amortización, dada su naturaleza líquida.

3.3.1 Costos

Costos es un desembolso en efectivo en especie hecho en el pasado, en el presente, en el futuro o en forma virtual.

Los costos están formados por los siguientes elementos:

Costo de los insumos

Excluyendo, por su puesto, los rubros mencionados todo proceso productivo requiere una serie de insumos para su funcionamiento. Estos pueden ser agua, energía eléctrica combustibles (diesel, gas, gasolina, petróleo pesado,); detergentes, gases industriales especiales como freón, amoníaco, oxígeno, acetileno; reactivos para control de calidad, ya sean químicos o mecánicos, fertilizantes, semillas. La lista puede extenderse más, todo dependerá del tipo de proceso que se requiera para producir determinado bien o servicio.

Mano de obra directa.

Es la que se utiliza para transformar la materia prima en producto terminado. Se puede identificar en virtud de que su monto varía casi proporcionalmente con el número de unidades producidas.

Asistencia técnica.

Es aquella necesaria en la producción, pero que no interviene directamente en la transformación de las materias primas; en este rubro son las personas que aplican su fuerza de trabajo indirectamente.

Materiales indirectos.

Estos forman parte auxiliar en la presentación del producto terminado.

Costos de mantenimiento

Este es un servicio que se contabiliza por separado, en virtud de las características especiales que puede presentar. Se puede dar mantenimiento preventivo y correctivo a la infraestructura. El costo de los materiales y de la mano de obra que se requieran, se cargan directamente a mantenimiento pues puede variar mucho en ambos casos. Para fines de evaluación, en general se considera un porcentaje del costo de adquisición de los equipos. Este dato normalmente lo proporciona el fabricante y en el se especifica el alcance del servicio de mantenimiento que se proporcionará.

Administración

Son como su nombre lo indica, los costos provenientes de realizar la función de administración dentro de una empresa. Sin embargo tomados en un sentido amplio, pueden no solo significar los sueldos del gerente o director general y de los contadores, auxiliares, secretarías así como los gastos de oficina en general. Una empresa de cierta envergadura puede contar con direcciones o gerencias de planeación, investigación y desarrollo, recursos humanos y selección de personal, relaciones públicas, finanzas o ingeniería (aunque este costo podría cargarse a producción). Esto implica que fuera de las otras dos grandes áreas de una empresa, que son producción y ventas, los gastos de todos los demás departamentos o áreas (como los mencionados) que pudieran existir en una empresa se cargarán a Administración y Costos Generales.

Indemnizaciones

Son los gastos necesarios por cubrir alguna afectación al momento de construir alguna infraestructura determinada.

3.3.2 Inversiones

La *inversión inicial* comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la empresa, con excepción del capital de trabajo.

Se entiende por *activo tangible* (que se puede tocar), o fijo, los bienes propiedades de la empresa, tales como terrenos, edificios, maquinaria, equipo, mobiliario, vehículos de transporte, herramientas, y otros. Se le llama "fijo" porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de él sin que con ello ocasione problemas a sus actividades productivas (a diferencia del activo circulante).

Se entiende por *activo intangible* el conjunto de bienes propiedad de la empresa necesarios para su funcionamiento, y que incluyen: asistencia técnica o transferencia de tecnología, gastos preoperativos y de instalación y puesta en marcha, contratos de servicio (luz, teléfono, telex, agua, corriente trifásica y servicios notariales), estudios que tiendan a mejorar en el presente o el futuro el funcionamiento de la empresa, como estudios administrativos o de ingeniería, estudios de evaluación, capacitación de personal dentro y fuera de la empresa, etcétera.

En el caso del costo del terreno, este debe de incluir: el precio de compra de lote, las comisiones a agentes, honorarios y gastos notariales, y aún el costo de demolición de estructuras existentes que no se necesiten para los fines que se pretenda al terreno. En el caso de costo de equipo y la maquinaria, debe verificarse si éste incluye fletes, instalación y puesta en marcha.

3.3.3 Beneficios

Partiendo de que los beneficios son los bienes y servicios se pueden clasificar en :

- a) Directos** **Derivados del objetivo primario de la obra.**

- b) Indirectos** **Beneficios no buscados explícitamente (por ejemplo una presa cuyo objetivo es incorporar superficies al riego, pero puede contribuir además a fines recreativos).**

- c) Generar empleos** **Los empleos generados por la construcción, operación y mantenimiento de las obras, producen un beneficio que conviene destacar por su importancia en la evaluación de las obras de riego.**

- d) Públicos** **Se incluyen aquí beneficios que no pueden atribuirse a un usuario determinado. Por ejemplo la de evitar el desarrollo de epidemias en la zona, reducir pérdidas humanas, mejoras en la ecología etc.**

Los beneficios pueden ser medidos en unidades monetarias, por lo que para ordenar el proceso de evaluación, conviene clasificarlos también en tangibles (los que si se pueden traducirse a unidades monetarias e intangibles (los que no).

3.4 Evaluación económica

En la evaluación económica se proponen diversos métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, como son la tasa interna de rendimiento (TIR) y el valor presente neto (VPN). La decisión de inversión casi siempre recae en la evaluación económica, que es la última parte tratada en el estudio de factibilidad y que permite prever con el análisis y administración de riesgo la posible de una bancarrota al corto o mediano plazo.

A continuación se presentan los métodos de evaluación económica utilizados en los estudios de factibilidad de proyectos. Estos métodos toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y son básicamente VPN y TIR.

El VPN consiste en descontar o trasladar al presente todos los flujos futuros del proyecto a una tasa de descuento igual a la TMAR (tasa de rendimiento mínima aceptable), sumar todas las ganancias y restarlas a la inversión inicial en tiempo cero.

Si el VPN es mayor que cero se aceptará la inversión, dado que un valor positivo del VPN significa ganar la TMAR mas el valor positivo del resultado, en términos del valor del dinero en tiempo cero.

Si el VPN es menor que cero significa que las ganancias del proyecto no son suficientes siquiera para ganar la TMAR y, por tanto, la inversión debe rechazarse.

El cálculo de la TIR por definición, el $VPN = 0$, y se lleva a cabo igualando la suma de los flujos descontados a la inversión.

Para aceptar la inversión el valor que se obtenga de la TIR, debe ser mayor a la TMAR. Si la TIR es menor que la TMAR, la inversión se rechazará.

En ambos métodos, VPN y TIR, se suponen que las ganancias se reinvierten en su totalidad y que al reinvertirse ganan la misma tasa de descuento con la que fueron calculadas.

A continuación se presentan las ecuaciones de los métodos para la evaluación:

a) Valor presente neto: Para cada alternativa se calcula el valor presente de la suma algebraica de los beneficios (B) menos los costos (C) de cada año del periodo de análisis.

$$B-C = (P/F)_1(B_1-C_1) + (P/F)_2(B_2-C_2) + \dots + (P/F)_N(B_N-C_N)$$

$$B-C = \sum_{j=1}^N (P/F)_j (B_j - C_j)$$

donde:

P año presente.

F año futuro.

$(P/F)_j$ factor de valor presente para el año j.

B_j beneficios en el año j.

C_j costos en el año j.

N horizonte de planeación.

b) Relación Beneficio/Costo: Para cada alternativa se calcula el valor de la relación del valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos, B/C.

:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=1}^N (P/F)_j (B_j)}{\sum_{j=1}^N (P/F)_j (C_j)}$$

c) Tasa Interna de Retorno: Se seleccionan alternativas calculando la tasa interna de retorno, TIR, esto es la tasa de descuento anual para lo cual el valor presente es cero.

4.- APLICACIONES

Con el objetivo de determinar el tamaño óptimo de la presa Santa María se procederá a realizar el funcionamiento de vaso considerando la generación sintética de escurrimientos. Para tal fin se asegura la siguiente secuencia para los escurrimientos anuales (tabla 4.1):

- 1.- Se determinarán las principales características estadísticas de las series de tiempo (tabla 4.2).
- 2.- Se realiza la prueba de independencia de eventos (prueba de Anderson) mediante la construcción del correlograma, para ello se utilizarán las ecuaciones 2.3 y 2.61 (tabla 4.3). Como se observa en la figura 4.1, menos del 10% de los puntos está por fuera de los límites de confianza por lo que se considera a la muestra analizada como independiente y susceptible de modelarse estocásticamente.
- 3.- Dado que los modelos que se presentan en el trabajo requieren que la serie tenga una distribución normal se procederá a determinar el tipo de función que mejor ajusta a la serie de escurrimientos anuales. De la simple exploración de los estadísticos muestrales se determina que la serie no es normal ya que el coeficiente de asimetría es diferente de cero y el coeficiente de curtosis es mayor de 3. Para encontrar cual es la mejor distribución se procede a ajustar las funciones Gumbel, General de Valores Extremos y Gumbel Mixta. En la tabla 4.4 se presentan los parámetros de ajuste para cada distribución. En las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 son presentados gráficamente los ajustes. En ellas se puede observar que la función que describe mejor el comportamiento de la serie anual es la distribución Gumbel Mixta.

En la tabla 4.5 se muestran los volúmenes esperados para diferentes períodos de retorno de acuerdo con el ajuste de la distribución Gumbel Mixta.

4.- Para normalizar la serie de escurrimiento anuales se utilizará la ecuación 2.8. De acuerdo con ella el valor de $\lambda = 0.1104004$, con este coeficiente se obtendrá una nueva serie normalizada ($g=0; k=3$).

5.- Se obtiene la serie estandarizada Z_t , mediante la expresión:

$$Z_t = Y_t - \bar{Y}$$

Y_t = serie normalizada (paso 4).

\bar{Y} = media de la serie normalizada.

6.- Se procede a realizar la secuencia presentada en el inciso 2.6.

Como ejemplo del modelo AR(1) se determina el parámetro

$$|\phi| < 1$$

y el modelo queda como

$$Z_t = 0.2843 Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

7.-Con la expresión del paso 6 se procede a generar 10000 muestras sintéticas de escurrimientos anuales de tamaño $n=45$, de acuerdo con el procedimiento sugerido en el inciso 2.5 y 2.5.1.

8.- Para determinar el nivel adecuado en la presa para tener una condición en la que los déficits esperados sean menor del 5%, se procederá a realizar un funcionamiento de vaso de acuerdo con el procedimiento en el inciso 2.7. En las tablas 4.6 y 4.7 se presentan tanto la evaporación neta como las elevaciones áreas capacidades de la presa analizada.

Los resultados del proceso se presentan en la tabla 4.8, 4.9, su representación gráfica se da en la figura 4.5 de acuerdo con los resultados obtenidos.

Se concluye que la capacidad óptima de la presa es de 600 Mm³, dado que con ello se puede suministrar la demanda de 55318 ha al año con un déficit esperado menor al 5%.

Las diferentes alternativas se presentan en la tabla 4.10 y figura 4.6.

9.- Una vez determinado el nivel adecuado de la presa, se verificará que es rentable desde el punto de vista económico. De acuerdo con lo visto en el capítulo 3, se procedió a realizar la evaluación (tablas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15) teniéndose como resultado que la relación beneficio/costo es igual a 1.02, por lo que si se requiere aumentar dicha relación se deberá sobre elevar el nivel de la presa y utilizarla para generación de energía eléctrica.

Tabla 4.1 Volumen de escurrimiento mensual y anual en el sitio de la presa Santa María.

3
Volúmen en Mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1948	9.858	15.825	2.785	1.374	1.458	39.955	414.481	291.344	716.732	94.905	100.848	39.767	1729.312
1949	72.746	34.331	9.069	3.623	2.229	6.023	224.273	124.876	212.455	73.476	9.587	7.187	779.875
1950	4.500	2.074	1.267	0.534	0.361	23.937	180.580	75.644	183.608	91.338	8.242	5.230	577.315
1951	4.790	2.561	3.842	2.175	1.124	2.678	115.352	132.914	227.508	28.256	5.861	7.914	534.973
1952	2.715	1.439	0.961	0.451	0.502	22.307	304.927	352.357	119.776	29.802	5.558	8.463	849.258
1953	4.476	23.797	5.974	1.159	0.163	1.622	98.292	207.732	356.214	77.823	9.079	6.946	793.277
1954	6.751	2.351	1.220	0.514	0.271	3.774	155.739	193.249	83.621	110.673	10.071	4.205	572.439
1955	49.434	6.154	2.637	0.986	0.442	0.913	218.840	319.711	331.642	79.321	11.025	5.020	1026.125
1956	2.880	1.692	1.030	0.548	1.894	13.934	217.353	147.997	180.240	24.018	4.824	3.131	593.541
1957	6.660	5.505	10.858	3.007	2.156	2.087	2.414	163.671	147.208	34.939	5.630	9.859	393.994
1958	6.056	2.880	36.038	2.546	1.788	55.993	490.543	256.046	787.268	248.388	70.639	23.600	1961.785
1959	12.500	6.655	3.482	3.752	1.754	6.310	172.096	290.773	124.067	125.303	24.092	12.013	782.797
1960	44.793	8.824	4.112	1.702	0.813	1.252	106.398	173.690	104.290	85.162	29.151	16.842	577.029
1961	76.730	16.538	4.965	2.221	0.897	28.256	290.782	154.770	345.897	50.136	5.097	15.715	992.004
1962	5.279	3.296	2.020	0.963	0.747	15.195	108.309	106.378	198.055	257.873	24.124	9.485	731.724
1963	6.383	3.006	1.798	0.832	0.654	14.232	339.219	244.743	311.687	142.416	19.860	68.825	1153.656
1964	12.090	6.501	3.655	1.826	1.158	13.742	89.856	179.237	316.220	349.728	15.718	14.656	1004.377
1965	6.374	5.903	2.419	1.353	0.522	0.473	89.399	252.490	588.834	114.295	9.840	19.423	1091.425
1966	11.056	15.757	4.613	7.008	3.608	32.516	236.77	417.308	207.474	86.103	12.213	12.571	1047.003
1967	15.433	3.755	2.366	1.128	0.580	16.807	256.284	260.681	287.651	97.277	10.803	52.737	1005.503
1968	17.895	84.585	198.754	12.356	4.326	3.747	319.360	324.412	1022.574	60.718	74.783	45.088	2168.598
1969	58.280	13.459	6.499	2.870	2.050	1.920	556.027	344.785	396.587	379.106	17.646	116.709	1895.938
1970	45.932	20.586	10.407	2.774	0.131	29.487	455.172	688.276	1239.598	157.504	14.297	7.654	2671.618
1971	5.432	1.997	0.881	1.063	0.871	21.333	296.851	370.402	448.180	154.188	10.609	5.686	1317.593
1972	46.194	3.657	2.003	0.987	0.577	4.503	130.877	161.867	297.500	102.939	497.456	102.096	1350.656
1973	41.412	59.108	15.830	4.129	2.456	7.622	273.764	656.069	684.280	152.799	21.794	9.531	1929.194
1974	7.514	4.403	2.773	1.258	0.701	3.727	303.934	341.273	566.686	166.418	18.973	306.687	1722.347
1975	68.843	10.112	5.428	2.831	2.353	1.711	554.657	636.681	537.505	185.033	21.976	6.400	2033.510
1976	5.241	2.731	1.327	0.621	1.547	71.052	328.866	407.840	209.574	60.017	296.061	110.442	1495.319
1977	90.096	9.889	5.090	2.993	2.203	1.254	140.867	325.818	240.676	83.776	13.911	5.090	921.663
1978	2.854	5.573	1.974	0.993	0.700	5.234	166.469	189.869	465.030	124.468	10.843	4.903	978.910
1979	266.801	29.278	6.670	2.387	1.465	0.637	248.917	230.992	325.017	14.335	4.113	3.414	1134.026
1980	2.620	4.005	1.191	0.369	0.349	1.679	106.641	412.225	319.287	115.010	18.571	6.918	988.065
1981	11.871	8.015	4.213	1.695	1.610	1.673	253.309	402.248	435.233	1170.931	78.131	11.859	2380.789
1982	6.743	3.119	1.422	0.667	0.774	16.724	85.964	89.132	30.584	58.891	71.208	122.049	487.277
1983	29.054	24.986	82.440	4.905	3.002	3.702	328.513	270.688	385.849	249.383	34.413	8.635	1405.570
1984	25.034	48.708	3.636	0.969	0.528	9.483	368.170	450.720	272.264	38.763	67.370	168.210	1453.855
1985	1120.084	34.147	14.765	8.445	3.484	4.761	248.044	824.228	439.054	188.975	34.965	13.785	2934.717
1986	7.354	8.203	3.075	1.629	0.677	0.856	161.296	196.530	332.088	1230.932	173.072	63.283	2178.795
1987	19.465	9.356	17.145	4.289	2.156	2.087	2.414	242.855	187.631	42.991	6.912	5.514	551.847
1988	11.837	3.584	1.888	1.114	0.594	0.721	5.092	431.737	373.394	59.051	9.883	14.071	912.988
1989	5.103	2.614	1.581	0.707	0.243	0.233	38.166	489.941	543.349	39.552	225.785	81.300	1428.574
1990	39.702	12.059	7.473	1.896	1.586	0.555	0.920	244.932	447.567	722.052	18.522	8.040	1505.314
1991	6.533	5.711	1.661	0.889	0.554	0.542	221.889	262.115	362.750	89.921	181.541	140.641	1274.747
1992	949.182	344.578	19.204	9.810	6.063	2.093	165.874	301.838	185.529	32.596	13.438	7.795	2036.000
MEDIA	72.279	20.518	11.612	2.452	1.424	11.092	219.288	303.179	367.963	175.146	51.701	38.418	1275.073
MAXIMA	1120.084	344.578	198.754	12.356	6.063	71.052	556.027	824.228	1239.598	1230.932	497.456	306.687	2934.717
MINIMA	2.620	1.439	0.961	0.369	0.131	0.233	0.920	75.644	30.584	14.335	4.113	3.131	393.994

Tabla 4.2 Características estadísticas de los volúmenes de escurrimiento anual en la presa Santa María

Estadísticos muestrales

Media	1275.07327
Varianza	387077.70039
Desviación estándar	622.15569
Coefficiente de Asimetría	0.78407
Coefficiente de curtosis	3.27216
Coefficiente de variación	0.48794

Tabla 4.3 Muestra independiente con límites del 95% de confianza serie histórica

Eventos analizados

k	límite inferior	rk(k)	límite superior
1	-0.3148314	0.2843130	0.2693768
2	-0.318657	0.1504630	0.2721454
3	-0.322622	0.0826110	0.2750029
4	-0.3267348	0.1720203	0.2779544
5	-0.3310049	0.2959629	0.2810049
6	-0.3354424	0.1383166	0.2841603
7	-0.3400583	0.0705386	0.2874267
8	-0.3448649	-0.0808125	0.2908108
9	-0.3498755	-0.0767412	0.2943199
10	-0.35511047	0.1627442	0.2979619
11	-0.3605689	0.2789589	0.3017454
12	-0.3662859	0.0343877	0.3056798
13	-0.3722756	-0.0601270	0.3097756
14	-0.3785601	-0.2454262	0.3140439
15	-0.3851641	0.1678885	0.3184974

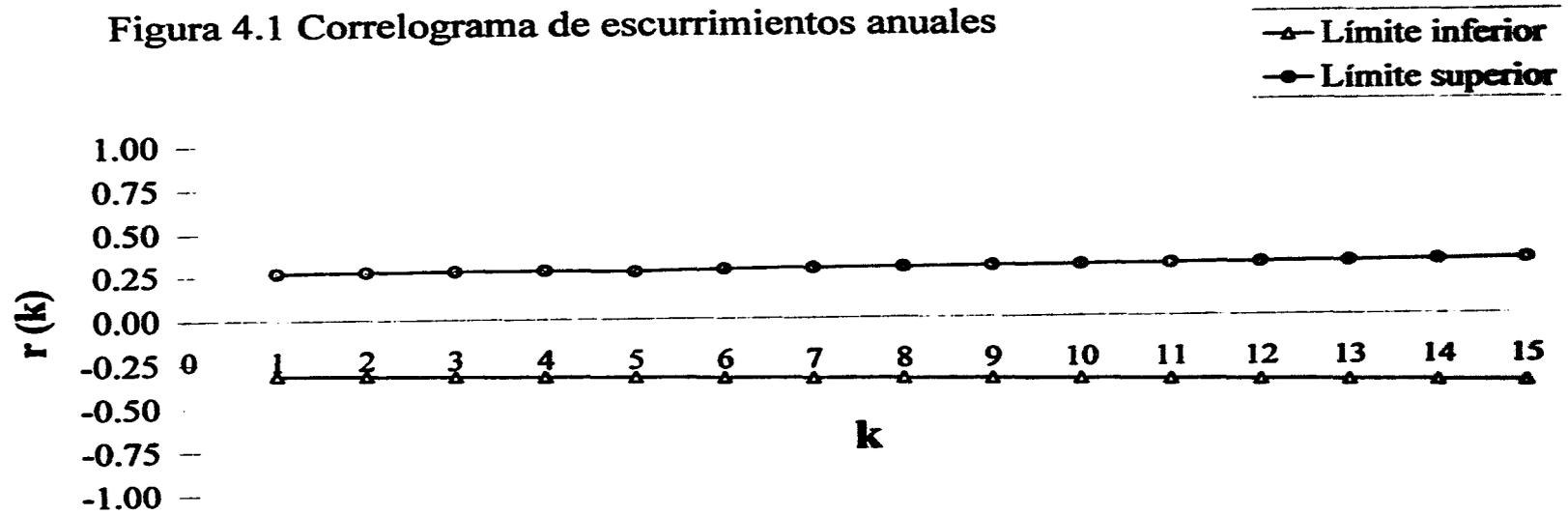


Tabla 4.4 Parámetros de las distribuciones Gumbel, G.V.E. y Gumbel mixta de ajuste a la serie de volúmenes de escurrimiento anual en el sitio de estudio.

Distribución Gumbel		
parámetro ubicación	μ	995.1
parámetro escala	α	485.28
	EE *	88.84
Distribución General de Valores Extremos		
parámetro ubicación	μ	971.19
parámetro escala	α	456.51
parámetro forma	β	-0.083
	EE *	89.97
Distribución Gumbel Mixta		
parámetro ubicación	μ_1	863.97
primera población		
parámetro escala	α_1	350.18
primera población		
parámetro ubicación	μ_2	2045.99
segunda población		
parámetro escala	α_2	249.42
segunda población		
parámetro asociación	p	0.81728
	EE *	76.84

* EE Error estándar de ajuste

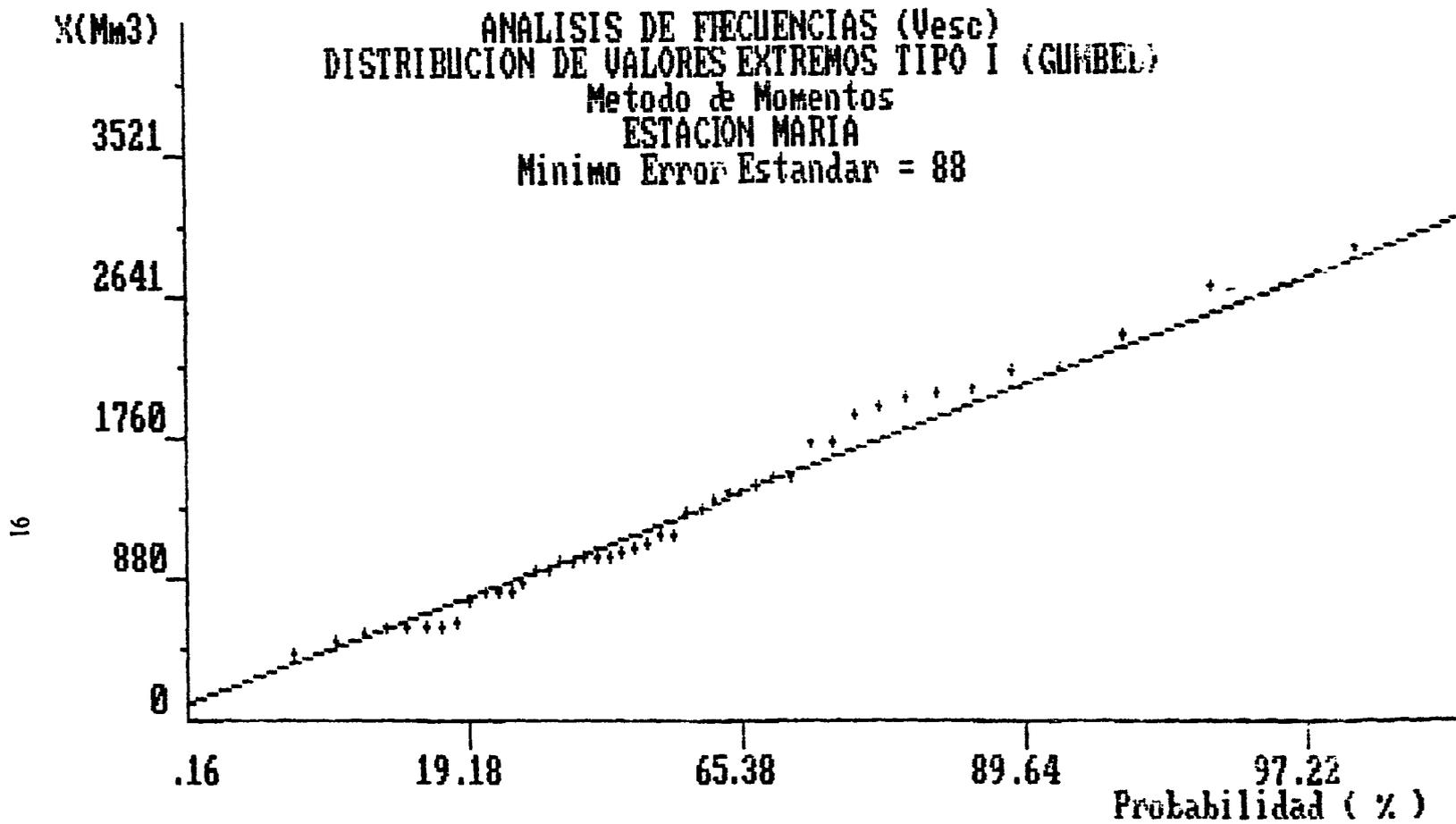


Figura 4.2 Ajuste mediante la distribución Gumbel para los escurrimientos anuales en la presa Santa Maria.

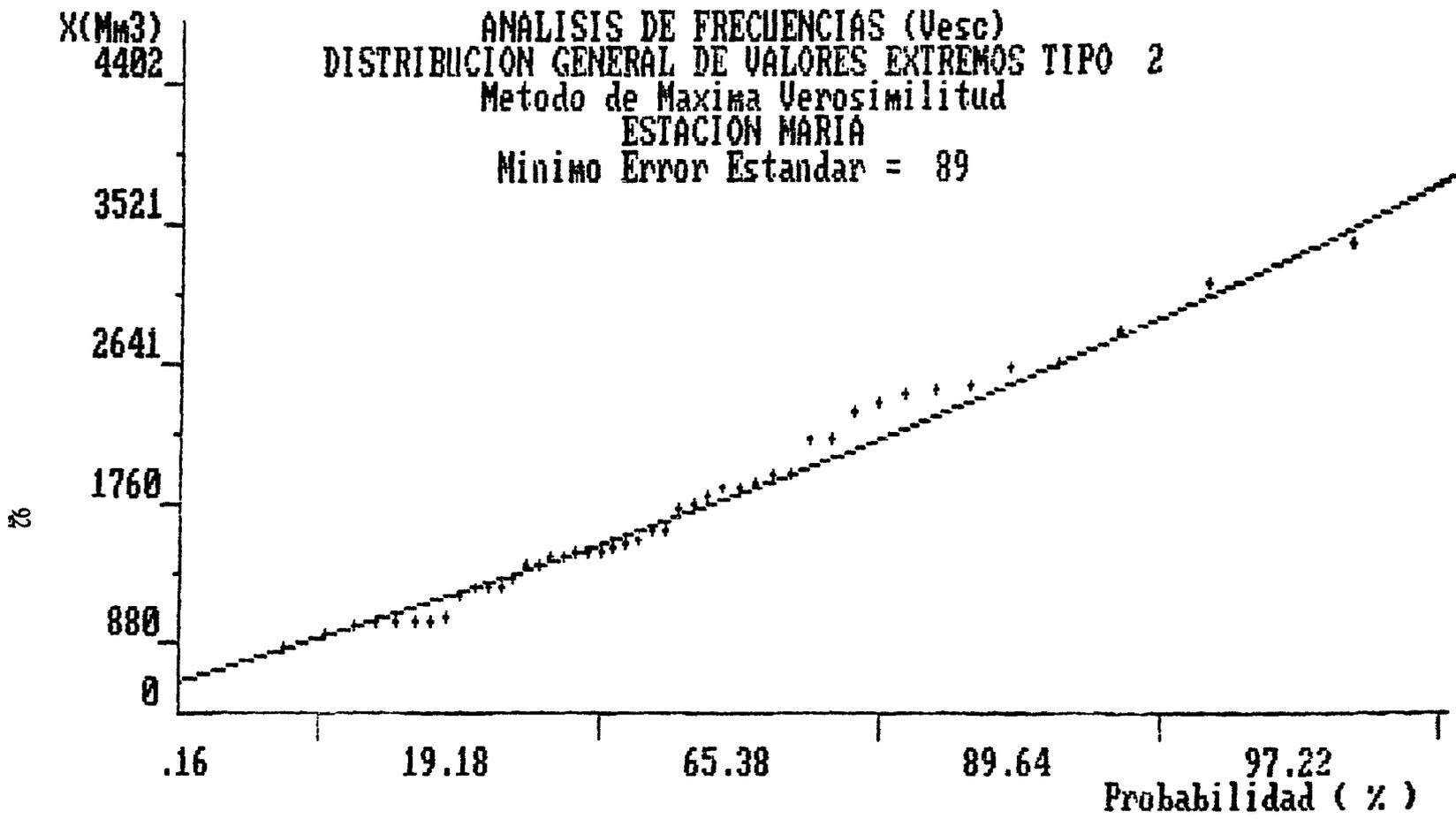


Figura 4.3 Ajuste mediante la distribución G.V.E. para los escurrimientos anuales en la presa Santa María.

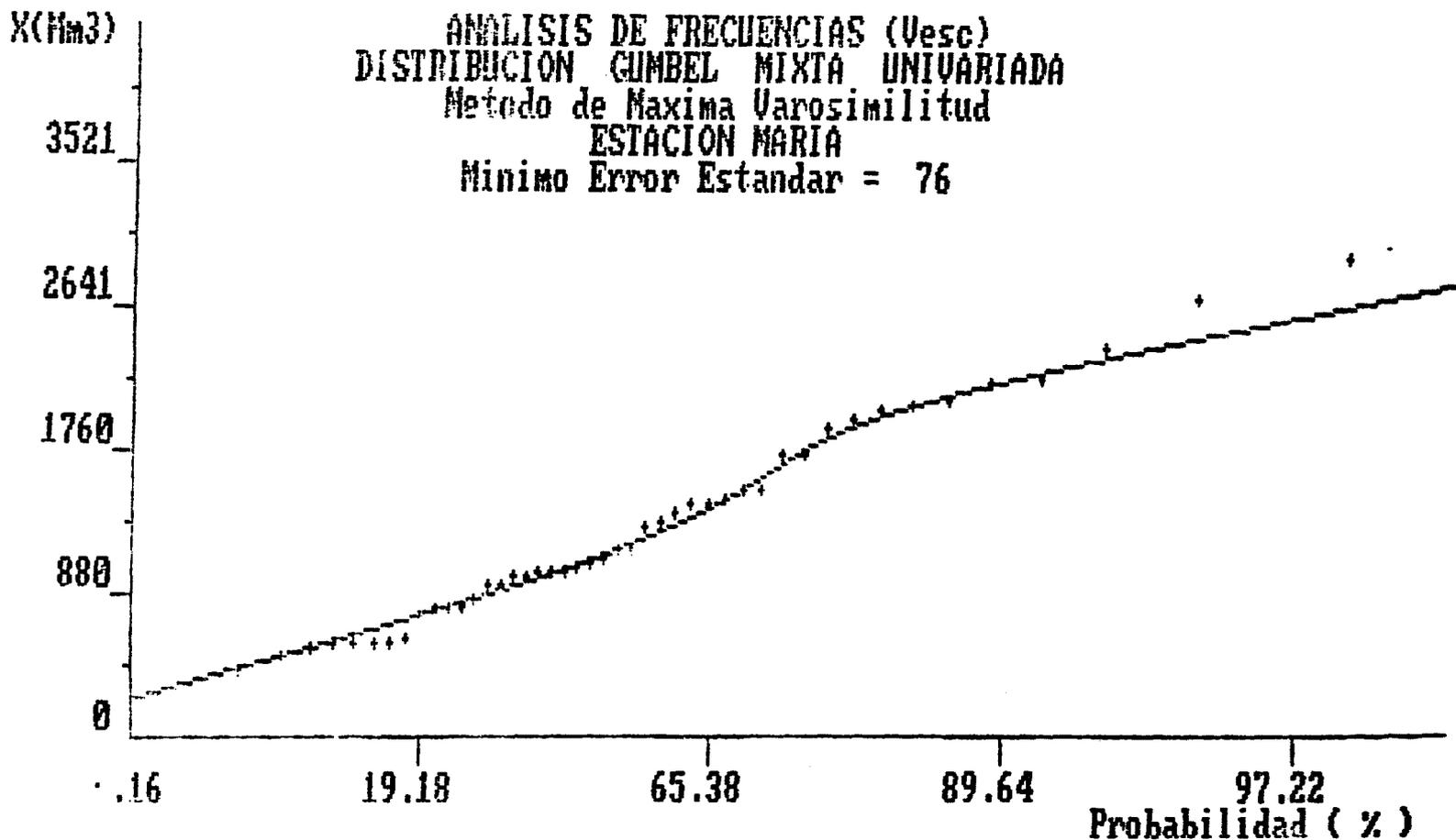


Figura 4.4 Ajuste mediante la distribución Gumbel Mixta para los escurrimientos anuales en la presa Santa María.

Tabla 4.5 Volúmenes anuales de escurrimiento esperados para diferentes períodos de retorno.

Distribución Gumbel mixta univariada por máxima verosimilitud eventos de diseño para períodos de retorno asignados.

Estación: Santa María

Error estandar de ajuste = 76.84

No.	Período de retorno años	Volúmenes esperados Mm3
1	2	1112.800
2	5	1880.921
3	10	2178.984
4	20	2396.246
5	50	2656.712
6	100	2848.382
7	500	3295.994
8	1000	3493.024
9	5000	3964.674
10	10000	4174.552

Tabla 4.6 Evaporación mensual neta en vaso

PRESA SANTA MARIA

MES	EVAPORACION NETA (mm.)
OCTUBRE	45.6
NOVIEMBRE	26.2
DICIEMBRE	14.7
ENERO	36.9
FEBRERO	70.3
MARZO	119.7
ABRIL	169.1
MAYO	161.1
JUNIO	96.5
JULIO	-142.9
AGOSTO	-150.8
SEPTIEMBRE	-179.8
SUMA	266.6

Tabla 4.7 Datos de la curva de elevaciones-area-capacidades

PRESA SANTA MARIA

ELEVACION (msnm)	AREA (ha)	CAPACIDAD (hm³)
80.0	0.0	0.0
85.0	20.5	0.5
90.0	57.5	2.5
95.0	100.1	6.4
100.0	156.7	12.8
105.0	213.3	22.1
110.0	265.2	34.0
115.0	322.8	48.7
120.0	394.2	66.7
125.0	467.7	88.2
130.0	538.6	113.4
135.0	627.7	142.5
140.0	728.4	176.4
145.0	830.8	215.4
150.0	930.1	259.4
155.0	1042.5	308.7
160.0	1170.1	364.1
165.0	1300.2	425.8
170.0	1440.6	494.3
175.0	1580.0	569.9
180.0	1721.4	652.4
185.0	1878.6	742.4
190.0	2029.9	840.1
195.0	2186.5	945.5
200.0	2352.3	1059.0
205.0	2515.8	1180.7
210.0	2661.8	1310.1
215.0	2808.0	1446.9
220.0	2960.2	1591.1

Tabla 4.8 Resultados de simulación del vaso de una muestra del año 1948-1992 generando 10000 muestras sintéticas

1	NAMO	Mm3	900	900	900	900
2	Extracción (demanda)	Mm3	1000	900	890	880
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60
5	Derrames en el período simulado	No.	213811	267762	272900	277016
6	%	%	0.475	0.595	0.686	0.616
7	Derrame promedio anual	Mm3	530.499	556.808	560.173	561.059
8	Déficit en el período simulado	No.	46870	19500	17723	16198
9	%	%	0.104	0.043	0.039	0.036
10	Déficit promedio anual	Mm3	-223.128	-188.214	-185.572	-180.092

1	NAMO	Mm3	800	800	800	800	800
2	Extracción (demanda)	Mm3	1100	1000	900	880	800
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60	60
5	Derrames en el período simulado	No.	168938	216778	269173	279634	322040
6	%	%	0.375	0.482	0.598	0.621	0.716
7	Derrame promedio anual	Mm3	512.418	531.149	556.573	563.056	592.763
8	Déficit en el período simulado	No.	95367	54007	24275	20172	8124
9	%	%	0.212	0.120	0.054	0.045	0.018
10	Déficit promedio anual	Mm3	-265.016	-225.088	-188.618	-179.746	-154.628

1	NAMO	Mm3	700	700	700	700
2	Extracción (demanda)	Mm3	1000	900	850	800
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60
5	Derrames en el período simulado	No.	220503	271044	297006	322019
6	%	%	0.490	0.602	0.660	0.716
7	Derrame promedio anual	Mm3	528.566	556.021	571.794	595.345
8	Déficit en el período simulado	No.	62446	30501	19369	11288
9	%	%	0.139	0.068	0.043	0.025
10	Déficit promedio anual	Mm3	-223.308	-186.490	-171.266	-150.689

Demanda que se encuentra dentro de la tolerancia menor al 5%.

Tabla 4.8 (continuación)

1	NAMO	Mm3	600	600	600	600	600	600	600
2	Extracción (demanda)	Mm3	1200	1000	900	870	840	800	700
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60	60	60	60
5	Derrames en el periodo simulado	No.	142528	225211	273907	289448	303749	324627	369101
6	%	%	0.317	0.500	0.609	0.643	0.675	0.721	0.820
7	Derrame promedio anual	Mm3	494.851	527.377	556.982	566.949	576.786	593.844	643.503
8	Déficit en el periodo simulado	No.	163127	73298	38132	29887	23.531	15473	4460
9	%	%	0.363	0.163	0.085	0.066	0.050	0.034	0.010
10	Déficit promedio anual	Mm3	-309.425	-223.358	-188.589	-176.315	-169.610	-158.460	-121.607

1	NAMO	Mm3	500	500	500	500	500	500	500
2	Extracción (demanda)	Mm3	1100	1000	900	870	800	800	800
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60	60	60	60
5	Derrames en el periodo simulado	No.	187002	231666	278649	292633	326232	326232	326232
6	%	%	0.416	0.515	0.619	0.650	0.725	0.725	0.725
7	Derrame promedio anual	Mm3	508.945	530.095	556.846	567.344	593.912	593.912	593.912
8	Déficit en el periodo simulado	No.	131748	85768	48696	39731	22139	22139	22139
9	%	%	0.293	0.191	0.108	0.088	0.049	0.049	0.049
10	Déficit promedio anual	Mm3	-262.770	-220.893	-185.609	-176.892	-155.871	-155.871	-155.871

1	NAMO	Mm3	400	400	400	400	400	400	400
2	Extracción (demanda)	Mm3	900	840	800	750	700	700	700
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60	60	60	60
5	Derrames en el periodo simulado	No.	283103	310335	328506	350785	370519	370519	370519
6	%	%	0.629	0.690	0.730	0.780	0.823	0.823	0.823
7	Derrame promedio anual	Mm3	556.558	579.264	591.565	619.797	643.270	643.270	643.270
8	Déficit en el periodo simulado	No.	63364	43357	32282	20753	12415	12415	12415
9	%	%	0.141	0.096	0.072	0.046	0.028	0.028	0.028
10	Déficit promedio anual	Mm3	-182.219	-162.887	-150.137	-133.484	-121.195	-121.195	-121.195

 Demanda que se encuentra dentro de la tolerancia menor al 5%.

Tabla 4.8 (continuación)

1	NAMO	Mm3	300	300	300	300
2	Extracción (demanda)	Mm3	850	800	750	700
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60	60
5	Derrames en el período simulado	No.	312316	333025	353809	372829
6	%	%	0.694	0.740	0.786	0.829
7	Derrame promedio anual	Mm3	574.420	595.086	619.994	643.309
8	Déficit en el período simulado	No.	62692	46705	33186	21949
9	%	%	0.139	0.104	0.074	0.049
10	Déficit promedio anual	Mm3	-164.369	-147.533	-131.493	-115.193

1	NAMO	Mm3	200	200	200
2	Extracción (demanda)	Mm3	700	650	630
3	Evaporación neta	Mm3	4.417	4.417	4.417
4	Azolve	Mm3	60	60	60
5	Derrames en el período simulado	No.	376970	392929	398974
6	%	%	0.838	0.873	0.887
7	Derrame promedio anual	Mm3	643.999	675.100	686.330
8	Déficit en el período simulado	No.	36720	25494	21424
9	%	%	0.082	0.057	0.048
10	Déficit promedio anual	Mm3	-122.267	-104.718	-98.779

66

Demanda que se encuentra dentro de la tolerancia menor al 5%.

Tabla 4.9 Resultados de simulación del vaso de una muestra del año 1948-1992 generando 10000 muestras sintéticas

NAMO	EXTRACCION DEMANDA	PROMEDIO			PROMEDIOS ACUMULADOS			PROMEDIO		SUPERFICIE REGADA
		DEFICIT	APROVECH.	DERRAME	DEFICIT	APROVECH.	DERRAME	DERRAME	DEFICIT	
Mm3	Mm3	%	%	%	%	%	Mm3	Mm3	Mm3	ha
900	880	0.036	0.348	0.616	0.036	0.384	1.000	561.059	-180.092	58049
	890	0.039	0.354	0.606	0.039	0.394	1.000	560.173	-185.572	58709
	900	0.043	0.362	0.595	0.043	0.405	1.000	556.808	-188.214	59368
	1000	0.104	0.421	0.475	0.104	0.525	1.000	530.499	-223.128	65966
800	800	0.018	0.266	0.716	0.018	0.284	1.000	592.763	-154.628	52772
	880	0.045	0.334	0.621	0.045	0.379	1.000	563.056	-179.746	58049
	900	0.054	0.348	0.598	0.054	0.402	1.000	556.373	-188.618	59368
	1000	0.120	0.398	0.482	0.120	0.518	1.000	531.149	-225.088	65966
	1100	0.212	0.413	0.375	0.212	0.625	1.000	512.418	-265.016	72561
700	800	0.025	0.259	0.716	0.025	0.284	1.000	595.344	-150.689	52772
	850	0.043	0.297	0.660	0.043	0.340	1.000	571.794	-171.265	56070
	900	0.068	0.330	0.602	0.068	0.398	1.000	556.021	-186.489	59368
	1000	0.139	0.371	0.490	0.139	0.510	1.000	528.566	-223.308	65966
600	700	0.010	0.170	0.820	0.010	0.180	1.000	643.503	-121.607	46176
	800	0.034	0.244	0.721	0.034	0.279	1.000	593.844	-158.460	52772
	840	0.050	0.275	0.675	0.050	0.325	1.000	576.786	-169.610	55410
	870	0.066	0.290	0.643	0.066	0.357	1.000	566.949	-176.315	57390
	900	0.085	0.307	0.609	0.085	0.391	1.000	556.982	-188.589	59368
	1000	0.163	0.337	0.500	0.163	0.500	1.000	527.377	-223.358	65966
	1200	0.363	0.321	0.317	0.363	0.683	1.000	494.850	-309.425	79159
	500	800	0.049	0.226	0.725	0.049	0.275	1.000	593.912	-155.871
	870	0.088	0.261	0.650	0.088	0.350	1.000	567.344	-176.892	57390
	900	0.108	0.273	0.619	0.108	0.381	1.000	556.846	-185.609	59368
	1000	0.191	0.295	0.515	0.191	0.485	1.000	530.095	-220.893	65966
	1100	0.293	0.292	0.416	0.293	0.584	1.000	508.945	-262.770	72561

Tabla 4.9 (Continuación)

NAMO	EXTRACCION DEMANDA	PROMEDIO			PROMEDIOS ACUMULADOS			PROMEDIO		SUPERFICIE REGADA
		DEFICIT	APROVECH.	DERRAME	DEFICIT	APROVECH.	DERRAME	DERRAME	DEFICIT	
Mm3	Mm3	%	%	%	%	%	Mm3	Mm3	Mm3	ha
400	700	0.028	0.149	0.823	0.028	0.177	1.000	643.270	-121.195	46176
	750	0.046	0.174	0.780	0.046	0.220	1.000	619.797	-133.484	49474
	800	0.072	0.198	0.730	0.072	0.270	1.000	591.565	-150.137	52772
	840	0.096	0.214	0.690	0.096	0.310	1.000	579.264	-162.887	55410
	900	0.141	0.230	0.629	0.141	0.371	1.000	556.558	-182.219	59368
							0.000			
300	700	0.049	0.123	0.829	0.049	0.171	1.000	643.309	-115.193	46176
	750	0.074	0.140	0.786	0.074	0.214	1.000	619.994	-131.493	49474
	800	0.104	0.156	0.740	0.104	0.260	1.000	595.086	-147.533	52772
	850	0.139	0.167	0.694	0.139	0.306	1.000	574.420	-164.369	56070
200	630	0.048	0.066	0.887	0.048	0.113	1.000	686.330	-98.779	41558
	650	0.057	0.070	0.873	0.057	0.127	1.000	675.100	-104.718	42878
	700	0.082	0.081	0.838	0.082	0.162	1.000	643.999	-122.267	46176

**Fig. 4.5 Capacidades de conservación de la presa Santa María en Mm3
(volumen de extracción - porcentaje)**

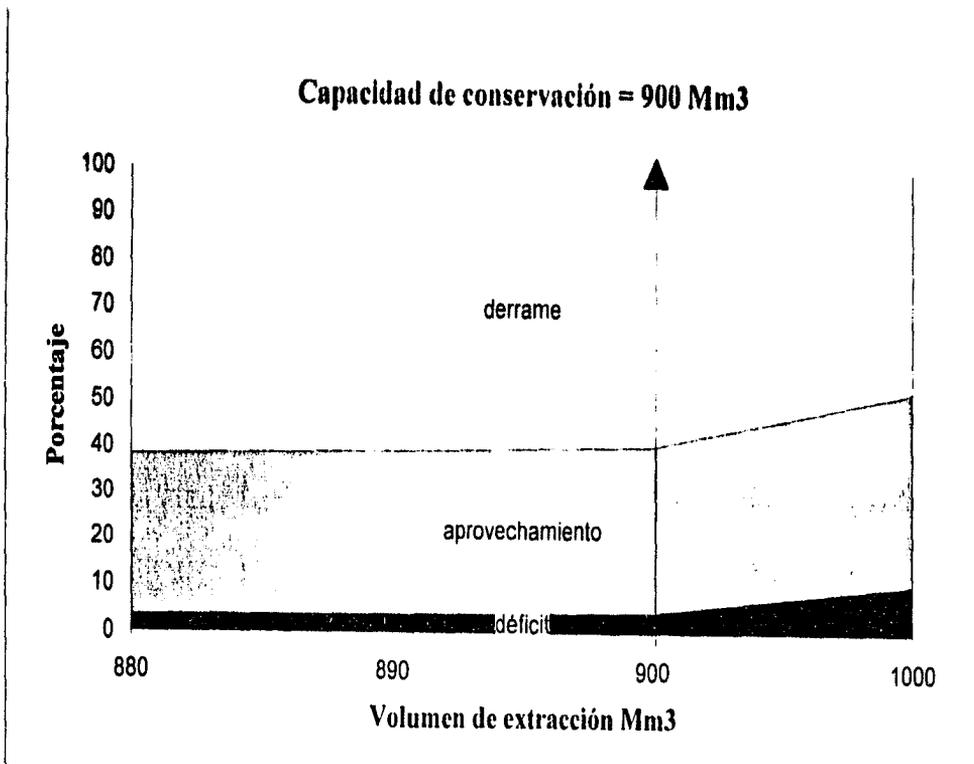


Figura 4.5
(continuación)

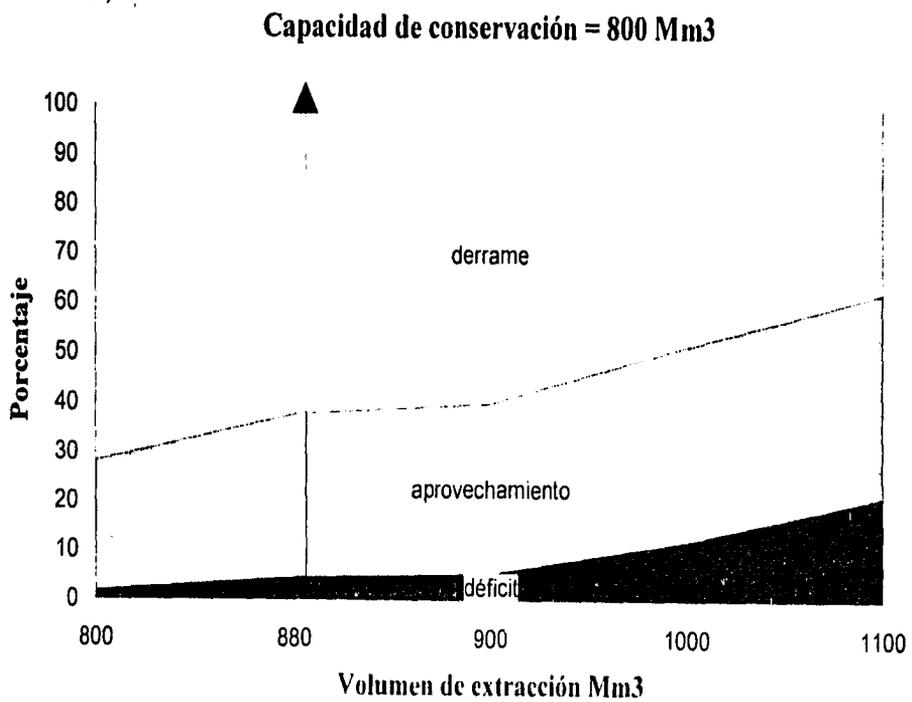


Figura 4.5
(continuación)

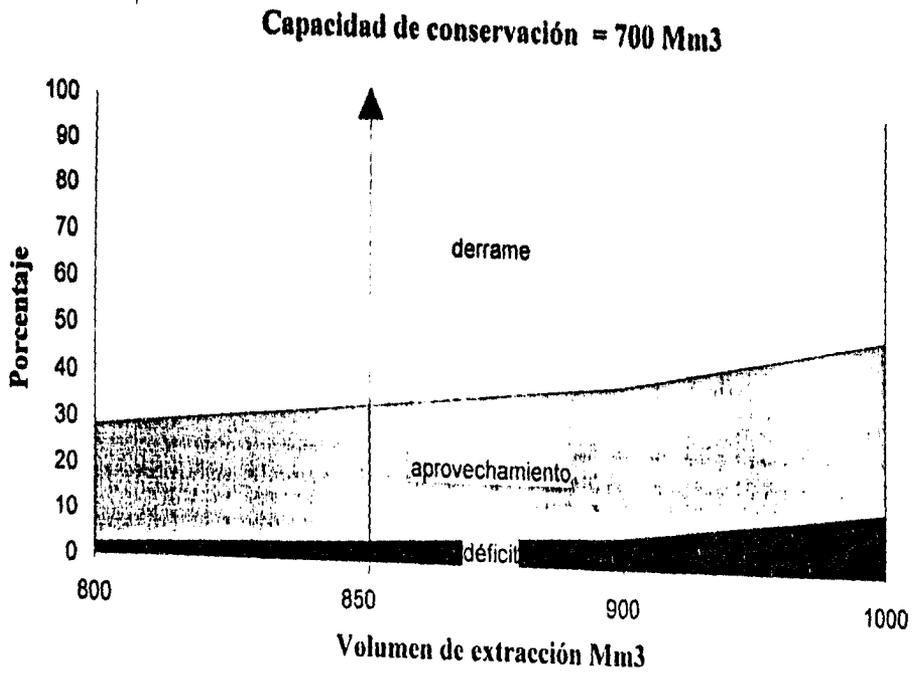


Figura 4.5
(continuación)

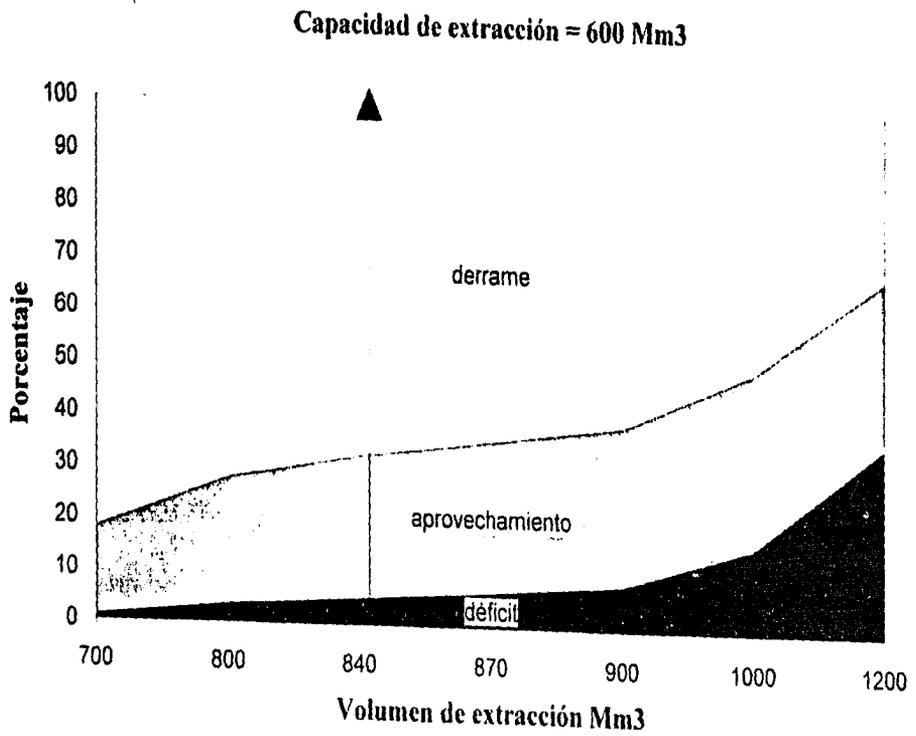


Figura 4.5
(continuación)

Capacidad de conservación = 500 Mm³

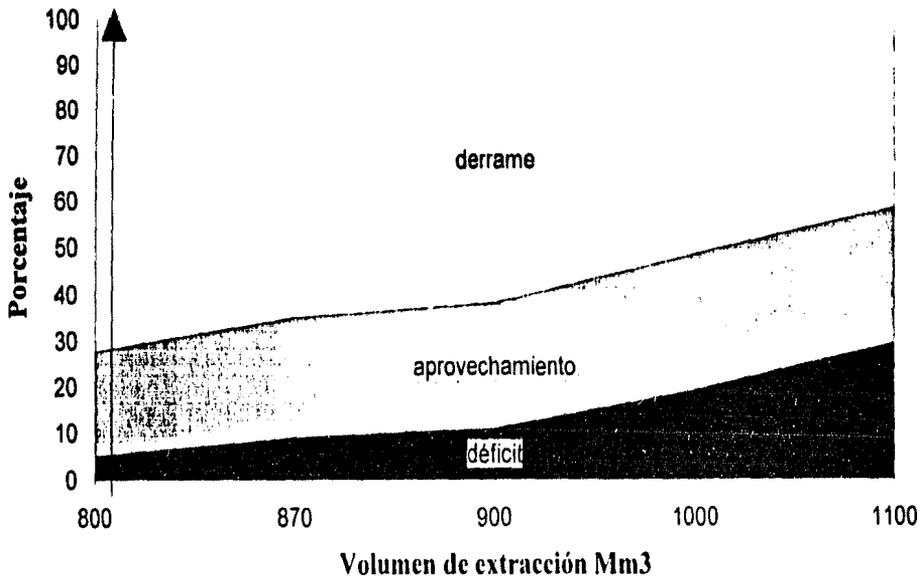


Figura 4.5
(continuación)

Capacidad de conservación = 400 Mm³

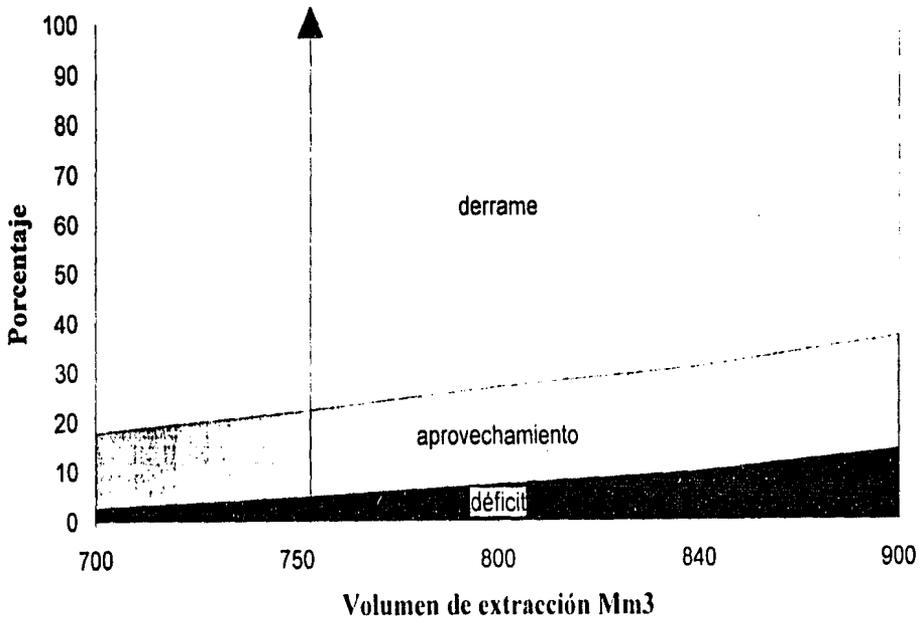


Figura 4.5
(continuación)

Capacidad de conservación = 300 Mm³

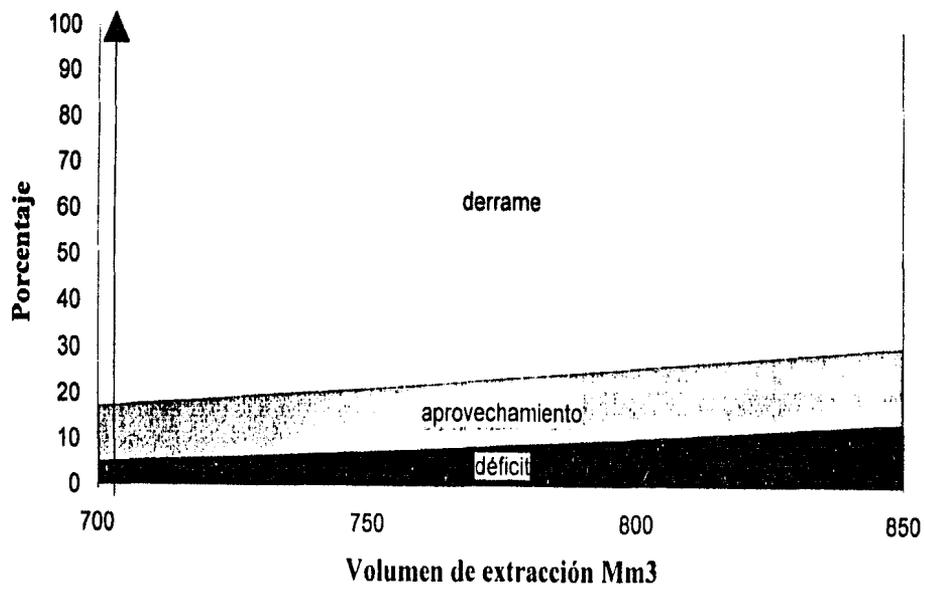


Figura 4.5
(continuación)

Capacidad de conservación = 200 Mm³

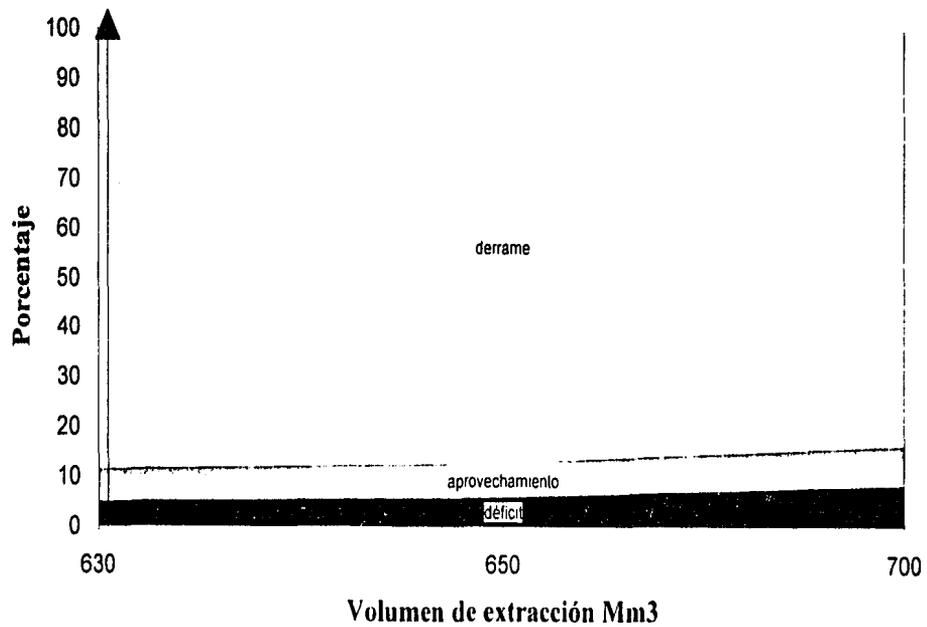


Tabla 4.10 Diferentes alternativas para superficies de riego, en función de la capacidad de conservación de la presa Santa María.

CAPACIDAD DE CONSERVACION (Mm3)	DEMANDA (Mm3)	APROVECHAMIENTO (%)	SUPERFICIE REGADA (ha)
200.00	630	0.066	41,558
300.00	700	0.1228	46,176
400.00	750	0.1743	49,474
500.00	800	0.2258	52,772
600.00	840	0.2749	55,410
700.00	850	0.2968	56,070
800.00	880	0.3337	58,049
900.00	900	0.3617	59,368

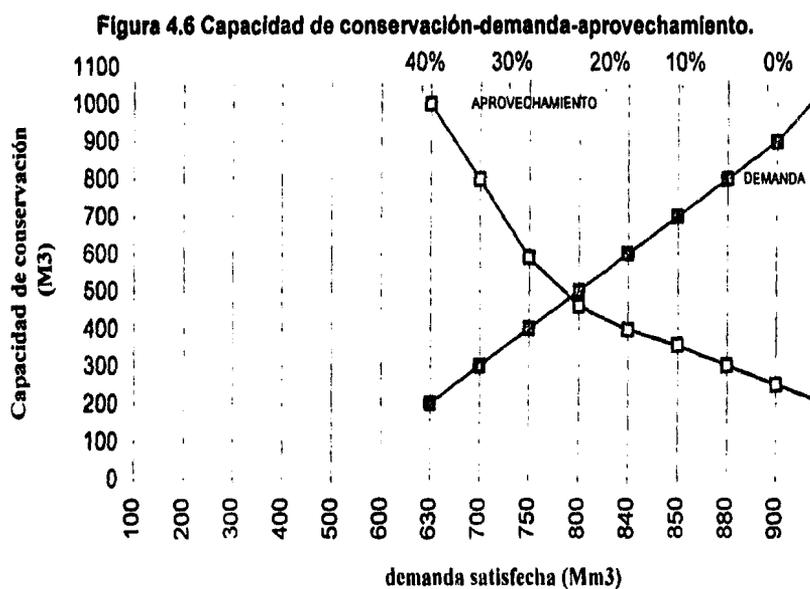


Tabla 4.11 Costos de producción y beneficios directos.

CULTIVO Y MODALIDAD	SUPERFICIE (HA.)			RENDIMIENTOS (TON/HA.)			PRECIO DE CUENTA (\$/TON)	COSTO DE PROD. (MILES \$)		VALOR DE LA PROD. (MILES \$)			COSTO DE PROD. (MILES \$)			BENEFICIOS (MILES \$)		
	SIN PROY.	CON PROYECTO		SIN PROY.	CON PROYECTO			S/PROY.	C/PROY.	SIN PROY.	CON PROYECTO		SIN PROY.	CON PROYECTO		SIN PROY.	CON PROYECTO	
		POTENCIAL	INICIAL		POTENCIAL	INICIAL					INICIAL	POTENCIAL		INICIAL	POTENCIAL			
	PROY.	POTENCIAL	INICIAL	PROY.	POTENCIAL	INICIAL		S/PROY.	C/PROY.	PROY.	INICIAL	POTENCIAL	PROY.	INICIAL	POTENCIAL	PROY.	INICIAL	POTENCIAL
RÍEGO	13.243	74.048	4.605						90.643	357.944	653.106	63.621	220.030	338.510	26.992	177.914	314.988	
OTOÑO-INVIerno	9.208	39.545	24.424						63.741	188.127	352.485	54.007	133.554	199.247	9.734	46.173	150.158	
CHILE ESTALECIDO	4.998	4.998	4.998	8.50	15.00	12.00	1.200	9.025	11.098	50980	71971	89964	45107	55418	55468	5873	16409	36496
CHILE POR ESTABL		3.687	1.844		8.50	15.00	1.200	9.025	11.098		26554	66366	20465	49919			6789	23648
FRÍJOL	2.688	7.374	5.031	1.10	2.50	2.00	1.500	1.249	2.062	4425	15095	27647	3357	10174	15205	1078	4719	12647
HORTALIZA ESTABL (TOMATE)	394	394	394	12.00	25.00	16.00	750	8.702	9.315	3546	4728	7308	3429	3670	3670	117	1058	3717
HORTALIZA P/ESTABL (TOMATE)		1.845	922		12.00	25.00	750	8.702	9.315		11074	34556		8568	17168		2476	17889
MAIZ GR	876	14.747	7.812	4.00	7.00	5.00	850	2.435	3.288	2978	33204	87345	2135	25686	48488	84	7514	36277
SORGO FORRAJE	163	1.447	605	15.00	20.00	17.50	500	2.493	3.770	1223	4294	14476	405	2281	5455	818	3013	9615
SORGO GRANO	181	3.055	2.618	4.00	6.00	5.00	800	2.014	2.547	579	10472	24264	365	6668	12875	215	3804	11389
PRIMAVERA-VERANO	2.431	28.912	11.422						11782	62.085	132.265	7.574	39.868	78.273	4.178	22.144	64.991	
ARROZ		3.687	1.844		6.00	4.50	1.200		4		6958	26446		6651	13299		5306	13247
HORTALIZA ESTABL (TOMATE)	189	189	189	10	25	15	750	6.702	9.315	1418	7126	3544	1267	1761	1761	151	766	1783
MAIZ GR	674	7.374	4.024	3.80	5.00	4.50	850	2.435	3.288	2177	15571	31340	1641	13231	24246	536	2161	7696
SORGO ESCOBA	554	554	554	2.00	2.50	2.20	2.850	4.444	4.444	3158	3471	3947	2462	2462	2462	696	1012	1485
SORGO FORRAJE	346	4.548	2.447	15.00	20.00	17.00	500	2.493	3.770	2595	7080	45480	859	9225	17146	1736	11574	28334
SORGO GRANO	668	4.460	2.564	4.50	6.00	5.00	800	2.014	2.547	2405	10256	21408	1245	6531	11360	1659	3724	18668
PERENNES	1.512	13.691	10.885						15128	115913	168436	2149	46216	68996	13680	67987	99446	
FRUTALES ESTABL (MANGÓ)	1.512	6.317	6.317	10.00	15.00	12.50	1.000	1.349	3.709	14120	78963	94755	2046	23430	24320	13080	44433	71325
FRUTALES P/ESTABL (MANGÓ)		3.687	1.844		8.56	8.56	1.000		2.824		15784	31561		5207	19612		16477	21149
PASTOS P/ESTABL		3.687	1.844		2.04	2.04	5.600		9.533		21066	42120		17579	35148		3487	6972
TEMPORAL	24.566								80.615			27.492			53.123			
OTOÑO-INVIerno	8.412								14198			8.688			5728			
CHILE							1.200											
FRÍJOL	5.750			70			1.500	894		6078		5063			954			
HORTALIZA (TOMATE)							750											
MAIZ GR	704			1.00			850	736		708		518			80			
SORGO FORRAJE	1.284			10.00			500	1.735		6420		2228			4192			
SORGO GRANO	674			2.10			800	937		1132		632			501			
PRIMAVERA-VERANO	11.349								27986			13868			14968			
HORTALIZA (TOMATE)							750											
MAIZ GR	4.568			1.00			850	736		3883		3362			521			
SORGO ESCOBA	1						2.850											
SORGO FORRAJE	4.202			10.00			500	1.735		21010		7290			13720			
SORGO GRANO	2.578			1.50			800	937		3094		2416			678			
PERENNES	4.885								38446			3963			32477			
FRUTALES (MANGÓ)	1.805			8.00			1.000	1.341										
TOTAL	37.809	74.048	46.051						179.228	357.944	653.106	91.113	220.030	338.510	88.315	157.994	304.988	
SUPERFICIE FÍSICA	58318																	
INTENSIDAD DE CULTIVOS	6.68	1.34	0.83															

Tabla 4.12 Costos de Asistencia Técnica y organización de usuarios

PERSONAL	CARGO ANUAL	CARGO INICIAL	TOTAL
Salario y gastos de personal	2808		2,808.0
Equipo		2,477.9	2,477.9
Gatos de operación y mantenimiento	56.5		56.5
TOTAL			5,342.4

* Miles de pesos

Tabla 4.13 Costos de mantenimiento mayor y tenencia de la tierra

CONCEPTO	CARGO ANUAL	CARGO TOTAL
Mantenimiento mayor sin proeycto	1986	
Mantenimiento mayor con proyecto	16924	
Tenencia de la tierra		8,670
TOTAL		

* Miles de pesos

Tabla 4.14 Inversiones totales requeridas para el proyecto.

CAPACIDAD DE CONSERVACION (Mm3)	INVERSION
300.00	1459.03
425.00	1446.57
600.00	1123.2
742.40	1160.94
882.00	1226.42
1,000.00	1360.19
11,000.00	1471.62

* Costos en millones de pesos

Tabla 4.15 Evaluación de proyecto

COMPONENTE DE RIEGO															
AÑO	VALOR DE LA PROD		COSTO DE PROD		BENEFICIO AGROP		COSTO SISTEMÁTICO				INDEMN PRESE	BENEFICIO NETOS	BENEFICIO - COSTO		
	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	ASIS TECNCA	MANTENIMIENTO	INVERSIONES						
	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY	S/PROY	C/PROY			
1	171,228	171,228	91,113	91,113	80,115	80,115	0	0	1,988	1,988	0	224,640	8,870	0	-233,310
2	171,228	171,228	91,113	91,113	80,115	80,115	0	0	1,988	1,988	0	338,960	0	0	-338,960
3	171,228	171,228	91,113	91,113	80,115	80,115	0	0	1,988	1,988	0	224,640	0	0	-224,640
4	171,228	171,228	91,113	91,113	80,115	80,115	0	0	1,988	1,988	0	338,960	0	0	-338,960
5	171,228	357,844	91,113	220,030	80,115	137,914	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	37,519	37,519
6	171,228	418,976	91,113	243,728	80,115	173,250	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	72,855	72,855
7	171,228	476,009	91,113	267,422	80,115	208,587	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	108,192	108,192
8	171,228	535,041	91,113	291,118	80,115	243,923	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	143,528	143,528
9	171,228	594,074	91,113	314,814	80,115	279,260	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	178,885	178,885
10	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
11	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
12	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
13	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
14	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
15	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
16	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
17	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
18	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
19	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
20	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
21	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
22	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
23	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
24	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
25	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
26	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
27	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
28	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
29	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
30	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
31	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
32	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
33	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
34	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
35	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
36	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
37	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
38	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
39	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
40	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
41	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
42	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
43	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
44	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
45	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
46	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
47	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
48	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
49	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
50	171,228	653,106	91,113	338,510	80,115	314,596	0	5,342	1,988	18,924	0	0	0	214,201	214,201
suma	8,581,400	29,842,302	4,555,650	15,580,472	4,005,750	14,261,830	0	245,732	99,300	788,448	0	1,123,200	8,870	9,323,200	8,191,330
V.P.	1,421,963	3,523,891	756,648	1,884,633	665,318	1,639,258	0	28,137	16,493	98,173	0	843,232	7,741	887,128	16,182
T.I.R.														10.9	

* Costos en miles de pesos

SUPERFICIE (HA) = 55,318
 COSTOS DE INVERSION(\$)= 850,873
 BENEFICIOS NETOS 867,128
 BENEFICIO / COSTO 1.02
 BENEFICIO - COSTO 16,182

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos estocásticos representan una buena opción para la generación sintética de series de tiempo, las cuales son importantes en la determinación de la capacidad útil de una presa.

De los resultados obtenidos en el proceso de simulación se concluye que la capacidad óptima para satisfacer la demanda de 55,318 ha es de 600 Mm³, dado que el nivel esperado de déficit es menor del 5%.

Aún y cuando el porcentaje esperado de derrames es alto, éste pudiera modificarse si se realiza el funcionamiento de vaso en términos mensuales y tomando en cuenta la variación mensual de la evaporación y no fijo como se hizo en el estudio.

De acuerdo con el análisis económico y con un horizonte de planeación de 50 años, se observa que la propuesta es viable ya que la relación beneficio/costo = 1.02.

Se pudiera pensar que el cambiar el tipo de cultivo mejoraría la relación beneficio costo, pero esto sería falso ya que de acuerdo con los tipos de suelo y el mercado una variación en algún cultivo traería como consecuencia una reducción importante en la producción.

Una buena alternativa sería el aumentar el volumen aprovechable para la generación de energía eléctrica.

La recomendación sería el de explorar ésta última posibilidad y realizando el análisis a niveles mensuales, tomando en cuenta la variación de los escurrimientos, temperaturas y demandas.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1.- Aparicio Mijares, F. J., "*Fundamentos de Hidrología de Superficie*", Limusa, 1992.
- 2.- Baca Urbina, G, "*Evaluación de proyectos*", McGraw Hill, 1990.
- 3.- Benjamín, J. R., Cornell, C. A., "*Probability, statistics and decisión for civil engineers*", McGraw Hill, New York, 1970.
- 4.- Chow, V. T. (Editor) "*Handbook of applied hidrology*", McGraw Hill, New York, 1964.
- 5.- Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, "*Análisis estadístico*", Manual de Diseño de Obras Civiles.
- 6.- Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, "*Simulación del funcionamiento de un vaso*", Manual de Diseño de Obras Civiles.
- 7.- Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas, "*Escorrentamiento*", Manual de Diseño de Obras Civiles.
- 8.- Feller, W., "*Introducción a la teoría de probabilidades y sus aplicaciones*", Vols. I y II, Limusa, México, 1989.
- 9.- Linsley, R., Franzini J. B., "*Ingeniería de los recursos Hidráulicos*", CECSA, 1984.
- 10.- Linsley, R., Kohler, M., Paulus, J., "*Applied hydrology*", McGraw Hill, 1949.
- 11.- Linsley, R., Kohler, M., Paulus, J., "*Hidrología para ingenieros*" McGraw Hill, 1988.
- 12.- Salas J.D., Delleur J.W., Yevjevich V. and Lane W.L., "*Applied Modeling of hidrologic Time Series*", Water Resources Publications, Littleton, Colorado, 1985.
- 13.- Viessman, W. Lewis, G., Knapp, J., "*Introduction to hydrology*", Harper & Row Pub., New York, 1977.
- 14.- Woodroffe, M., "*Probability with applications*" McGraw Hill, 1975.