



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

205  
139

" ANALISIS DE SISTEMAS  
EN PROYECTOS DE RECURSOS HIDRAULICOS "

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA

FRANCISCO JAVIER RAMIREZ ESCUVEL



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Vicerrectoría Nacional  
Avila

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-348

Señor FRANCISCO JAVIER RAMIREZ ESQUIVEL,  
P r e s e n t e .

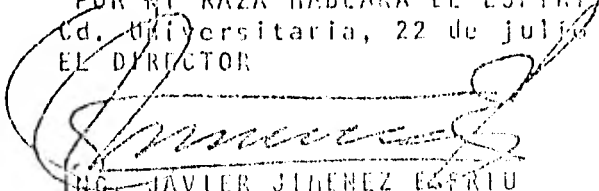
En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profr. M. I. Víctor Franco, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"ANALISIS DE SISTEMAS EN PROYECTOS DE RECURSOS  
HIDRAULICOS"

- I) Ingeniería de los recursos hidráulicos.
- II) El enfoque de sistemas.
- III) Análisis beneficio-costo.
- IV) Optimalidad de un proyecto.
- V) Aplicación al proyecto de riego Baluarte-  
Presidio, Sin.
- VI) Aplicación al proyecto de protección contra  
inundaciones a la Ciudad de La Paz, B.C.S.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e  
"POR-EL RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 22 de julio de 1982  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPINO

# I N D I C E

Pág.

## PARTE 1. FUNDAMENTOS

I )	INGENIERIA DE LOS RDCURSOS HIDRAULICOS	
1.1 )	Definición y alcances.....	1
1.2 )	Los proyectos de recursos hidráulicos.....	2
1.3 )	Parámetros del proyecto.....	4
II )	EL ENFOQUE DE SISTEMAS	
2.1 )	Ingeniería de sistemas.....	8
2.2 )	Objetivos y medidas de efectividad.....	9
2.3 )	Procedimiento de análisis.....	9
III.)	ANALISIS BENEFICIO-COSTO	
3.1 )	Evaluación de proyectos.....	15
3.2 )	Indicadores económicos de evaluación.....	18
3.3 )	Comparación de las ordenaciones hechas según los índices descritos.....	23
IV )	OPTIMALIDAD DE UN PROYECTO	
4.1 )	Teoría de la producción.....	26
4.2 )	Función de producción.....	28

4.3 )	Función objetivo.....	30
4.4 )	Curvas de beneficios y costos.....	33
4.5 )	Condiciones de optimalidad.....	36

PARTE 2. APLICACIONES

V ) APLICACION AL PROYECTO DE RIEGO BAHUARTE-PRESIDIO, SIN.

5.1 )	Características fisiográficas del área beneficiable.....	52
5.2 )	Objetivos.....	61
5.3 )	Identificación de alternativas.....	62
5.4 )	Patrón de cultivos.....	66
5.5 )	Análisis y selección de sistemas hidráulicos.....	67
5.6 )	Definición y clasificación de alternativas de tamaño.....	73
5.7 )	Análisis de tamaño.....	80
5.8 )	Previsiones de operación.....	85

VI ) APLICACION AL PROYECTO DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES A  
LA CIUDAD DE LA PAZ, B.C.S.

6.1 )	Protección contra avenidas.....	89
6.2 )	Características fisiográficas del área beneficiable.....	92
6.3 )	Objetivo y estudios básicos.....	94
6.4 )	Identificación y descripción de alternativas.....	99
6.5 )	Análisis efectividad-costo.....	100

6.6 ) Sistemas regulación-encauzamiento  
de mínimo costo..... 113

PARTE 3. CONCLUSIONES

De los fundamentos..... 115

De las aplicaciones..... 116

REFERENCIAS..... 117

P A R T E 1

F U N D A M E N T O S



## CAPITULO I

### INGENIERIA DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS

#### 1.1 ) Definición y alcances

La disponibilidad de agua ha sido siempre un factor determinante para la supervivencia y desarrollo de la humanidad. Su escasez o abundancia ha regido el destino de todas las civilizaciones. En los lugares en que este vital líquido es escaso, sólo existe desolación y miseria. El caso contrario, donde el agua es abundante, ha sido campo propicio para los asentamientos humanos.

El agua es un recurso renovable y en la naturaleza sufre cambios que se repiten conforme a un patrón, denominado ciclo hidrológico —término descriptivo aplicado a la circulación general del agua—. En síntesis, se considera a los océanos como las fuentes de toda el agua existente sobre la tierra. La corriente continua de energía emitida por el sol, y que llega a nuestro planeta, evapora el agua de los océanos. Mediante procesos meteorológicos se precipita parte del vapor de agua que se halla en la atmósfera. El agua llega entonces al suelo en estado líquido (lluvia, rocío) o sólido (nieve, granizo) y posteriormente regresa a los océanos, cerrándose así el ciclo hidrológico ( 1 )\*.

\* Los números entre paréntesis indican la fuente bibliográfica, -

Esta última fase, en la que el agua escurre por vertientes, llanuras, cauces y acuíferos, es la de mayor interés para el hombre, por incidir directamente en sus actividades productivas y vitales. Así, a través de toda su existencia, el problema básico con que se ha enfrentado, para alcanzar un aprovechamiento integral de los recursos hidráulicos, surge del hecho de que el agua frecuentemente se halla disponible en tiempo, lugares y calidades diferentes de aquellas características que definen su demanda.

Tal situación origina que el proceso de desarrollo de los recursos sea bastante complejo, pues requiere o exige la concepción, planeación, diseño, construcción y operación de las instalaciones que permitan controlar y utilizar el agua, a fin de reducir la discrepancia existente entre su oferta natural y su demanda. El análisis y la solución de los problemas relacionados con este proceso, forman el campo de la ingeniería de los recursos hidráulicos.

## 1.2 ) Los proyectos de recursos hidráulicos

Una de las definiciones más claras sobre lo que debe entenderse por "proyecto", la expuso el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica Social (2), al indicar que "en su significado básico, el proyecto es el plan prospectivo de una unidad de acción capaz de materializar algún aspecto de desarrollo económico o social. Esto implica, desde el

punto de vista económico, proponer la producción de algún bien o la prestación de algún servicio, con el empleo de una cierta técnica y con miras a obtener un resultado o ventaja económica o social. Como plan de acción, el proyecto supone también la indicación de los medios necesarios para su realización y la adecuación de estos medios a los resultados que se persiguen. El análisis de estas cuestiones se hace en los proyectos no sólo desde el punto de vista económico sino también técnico, administrativo e institucional".

De esa manera, un proyecto de recursos hidráulicos es un conjunto de obras de ingeniería que, a manera de sistema, - aprovecharía los recursos de una región en la producción de un conjunto de bienes y servicios que mejorarían el bienestar de la población. Dada la extensa variedad de bienes y servicios que se - - pueden producir al utilizar el agua, los objetivos particulares de los sistemas de recursos hidráulicos pueden razonablemente clasificarse en tres grupos, y un sistema cualquiera puede incluir uno o más de ellos.

1. Dar agua y mantenerla en aquellos lugares, - - tiempos y cantidades adecuadas para su utilización. A este grupo corresponden los sistemas - con fines de riego, abastecimiento de agua potable, generación de energía hidroeléctrica, - navegación, etc.

2. Regular o controlar el exceso de agua de manera que no provoque graves daños a los bienes y servicios, o hasta pérdida de vidas humanas. - En este grupo caen los proyectos cuyo propósito es controlar las avenidas, drenar los terrenos, eliminar aguas residuales, etc.
3. Manejar y controlar el recurso para protegerse de las consecuencias del deterioro de su calidad. En este grupo se encuentran los proyectos cuyo propósito radica en el tratamiento de las aguas para su aprovechamiento municipal y - - agrícola, controlar la polución, estimular la propagación de la fauna silvestre, mantener el valor estético de los ríos y lagunas, fomentar la recreación, etc.

Además, cualquiera que sea el o los objetivos propuestos, éstos deberán alcanzarse con el mínimo deterioro de los recursos naturales, económicos y humanos disponibles.

### 1.3 ) Parámetros del proyecto

Bajo el supuesto de que, una vez construídas, las

principales obras hidráulicas únicamente pueden modificarse a un - alto costo o son inamovibles —y tomando en cuenta la mala distribución temporal y espacial del agua aunada a una calidad indeseable—, de acuerdo con Nathan Buras, la ingeniería de los recursos hidráulicos debe dar solución a tres preguntas fundamentales:

- 1.- ¿Qué sistema debe construirse a fin de minimizar la discrepancia existente entre la oferta natural del agua —en tiempo, espacio y calidad— y su demanda?
- 2.- ¿Qué tan extenso debe ser el desarrollo del recurso y qué tan extensa debe ser la región servida por este sistema?
- 3.- Una vez construído, ¿Cómo debe operarse el sistema para alcanzar un conjunto de objetivos, de la mejor manera posible?

Es decir, para cada proyecto se debe seleccionar - la combinación de estructuras, los niveles de desarrollo para los diferentes usos del agua y las políticas de operación que permitan alcanzar mejor los objetivos planteados.

Por otra parte, según lo indicado en ( 3 ), estos

proyectos deben pasar cinco pruebas de factibilidad para que los planeadores del desarrollo de los recursos hidráulicos puedan jerarquizar y seleccionar la mejor propuesta:

- 1.- La prueba de factibilidad ingenieril se cumple si el proyecto es físicamente capaz de cumplir con la función de interés, es decir, el diseño ingenieril debe estar confinado a la región tecnológicamente factible.
- 2.- En términos económicos se demuestra la factibilidad si los beneficios totales que resulten del proyecto exceden a aquéllos que se obtendrían sin él, en una cantidad mayor a su costo.
- 3.- Si el proyecto es capaz de generar fondos suficientes para pagar su instalación, operación y conservación —de acuerdo con las condiciones crediticias de las fuentes potenciales de financiamiento—, es financieramente factible.
- 4.- Desde el punto de vista político el proyecto es factible si puede asegurarse la aprobación política para lo cual se consideran los - - -

efectos favorables y adversos del proyecto, -  
la intensidad de los sentimientos populares y  
el potencial del proyecto para obtener un apo  
yo público extenso.

- 5.- Socialmente el proyecto es factible si los -  
usuarios potenciales responden favorablemente  
a su construcción, tomando en cuenta el cam--  
bio en las condiciones de vida de los usuarios  
y la disponibilidad a adaptarse de los afecta-  
dos con la implantación del proyecto.

## CAPITULO II

### EL ENFOQUE DE SISTEMAS

#### 2.1 ) Ingeniería de sistemas

Hall y Dracup ( 4 ) han definido a la ingeniería de sistemas como "el arte y la ciencia de seleccionar, de entre un - - gran número de alternativas posibles, con alto contenido de metodología ingenieril, aquélla que satisface mejor los objetivos totales de quienes toman las decisiones, dentro de las restricciones legales, morales, económicas, de recursos, de presiones sociales y políticas, y de las leyes que gobiernan los fenómenos físicos, biológicos y de otras ciencias sociales".

De esta definición, es obvio que la ingeniería de sistemas es aplicable básicamente a una fase de la tarea total del ingeniero de recursos hidráulicos —la del análisis de alternativas— sea ésta en relación con la planeación, diseño, construcción u operación de las obras destinadas a utilizar y controlar el agua.

La ingeniería de sistemas es, de hecho, un método - que sistematiza el análisis de problemas, desde la formulación de los objetivos hasta la realización de los componentes físicos del sistema seleccionado, para llegar a la mejor solución.



## 2.2 ) Objetivos y medidas de efectividad

Quizá la más difícil de todas las funciones de la ingeniería de sistemas, es la definición de los objetivos que se alcanzarán mediante el diseño de un nuevo sistema, puesto que deberán estar sujetos a las metas regionales contempladas en la estrategia general de desarrollo. En este caso, a partir de las metas de desarrollo nacional, sectorial y regional, la definición de los objetivos de un sistema de recursos hidráulicos se hallará limitada a los tres propósitos fundamentales descritos en el capítulo anterior; es decir, el abastecimiento, la regulación y el control de calidad del agua.

Una vez establecidos los objetivos de los sistemas de recursos hidráulicos, es necesario contar con un patrón de comparación que nos permita valorar el grado de eficiencia alcanzado por cada propuesta en la consecución de las metas. Entonces, en esta fase, se establecen las medidas de efectividad. En el Cuadro ( 2.2.1 ), se muestran las medidas sugeridas por James y Lee.

## 2.3 ) Procedimiento de análisis

Dentro del análisis de sistemas se generan las posibles alternativas y, a continuación, se cuantifican sus efectos, estableciendo la factibilidad técnica y económica de cada sistema. Después de ponderar los -

## CUADRO ( 2.2.1 )

## MEDIDAS DE EFECTIVIDAD

PROPOSITO DEL PROYECTO	MEDIDA	UNIDADES
Control de avenidas	Período de retorno de la avenida de diseño	Período de retorno, en años
Drenaje de tierras	Profundidad del manto - freático	Metros
Navegación	Capacidad del canal de - navegación	Toneladas por año
Energía hidroeléctrica	Capacidad instalada	Kilowatts
Abastecimiento de agua	Volúmenes de agua distribuidos	hm <sup>3</sup> anuales
Recreación	Capacidad instalada	Número de visitantes por día
Control de la calidad del agua	Reducción de la contaminación	Partes por millón

resultados de los pasos previos, se elige el sistema que mejor alcance los objetivos propuestos.

*GENERACION DE SISTEMAS ALTERNATIVOS.* Una alternativa ingenieril es un curso de acción físicamente capaz de alcanzar un objetivo deseado. Es necesario definir adecuadamente las propuestas e incluir todas las posibilidades de acción —contemplando también el caso de no realizar ninguna—, a fin de tener una verdadera oportunidad de establecer un óptimo.

Para la generación de alternativas en la referencia ( 5 ) se sugieren dos caminos. El primero se refiere al intento deliberado de ejercitar la imaginación para identificar todos los tipos relevantes de solución. Esto quizá solo es una recomendación a ser creativo, para lo cual no hay método. El segundo consiste en una definición exhaustiva de las posibilidades que un tipo de solución ofrece.

*DEPENDENCIA ENTRE ALTERNATIVAS.* A continuación, una vez definidos todos los cursos de acción, es necesario identificar su nivel de dependencia para elegir el tipo de análisis procedente. Las alternativas de un grupo son dependientes si están relacionadas de tal manera que al realizar alguna de ellas se modifican las posibilidades de aceptación de las restantes. Así, las alternativas serán mutuamente exclusivas si la aceptación de una de ellas excluye la aceptación de las otras que forman el grupo, o serán contingentes si sus posibilidades de realización depende de la acepta---

ción previa de una determinada propuesta. La selección de una alternativa independiente no afecta la elección de otras opciones.

*EFECTOS DE LAS ALTERNATIVAS.* Un sistema hidráulico es un medio de producción que transforma un conjunto de recursos ( insumos ), en formas más útiles al hombre ( productos ), por lo que cada alternativa generará, si se realiza, una corriente de efectos físicos aunada a una serie de consecuencias intangibles. En otras palabras, un proyecto de recursos hidráulicos se construye a fin de obtener beneficios tales como la reducción de daños causados por la ocurrencia de avenidas, la dotación de agua para la irrigación de tierras cultivadas o la generación de energía hidroeléctrica, y para ello se emplea un conjunto de insumos como son la tierra, el concreto, el acero y el escurrimiento de los ríos. En la práctica, se identifica a los insumos a través de los productos intermedios —presas, canales, diques, etc.— en lugar de los elementos constructivos, a fin de facilitar su tratamiento.

Por su parte, las consecuencias intangibles no son cuantificables —en términos de dinero, por ejemplo—, por incidir en aspectos humanos subjetivos o por alterar su ámbito. No obstante, deben contemplarse en el proceso de decisión para determinar la factibilidad social y política del proyecto. Ejemplos de esto son la alteración de las condiciones que afectan la salud pública, la preservación de los sitios de interés histórico, cultural y científico, así como las vistas escénicas de belleza natural única.

*FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONOMICA DE LOS SISTEMAS.* En general, la prueba de la factibilidad técnica consiste en determinar si es físicamente posible llevar a cabo un proyecto o sistema. Si lo es, cae en lo que se denomina la región tecnológicamente factible. Cabe hacer notar que sólo los sistemas que alcanzan el máximo producto con la mínima inversión de insumos deben considerarse en la determinación del sistema óptimo.

Por su parte, la prueba de la factibilidad económica consiste en seleccionar la mejor opción, y para ello se requiere de un criterio que asigne un valor escalar —condición necesaria para jerarquizar— a cada una de las alternativas propuestas. Con ese fin, la ingeniería de sistemas se apoya en las técnicas propias de la evaluación económica. En el siguiente capítulo se describirán brevemente dichas técnicas, por el momento baste saber que se ha establecido el orden de preferencia de los sistemas hidráulicos técnicamente factibles y que se ha identificado el mejor, todo desde el punto de vista económico.

*SELECCION DEL SISTEMA OPTIMO.* A la luz de los resultados obtenidos en el paso anterior, se ponderan las consecuencias intangibles de las mejores alternativas y se determina un óptimo. En este caso, el sistema seleccionado será el que más se aproxime a los objetivos globales del proyecto, con el menor consumo de recursos naturales, económicos y humanos, y cuyas consecuencias intangibles adversas sean mínimas.

*CUERPO DUCTOR.* Hasta aquí, la ingeniería de sistemas ha

identificado el mejor sistema desde el punto de vista puramente analítico. - La decisión final la tomará el funcionario o grupo responsable de la toma de decisiones y que ponderará los efectos totales desde otros ángulos. De ahí que el último paso de dicha rama de la ingeniería consiste en comunicar los resultados relevantes al cuerpo decisor en el que se delinearán alguna de estas tres conclusiones: 1 ) un sistema específico resuelve el problema; - - - 2 ) se requiere de trabajos adicionales de campo o de laboratorio, antes de llegar a una conclusión justa y; 3 ) dentro del marco económico y tecnológico actual no debe continuarse con el proyecto.

## CAPITULO III

### ANALISIS BENEFICIO-COSTO

#### 3.1 ) Evaluación de proyectos

Habida cuenta de que la ejecución de cualquier proyecto utilizará una serie de recursos inherentemente escasos para generar un conjunto de bienes y servicios, es necesario asignar los recursos de manera que el beneficio neto esperado con ello sea el máximo posible y que, además, éste sea lo suficientemente grande para justificar dicha utilización.

La evaluación económica es un método aplicable a un grupo de alternativas, que valora los costos (recursos consumidos) y los beneficios (bienes y servicios generados) asociados a cada una de ellas y los reduce a una base de comparación común —un valor escalar—. La magnitud de estas cifras reflejará los méritos relativos a cada propuesta, lo que a su vez permitirá establecer un orden de preferencia y concluir si es conveniente y oportuno, desde el punto de vista económico, realizar alguna de las alternativas.

Conviene aclarar que la evaluación económica es una técnica que proporciona un elemento de juicio más (se considera que

muy efectivo), dentro del marco global en que han de tomarse en cuenta todos los aspectos de un proyecto propuesto, para la toma de decisiones sobre su ejecución. A continuación se describen algunos conceptos básicos.

*BENEFICIOS Y COSTOS.* Dado que interesa saber cuál es la mejor propuesta para su realización futura, es necesario estimar la corriente de efectos que produciría cada alternativa si se ejecuta. Tales efectos pueden separarse en dos grupos. Al primero corresponden los expresables en términos monetarios —beneficios y costos, materia del análisis económico—, mientras que en el segundo se incluyen los que, aún cuando tuvieran algún valor en dinero, dependen de otros factores intangibles.

Los beneficios y los costos sólo pueden ser evaluados con respecto a los objetivos propuestos. Los beneficios medirán la efectividad del proyecto en el logro de los objetivos mientras que los costos reflejarán el valor de los recursos consumidos para alcanzar esas metas, y tanto unos como otros deben preverse e identificarse por su monto y tiempo esperado de ocurrencia. Ahora bien, debido a que los proyectos normalmente tendrán diferente duración y sus corrientes de beneficios y costos futuros adoptarán distintas formas, para poder comparar estos valores entre sí, es necesario determinar el valor presente de dichas corrientes mediante su actualización.



ACTUALIZACION. Cuando se invierte dinero se está sacrificando la oportunidad inmediata de emplearlo en otras opciones, de manera que se debe compensar al inversionista y la forma usual de hacerlo es mediante el pago de intereses —normalmente fijados por medio de una tasa de interés, definida como un porcentaje del capital por unidad de tiempo—. Durante este proceso el capital —crece debido a los intereses reinvertidos en cada ciclo —interés compuesto—, de tal forma que el nuevo monto de intereses se paga sobre la base de un nuevo capital, siendo éste mayor que el propio del lapso anterior. Al capital invertido o recibido hoy se le conoce como valor presente y al nuevo capital alcanzado al final de cada uno de los siguientes períodos se le identifica como valor futuro.

De lo anterior se concluye que cantidades iguales —de dinero tienen distinto valor en diferentes tiempos, por lo que es necesario determinar el cambio de valor del dinero a través del tiempo, para lo cual se dispone de dos técnicas: la capitalización y la actualización. La primera permite calcular el valor futuro —equivalente que alcanzará, al cumplimiento de los períodos establecidos, una cantidad de dinero invertida hoy —valor presente—, a la tasa de interés considerada. La actualización se refiere al proceso inverso; es decir, mediante su aplicación se determina el —valor presente equivalente a una cantidad de dinero que tendrá lugar después de cierto número de períodos —valor futuro—, a una —

tasa que, por similitud, se le denomina tasa de actualización, también definida como un porcentaje por unidad de tiempo. En el Cuadro ( 3.1.1 ) se muestran las fórmulas más comunes para la capitalización y actualización de los flujos.

A fin de establecer la conveniencia económica de llevar a cabo un proyecto, será necesario reducir a valor presente tanto el flujo futuro de beneficios como el flujo futuro de costos mediante la actualización, para lo cual se utilizará el costo de oportunidad del capital como tasa de actualización. El costo de oportunidad del capital podría definirse como la tasa interna de retorno correspondiente al último proyecto --denominado proyecto marginal-- incluido en el programa óptimo de inversión de un país y reflejará tanto la oferta de los recursos de inversión disponibles como las oportunidades de inversión con que se cuenta.

### 3.2 ) Indicadores económicos de evaluación

Una vez cuantificados convenientemente los beneficios y costos de los proyectos se reducen a una base de comparación común, determinando un valor escalar que refleje esos efectos. Para la evaluación de los proyectos de recursos hidráulicos, las medidas más frecuentemente empleadas son la relación beneficio-costos (B/C), el valor presente de los beneficios netos (VPBN) y la tasa - - -

CUADRO ( 3.1.1 )

FACTORES DE INTERÉS COMPUESTO DISCRETO

HALLAR	DADO	FACTOR	NOMBRE DEL FACTOR	SÍMBOLO FUNCIONAL DEL FACTOR
<u>Para pagos únicos</u>				
Valor futuro (F)	Valor presente (P)	$( 1 + i )^n$	Monto compuesto, pago único	( F/P, i%, n )
Valor presente (P)	Valor futuro (F)	$\frac{1}{( 1 + i )^n}$	Valor presente, pago único	( P/F, i%, n )
<u>Para series uniformes de pagos</u>				
Valor futuro (F)	Anualidad ( A )	$\frac{( 1 + i )^n - 1}{i}$	Monto compuesto, serie uniforme	( F/A, i%, n )
Valor presente (P)	Anualidad ( A )	$\frac{( 1 + i )^n - 1}{i( 1 + i )^n}$	Valor presente, serie uniforme	( P/A, i%, n )
Anualidad (A)	Valor futuro (F)	$\frac{i}{( 1 + i )^n - 1}$	Fondo de amortización	( A/F, i%, n )
Anualidad (A)	Valor presente (P)	$\frac{i( 1 + i )^n}{( 1 + i )^n - 1}$	Recuperación del capital	( A/P, i%, n )

CLAVE: i = tasa de interés por período  
n = número de períodos

interna de retorno (TIR).

RELACION BENEFICIO-COSTO. Como su nombre lo indica, es el cociente que resulta de dividir el valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos. Expresado matemáticamente, la relación beneficio-costos de un proyecto con vida útil de T años, a una tasa de actualización i, está dada por:

$$B/C = \frac{\sum_{n=1}^T B_n / (1+i)^n}{\sum_{n=1}^T C_n / (1+i)^n}$$

Para la aplicación correcta de este método, deben seguirse tres reglas:

- 1 ) Todas las relaciones beneficio-costos se calculan usando la misma tasa de actualización.
- 2 ) Todas las alternativas se comparan sobre el mismo período de análisis.
- 3 ) Se determina la relación beneficio-costos para todas las alternativas. Se aceptan todas las alternativas que tengan una relación beneficio-costos mayor que la unidad. Se rechazarán las restantes.

VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS NETOS. Otra medida que permite hacer comparaciones entre diferentes proyectos, es un índice que refleja las diferencias entre los beneficios y los costos actualizados de cada propuesta. Este índice es el valor presente de los beneficios netos y la expresión matemática que lo define para un proyecto con T años de vida útil, a una tasa de actualización  $i$ , es:

$$VPBN = \sum_{n=1}^T \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n}$$

Las reglas que deben seguirse para la correcta aplicación de este criterio son:

- 1 ) Se calculan todos los valores actualizados al mismo año base.
- 2 ) Se determina el valor presente utilizando la misma tasa de actualización.
- 3 ) Se refieren todos los valores actualizados al mismo período de análisis.
- 4 ) Se calcula el valor presente neto de todas las alternativas. Se aceptan las que tengan un valor neto positivo. Se rechazarán las restantes.

*TASA INTERNA DE RETORNO.* Una medida del valor de una propuesta que representa la rentabilidad media del dinero utilizado durante la vida útil de un proyecto es la tasa interna de retorno y se la define como la tasa de actualización que reduce a cero el valor presente neto de la corriente de beneficios y costos del proyecto. De la misma forma, la tasa interna de retorno  $i^*$ , de la propuesta con T años de vida útil, es aquella que satisface la ecuación.

$$\sum_{n=1}^T \frac{B_n - C_n}{(1+i^*)^n} = 0$$

Las reglas de decisión para la correcta aplicación de este método son:

- 1 ) Se comparan todas las alternativas sobre el mismo período de análisis.
- 2 ) Se determina la tasa interna de retorno de todas las alternativas. Se aceptan aquellas cuya tasa sea mayor que la mínima aceptable. Se rechazarán las restantes

*ALTERNATIVAS MUTUAMENTE EXCLUSIVAS.* La selección de la mejor opción de un grupo de alternativas mutuamente exclusivas —aquella que, como ya se indicó, en caso de aceptarla elimina a las restantes del grupo— se realiza sobre la base de otros

análisis cuando se utiliza como criterio la relación beneficio-costo y la tasa interna de retorno. La secuencia de selección es la misma, por lo que se describirá para ambos casos.

- 1 ) Se ordenan todas las alternativas del grupo en función de su costo, de menor a mayor.
- 2 ) Se calcula el índice económico de evaluación correspondiente al incremento que hay entre dos alternativas consecutivas. En este caso se denomina relación beneficio-costo marginal y tasa interna de retorno marginal.
- 3 ) Una vez determinado el índice marginal de todos los incrementos, la selección se hará sobre las alternativas cuya relación beneficio-costo marginal es mayor que la unidad, o bien cuya tasa interna de retorno marginal es superior al costo de oportunidad del capital. Se desechan las alternativas restantes.
- 4 ) La mejor alternativa es la que tiene mayor costo y que cumple con la condición anterior.

### 3.3 ) Comparación de las ordenaciones hechas según los índices descritos

Si se toma el costo de oportunidad del capital como tasa de actualización o de rendimiento mínimo aceptable, en cualquier conjunto de proyectos posibles las tres medidas actualizadas del valor de los proyectos que se han estudiado determinarán

exactamente el mismo grupo de proyectos como aptos para su ejecución, aunque los que se excluyan mutuamente tendrán que someterse a otras comprobaciones si se utiliza el criterio de la relación beneficio-costo o el de la tasa interna de retorno. Ni el criterio de la relación beneficio-costo ni el del valor presente de los beneficios netos son seguros para establecer un orden entre los proyectos admitidos; el criterio formal de elección se limita a decir en esos casos que se acepte todo el grupo. Sin embargo la tasa interna de retorno puede utilizarse para clasificar los proyectos dentro del grupo. Para ello, se ordenan utilizando su TIR, de mayor a menor, de manera que los mejores proyectos para llevar a cabo serán aquéllos cuya tasa interna de retorno es superior al costo de oportunidad del capital.

En el Cuadro (3.3.1) se comparan, en forma tabular, algunas diferencias entre la relación beneficio-costo, el valor presente de los beneficios netos y la tasa interna de retorno, descritas en (6).



CUADRO ( 3.3.1 )

\* COMPARACION DE LAS MEDIDAS ACTUALIZADAS DEL VALOR DE LA INVERSION

ASPECTO	RELACION BENEFICIO COSTO (B/C)	VALOR PRESENTE DE LOS BENEFICIOS NETOS (VPN)	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)
1. Criterio de decisión.	Aceptar todos los proyectos en que la relación B/C sea 1 o mayor que 1, utilizando el costo de oportunidad del capital.	Aceptar los proyectos cuyo VPN es positivo, una vez actualizado al costo de oportunidad del capital.	Aceptar todos los proyectos cuya TIR superior al costo de oportunidad del capital, comenzando por el de mayor TIR.
2. Ordenación.	Puede inducir a una clasificación errónea de los proyectos que no se excluyan mutuamente, si las relaciones entre los rendimientos brutos y los costos de explotación son considerablemente diferentes.	No facilita clasificación alguna para establecer un orden de ejecución.	Facilitará la clasificación correcta de los proyectos que no se excluyan mutuamente.
3. Proyectos que se excluyan mutuamente.	Puede inducir a una elección errónea, si no se realiza el análisis marginal ya descrito.	Normalmente facilitará la elección correcta si se aceptan los proyectos de mayor VPN, actualizado al costo de oportunidad del capital.	Puede inducir a una elección errónea, si no se realiza el análisis marginal ya descrito.
4. Elección de la tasa de actualización.	Habrá que convenir una tasa de actualización apropiada para todos los proyectos. Si se utiliza el costo de oportunidad del capital, habrá que determinarlo.	Habrá que convenir una tasa de actualización apropiada para todos los proyectos. Si se utiliza el costo de oportunidad del capital, habrá que determinarlo.	Determinada internamente. Debe definirse el costo de oportunidad del capital sólo para usarlo como valor mínimo aceptable en las comparaciones.

## CAPÍTULO IV

### OPTIMALIDAD DE UN PROYECTO

#### 4.1 ) Teoría de la producción

Como se ha observado, un proyecto de recursos - - - hidráulicos es un sistema de producción que permite transformar una serie de insumos a productos requeridos por un país. Las condiciones de optimalidad que debe satisfacer un proyecto, permitirán definir las combinaciones y niveles más adecuados de los insumos consumidos y los productos generados por él. A fin de poder derivar - - - dichas condiciones, haremos uso de la teoría sobre la producción - - - desarrollada por los economistas.

En Economía se define a la producción como cualquier actividad destinada a convertir recursos, con formas y localizaciones dadas, en otros recursos de formas y localizaciones más - - - útiles, cuyo objeto puede ser incrementar la producción o aumentar los bienes de consumo. En esta definición la palabra "localización" debe entenderse en el sentido tetradimensional, incorporando el - - - tiempo a las tres coordenadas espaciales. Esta cuarta dimensión es particularmente importante en los proyectos de recursos hidráulicos, que tienen como uno de sus propósitos primarios el mejorar la disponibilidad del agua en el tiempo (7).

Por su propia naturaleza, los insumos que utiliza un proyecto de recursos hidráulicos son de dos tipos; el capital - requerido para la producción y la materia prima necesaria. El primero de ellos está formado por los materiales constructivos, la fuerza de trabajo del hombre y una gran diversidad de maquinaria y equipo. Al segundo tipo corresponden los recursos naturales, como son el agua y la tierra.

Los productos generados pueden ser la reducción de daños causados por la ocurrencia de avenidas, el abastecimiento de aguas para fines agrícolas, industriales y municipales, la generación de energía hidroeléctrica, la navegación y una gran variedad de facilidades recreativas y estéticas.

Considerando la composición tan variada de los insumos y de los productos, éstos pueden representarse por medio de vectores cuyas coordenadas reflejarán la magnitud de cada uno de sus conceptos, de manera que los valores totales de ambos vectores estarán dados por la suma de los elementos que los forman; es decir, se tiene que

$$X = \sum_{i=1}^n x_i$$

$$Y = \sum_{j=1}^m y_j$$

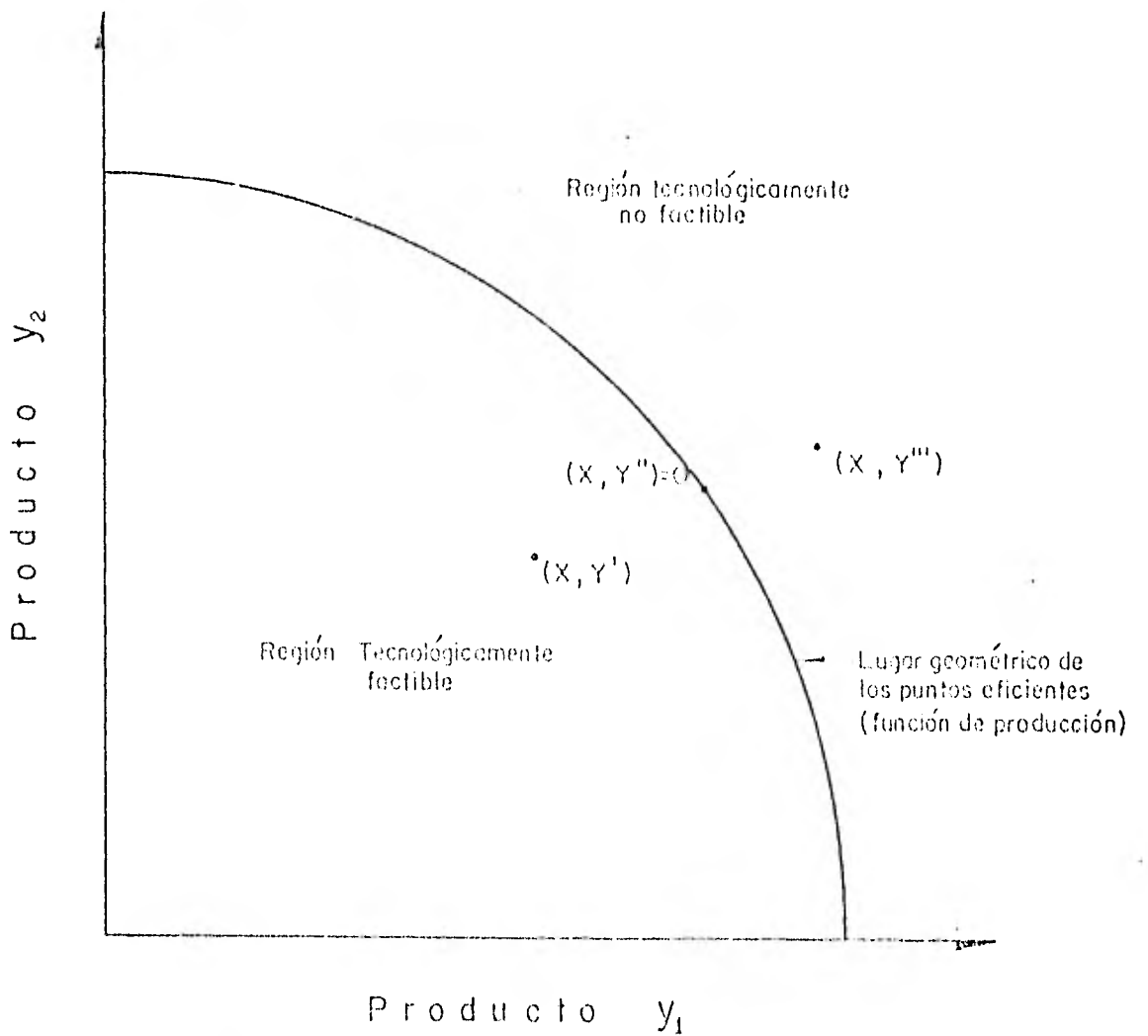
(4.1)

donde  $X$  e  $Y$  son los vectores totales de los  $n$  insumos  $x_i$  y de los  $m$  productos  $y_j$ , respectivamente. Cabe hacer notar que para facilitar el tratamiento del vector de insumos se definen sus coordenadas en función de los productos intermedios (prensas, bordos, canales), en lugar de los elementos constructivos requeridos (tierra, acero, concreto) y que, durante la planeación de un proyecto, cada uno de los conceptos de ambos vectores son sólo una estimación, en magnitud y tiempo esperado de ocurrencia, de los valores que alcanzarán.

#### 4.2 ) Función de producción

Dada una serie de insumos, puede crearse un esquema productivo que generaría toda una gama de productos --inclusive ninguno--, hasta alcanzar un límite a partir del cual no es posible obtener una mayor producción. Todas aquellas combinaciones de productos que sí se pueden alcanzar, se dice que están dentro de la región tecnológicamente factible. Algunos puntos de esta región, llamados eficientes, asocian al conjunto de insumos dado con la máxima producción generable con ellos. Como puede verse en la Gráfica -- (4.2.1), el lugar geométrico de los puntos eficientes está determinado por el límite exterior de la región tecnológicamente factible y la función de producción en la representación matemática de esta línea.

Gráfica (4.2.1)  
FUNCION DE PRODUCCION



Combinación de productos ( $Y$ ) obtenidos a partir de una cantidad fija de insumos ( $X$ )

La importancia de esta función es que resume los - datos tecnológicos de un problema e incorpora todos los planes de diseño y de operación que son practicables y económicos. Por tanto —habida cuenta de que asocia a los vectores totales de insumo con los de producto— al tomar los términos izquierdos de ambos vectores, la función de producción se puede representar mediante la - - siguiente expresión:

$$f(X, Y) = 0 \quad (4.2)$$

EJEMPLO.- Se tiene una presa de almacenamiento con capacidad útil - fija e igual a  $X$ , construida sobre un río cuyo régimen de escurri-- miento, una vez regulado, es suficiente para obtener cualquier combinación dos productos —tales como la generación de energía eléc-- trica ( $y_1$ ) y el riego ( $y_2$ )—, y que por ello pertenece a la región tecnológicamente factible. Como se observa en la gráfica anterior, es obvio que el nivel de producción en el punto  $(X, Y')$  es bajo e - ineficiente, ya que con los mismos insumos ( $X$ ) es posible obtener - una mayor cantidad de ambos productos, hasta alcanzar un límite - - —como en  $(X, Y'')=0$ — en el cual resulta imposible generar más ener-- gía sin tener que disminuir el riego y viceversa; por lo que este punto es eficiente y pertenece a la función de producción. Asimismo se concluye que, con los insumos indicados, no es factible alcanzar el nivel de producción definido por  $(X, Y''')$ .

#### 4.3 ) Función objetivo

A fin de poder seleccionar, de entre los planes con tenidos en la función de producción, el mejor curso de acción que - conviene adoptar en un proyecto, es necesario derivar —a partir de los objetivos que se pretenden alcanzar— un criterio que determine

la deseabilidad de cada uno de esos planes. Para ello, se considerará que los resultados de cualquier plan pueden medirse a través de sus correspondientes vectores de insumos y productos  $(X, Y)$ . Esto es, si se conocen las cantidades de todos los insumos y productos que utilizará y generará ese plan (incluyendo sus fechas de ocurrencia, cuando esto sea necesario), entonces puede valorarse la deseabilidad del mismo; sin importar, en este caso, la manera precisa en la que los insumos se convierten en productos.

Habida cuenta de que los planes contenidos en la función de producción no se pueden ordenar de acuerdo con la magnitud de sus vectores de insumos y productos, el criterio de jerarquización consistirá en asignar, necesariamente, un valor escalar a cada uno de los planes. De esta manera puede construirse una función escalar de esos vectores, denominada función objetivo, función de beneficios netos o función de utilidad, cuya representación matemática sería:

$$U = u(X, Y) \quad (4.3)$$

donde la letra u se emplea para denotar utilidad. Este criterio permitirá establecer el ordenamiento de todos los planes —incluyendo la posibilidad de que dos o más planes pudieran ser indiferentes entre sí—, de manera que los mayores valores de la función estarán asociados a los planes más deseables.

La función objetivo es, de hecho, una medida de la capacidad que tiene un plan para alcanzar los diversos objetivos - contemplados en un proyecto. Ahora bien, tomando en cuenta que la valoración de dicha capacidad depende de la magnitud de los insumos y productos relativos a ese plan, una función objetivo general sería:

$$U = \sum_{j=1}^m B_j y_j - \sum_{i=1}^n C_i x_i \quad (4.4)$$

donde  $B_j$  se refiere a las unidades de beneficio obtenidas con el producto  $y_j$ , mientras que  $C_i$  se refiere a las unidades de costo derivadas de la utilización del insumo  $x_i$ . Las dificultades que entraña el decidir sobre los objetivos por alcanzar mediante un proyecto de recursos hidráulicos y el idear una función objetivo que mida sus logros, han sido analizados por James, Lee, Maass y otros.

EJEMPLO.- Tomando como referencia el caso expuesto en el ejemplo anterior —donde se disponía de una presa con capacidad útil  $X$  para generar energía eléctrica ( $y_1$ ) y proporcionar riego ( $y_2$ )—, una función de producción plausible sería maximizar el valor presente de los beneficios netos ( $B$ ) que se alcanzaría con esa obra, esto es

$$\max B = B_1 y_1 + B_2 y_2 - CX$$

donde  $B_1$  y  $B_2$  se refieren al valor presente, de los beneficios derivados de las unidades de energía y riego producidas, mientras que  $C$  se refiere a la inversión actualizada necesaria para construir la presa con capacidad  $X$ . Conviene recordar que la combinación



de productos ( $y_1$ ,  $y_2$ ) debe pertenecer a la función de producción.

#### 4.4 ) Curvas de beneficios y costos

La evaluación económica de las alternativas de producción se basa en la variación del costo de producción relacionado con los niveles de producción (llamada curva de costo total), y en la variación de los beneficios derivados de esos productos (llamada curva de beneficio total). La curva de beneficio total se obtiene al sumar el valor de los bienes recibidos por los usuarios de los productos.

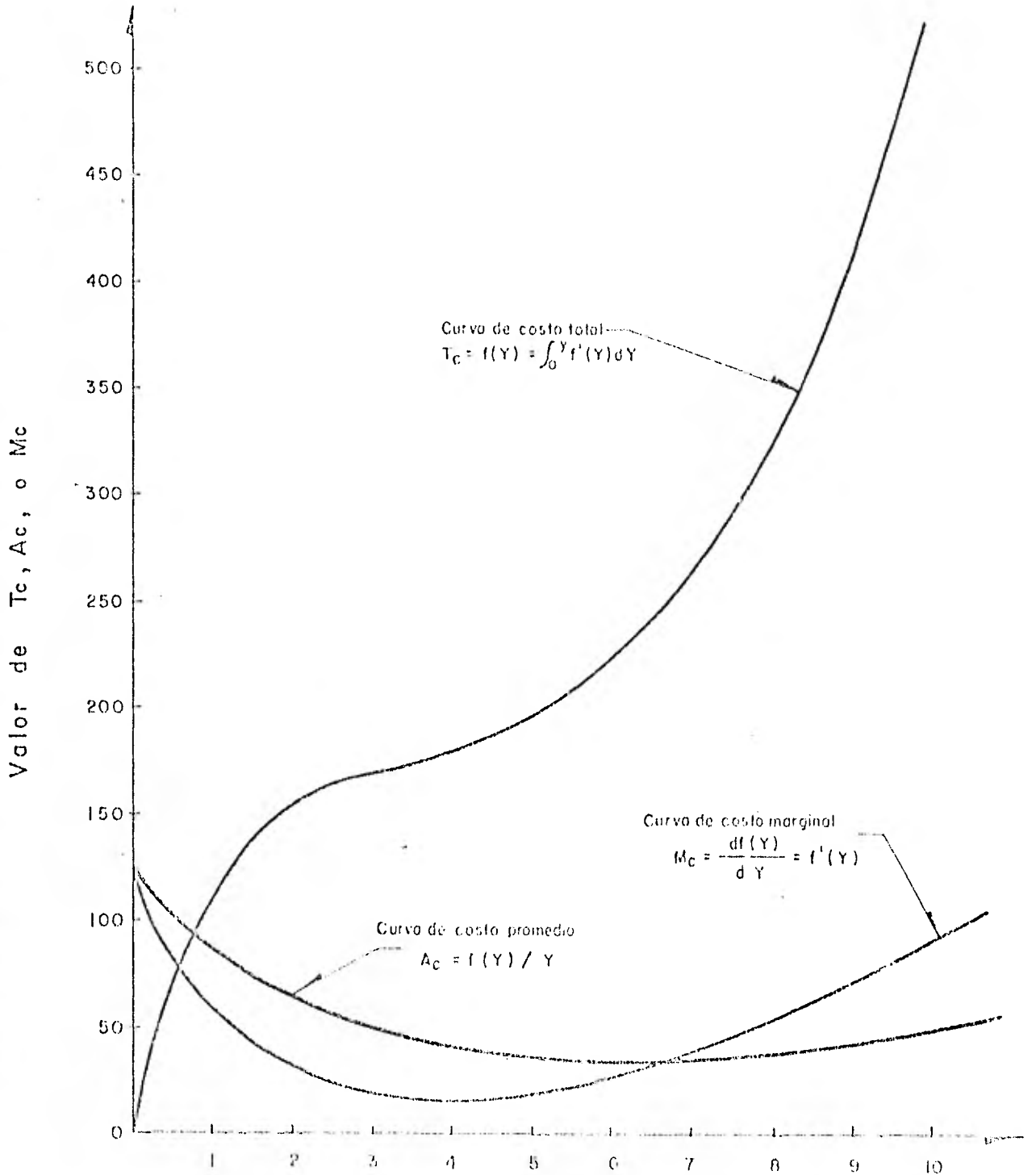
El costo total está formado por costos fijos y costos variables. Los costos fijos permanecen constantes e indiferentes al nivel de producción, incluyen los cargos por las instalaciones fijas y otros costos generales. Los costos variables son función del nivel de producción, incluyen los costos de mano de obra y materiales, los cuales suelen incrementarse de acuerdo al nivel de producción. Los costos marginales se obtienen a partir de los costos variables y se usan para definir el nivel óptimo de producción. Los costos fijos no influyen en los marginales y, por tanto, tampoco sobre el nivel óptimo de producción, pero sí influyen en que los beneficios totales excedan o no a los costos totales, es decir, en la decisión de construir las obras.

Las curvas de costo o beneficio promedio se obtienen de las curvas de costo o beneficio total, al dividir el valor total entre el nivel de producción. Como puede apreciarse en la Gráfica (4.4.1), las curvas de costo promedio generalmente presentan forma de U, se decrecientan al principio debido a las economías de escala, que son reducciones en los costos unitarios de producción resultantes de incrementos en el tamaño del sistema productivo y del volumen de producción. Al aumentar el volumen de producción los costos medios se incrementan nuevamente debido a deseconomías de escala, que pueden ser causadas por las dificultades para dirigir una gran empresa o por los incrementos inducidos en el precio de los insumos al requerirlos en grandes cantidades.

En la construcción de presas de almacenamiento - - gran parte de los costos fijos se originan en la capacidad requerida para azolves, en las estructuras vertedoras que permitan el paso de gastos extraordinarios, en los caminos de acceso, obras de desvío y otras estructuras menores. Las deseconomías de escala se presentan cuando los almacenamientos son demasiado grandes, y provienen principalmente de que los volúmenes extraídos son decrecientes, asociados a tamaños de presa crecientes por cada volumen adicional almacenado.

Las curvas de beneficio o costo marginal representan la pendiente de las curvas de beneficio o costo total. La - -

### Gráfica (4.4.1) CURVAS DE COSTO



pendiente representa el cambio en costo o beneficio total asociado a un cambio unitario en la producción. Dado que una empresa no producirá una unidad extra a menos que el precio exceda al costo marginal, la rama ascendente de la curva de costo marginal es una curva de oferta. Así mismo, un comprador no hará una adquisición a menos que ésta le reporte un beneficio superior al costo, por lo que la curva de beneficio marginal es una curva de demanda.

Los valores totales de beneficio o costo pueden obtenerse fácilmente de las curvas marginales, el área bajo la curva marginal y a la igualdad de una unidad en cualquiera, resulta ser igual a la ordenada de la curva total. En el punto más bajo de la curva promedio, son iguales los valores marginal y promedio. Una curva marginal de beneficio o costo se hallará por debajo de una curva promedio descendente, a fin de que se produzca dicho descenso. En caso contrario, la curva marginal se localizará por arriba de la curva promedio, cuando esta última es ascendente. Por lo tanto, en general, también las curvas marginales tienen forma de "u", pero más desplazadas al origen que las curvas promedio.

#### 4.5 ) Condiciones de equidad

Siempre se cuenta de que, para cualquier combinación de impuestos, la función de producción es continua y los planes de

mayor productividad y que la función objetivo refleja la deseabilidad, en términos monetarios, de dichos planes, entonces, al analizar conjuntamente ambas relaciones, procederemos a identificar el plan que generará el máximo beneficio neto. Para ello, a continuación se derivarán geométricamente las condiciones necesarias que debe satisfacer dicho plan.

*CONDICIÓN DE OPTIMALIDAD I. COMBINACIÓN DE INSUMOS.* El proceso productivo óptimo debe utilizar la combinación de insumos de mínimo costo, capaz de alcanzar un nivel de producción dado. Tal combinación se puede obtener a partir del uso de líneas de igual nivel de producción (llamadas *isocuantas*) y de líneas de igual costo o presupuesto (denominadas *isocostos*). Para facilitar la descripción de este análisis, se estudiará un problema de dos dimensiones, donde las frecuencias muestran las diversas combinaciones de los dos insumos considerados que generan la misma cantidad de producto. Las frecuencias mostradas en la gráfica (4.5.1) indican las posibles combinaciones de los insumos  $x_1$  y  $x_2$  requeridos para obtener el mismo nivel de producción ( $y_1$ ). La combinación más eficiente dependerá de los precios unitarios de los insumos utilizados.

Las líneas de insumos mostradas en la Gráfica (4.5.2), indican la combinación de insumos que se puede adquirir con un presupuesto de producción o costo dado. Si el presupuesto de

Gráfico (4.5.1)

## ISOCUANTAS

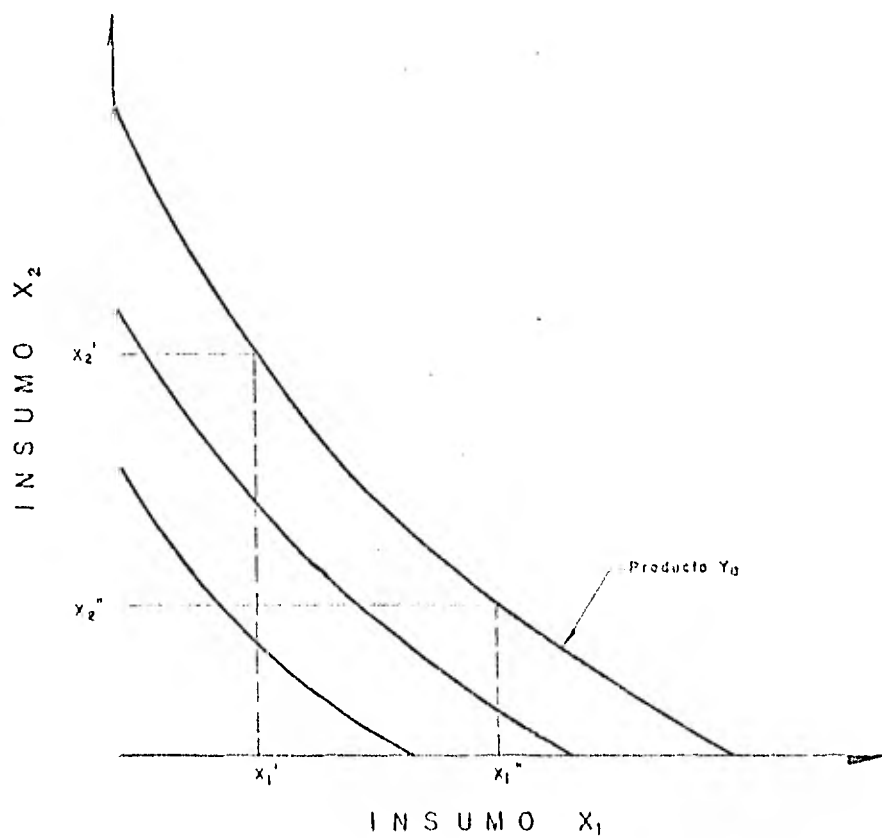
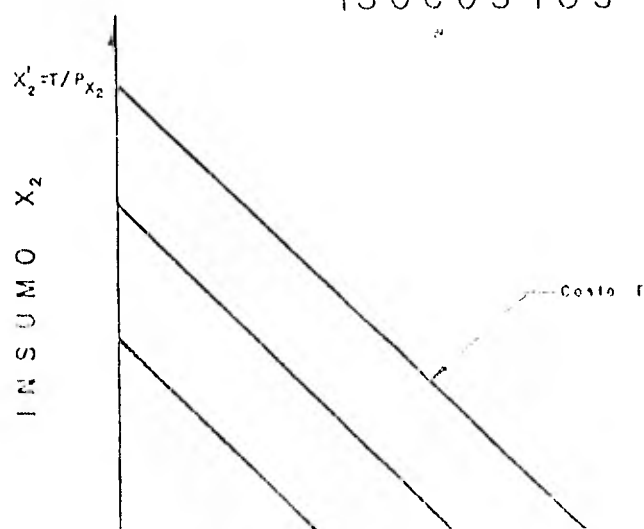


Gráfico (4.5.2)

## ISOCOSTOS



producción es  $T$ , el precio de  $x_1$  es  $P_{x_1}$ , y el precio de  $x_2$  es  $P_{x_2}$ , se tiene que

$$T = P_{x_1} x_1 + P_{x_2} x_2 \quad (4.5)$$

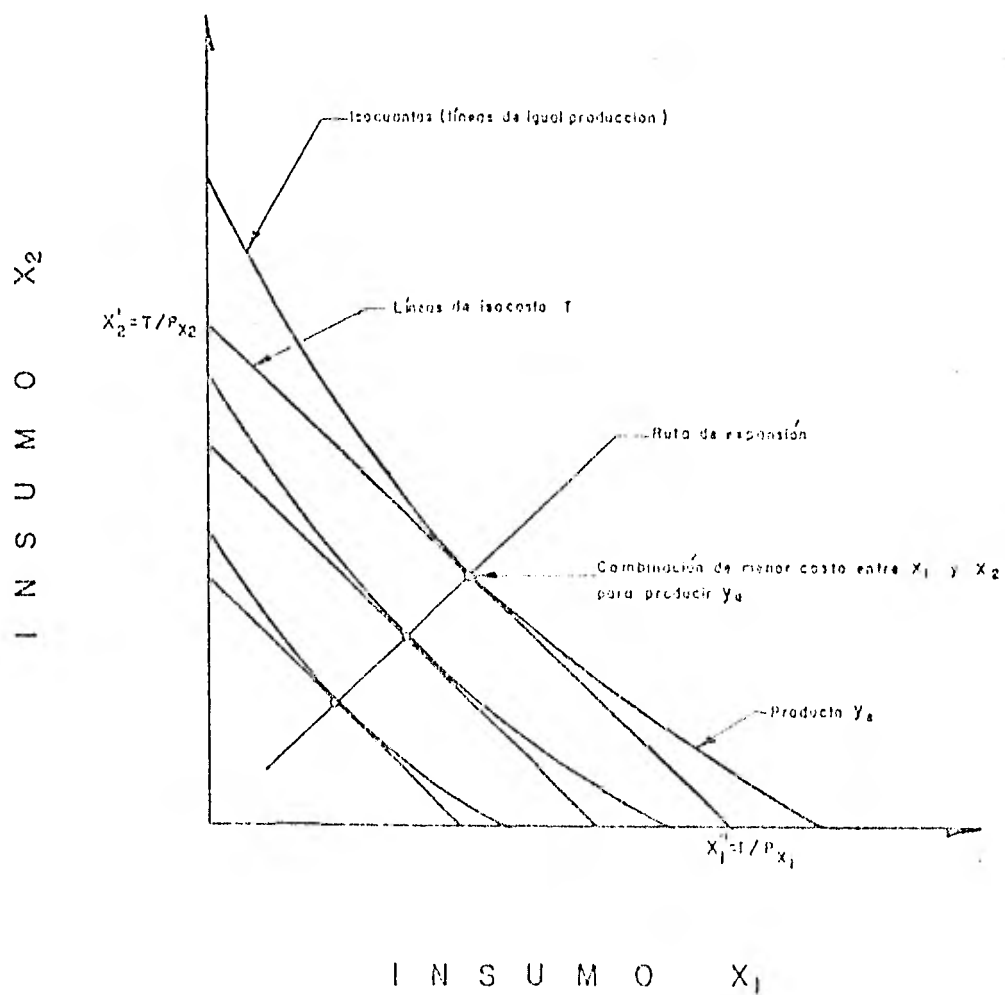
que es la ecuación de una línea recta con pendiente igual a  $P_{x_1} / P_{x_2}$ .

De entre todas las combinaciones de insumos que permitan alcanzar el mismo nivel de producción, debe elegirse la de menor costo, situación que ocurre donde la línea de isocostos (con pendiente igual a  $P_{x_1} / P_{x_2}$ ) es tangente a la isocontorno, cuya pendiente es igual a la llamada tasa marginal de sustitución de  $x_2$  por  $x_1$  ( $TMGS_{x_2x_1}$ ), por consiguiente,

$$TMGS_{x_2x_1} = \frac{P_{x_1}}{P_{x_2}} \quad (4.6)$$

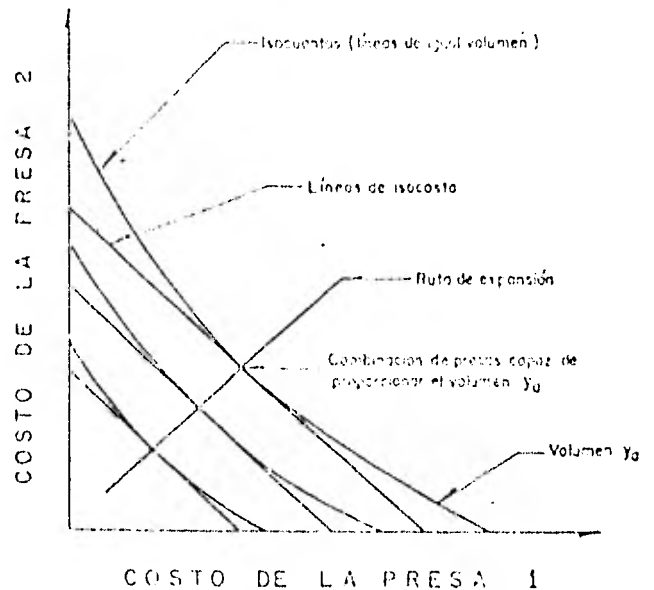
En la gráfica (4.5.3) se muestra la intersección de varias líneas de isocostos, con otras tantas de isocostos. La línea AB, donde están contenidas los puntos de tangencia, es llamada ruta de expansión, y es el lugar geométrico de las combinaciones de insumos de mínimo costo para varios niveles de producción total.

Gráfico (4.5.3)  
 RUTA DE EXPANSION



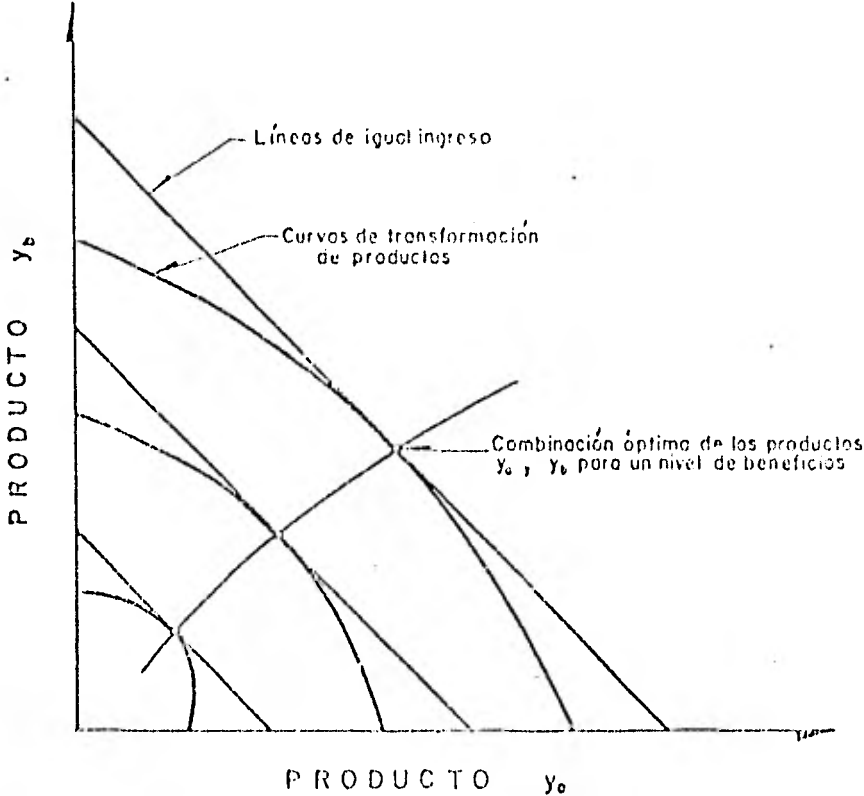


EJEMPLO.- El caso de la combinación de insumos es típico de dos presas destinadas a un sólo producto, de manera que los insumos corresponden a las presas y el producto al volumen de extracción. Tal como en la figura, si se considera el costo de las presas como insumo, en lugar de su capacidad o altura, la línea de isocostos es una recta a  $135^\circ$ . Las isocuantas se forman con todas las combinaciones de presas que proporcionan el mismo volumen y la ruta de expansión es la relación que asocia a cada nivel de extracción con la combinación de menor costo.



CONDICION DE OPTIMALIDAD 2: COMBINACION DE PRODUCTOS. Con dos productos, tales como abastecimiento de agua para riego y generación de energía eléctrica, la producción total debe dividirse entre ambos para maximizar los beneficios. Se puede empezar el análisis graficando, sobre ejes coordenados que representen los dos productos  $y_a$  y  $y_b$ , cada una de las familias de curvas que muestran las combinaciones de productos que pueden obtenerse a un costo dado —Gráfica (4.5.4)—. Cada curva indica todas las combinaciones de los productos  $y_a$  y  $y_b$  que pueden producirse por la suma indicada y es llamada curva de transformación-producto que, para moverse a lo largo de ella, un producto debe incrementarse mientras que el otro se reduce. La pendiente de la curva de transformación-producto es llamada la tasa marginal de transformación

Gráfico (4.5.4)  
COMBINACIONES OPTIMAS  
DE PRODUCTOS



$(TMgT_{Y_a Y_b})$ .

En la misma gráfica se muestra la familia de líneas paralelas, llamadas de isoingreso, que relaciona las diversas combinaciones de productos con las que se obtiene el mismo nivel de ingresos o beneficios, y su pendiente es igual al cociente de los precios de esos productos  $(P_{Y_a} / P_{Y_b})$ .

La combinación óptima de productos alcanza un volumen fijo de beneficios a mínimo costo, o dicho de otra forma, el máximo nivel de beneficios para un nivel de costo dado. Tal como puede verse en la Gráfica ( 4.5.4 ), las combinaciones óptimas están localizadas en los puntos de tangencia de las líneas de isoingreso (con pendiente  $P_{Y_a} / P_{Y_b}$ ) y las curvas de transformación producto (con pendiente  $TMgT_{Y_a Y_b}$ ). Por consiguiente

$$TMgT_{Y_a Y_b} = P_{Y_a} / P_{Y_b} \quad ( 4.7 )$$

La forma de las curvas de transformación-producto depende del grado en que la elaboración de un producto facilite o dificulte la del otro. Esto es, si la producción de uno de ellos favorece la del otro, las curvas serán concavas al origen, pero si, en caso contrario, la entorpece, entonces serían convexas con respecto al mismo punto. Este último caso se muestra en la - - - -

Gráfica (4.5.5), donde puede apreciarse que los beneficios se maximizan obteniendo sólo uno de los dos productos, siendo ésta una solución extrema para la cual la ecuación anterior no es aplicable. La curva de transformación-producto alcanza la línea de mayor ingreso sobre el eje  $y_a$ ; por tanto, solamente se produciría  $y_a$ .

La condición de optimalidad 2 puede resumirse diciendo que la producción debe ser dividida entre los dos productos de tal manera que el beneficio marginal de algún insumo utilizado en la producción del primer bien iguale al beneficio marginal de ese insumo en la producción del otro. Si no fuera así la cantidad de producción de ambos productos podría cambiarse a otro nivel -- para incrementar los beneficios.

EJEMPLO.- Este puede ser el caso de un sólo almacenamiento cuyas extracciones se utilizan para proporcionar riego y agua potable, siendo éstos los productos y la presa el insumo. En la figura se muestran las combinaciones de productos que se pueden obtener con el mismo volumen extraído --isovolumen-- y las rectas que representan las combinaciones de productos que proporcionan el mismo nivel de beneficios --isoingreso--. Los puntos de tangencia entre ambas familias de curvas identifican las combinaciones óptimas de agua potable-agua para riego, para cada nivel de beneficios.

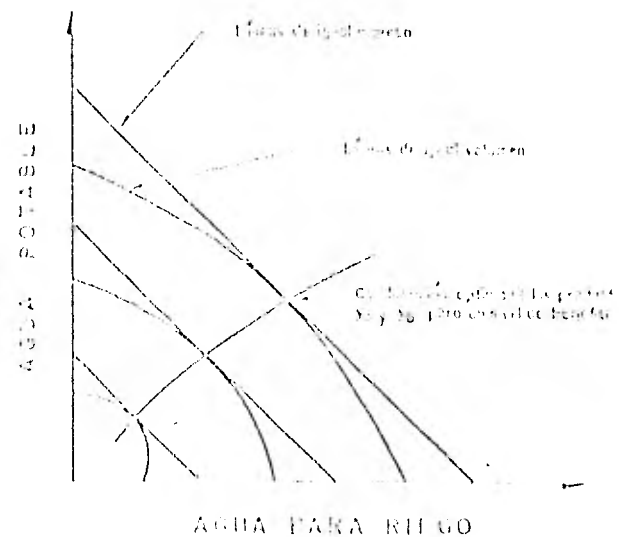
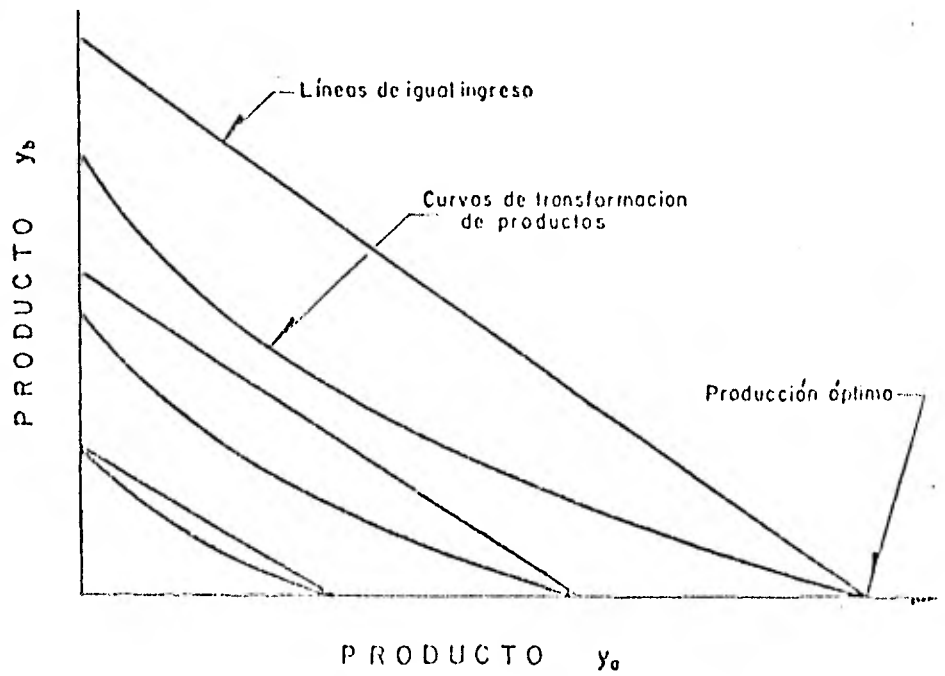


Gráfico (4.5.5)  
PRODUCCION OPTIMA



*CONDICION DE OPTIMALIDAD 3: NIVEL DE PRODUCCION. -*

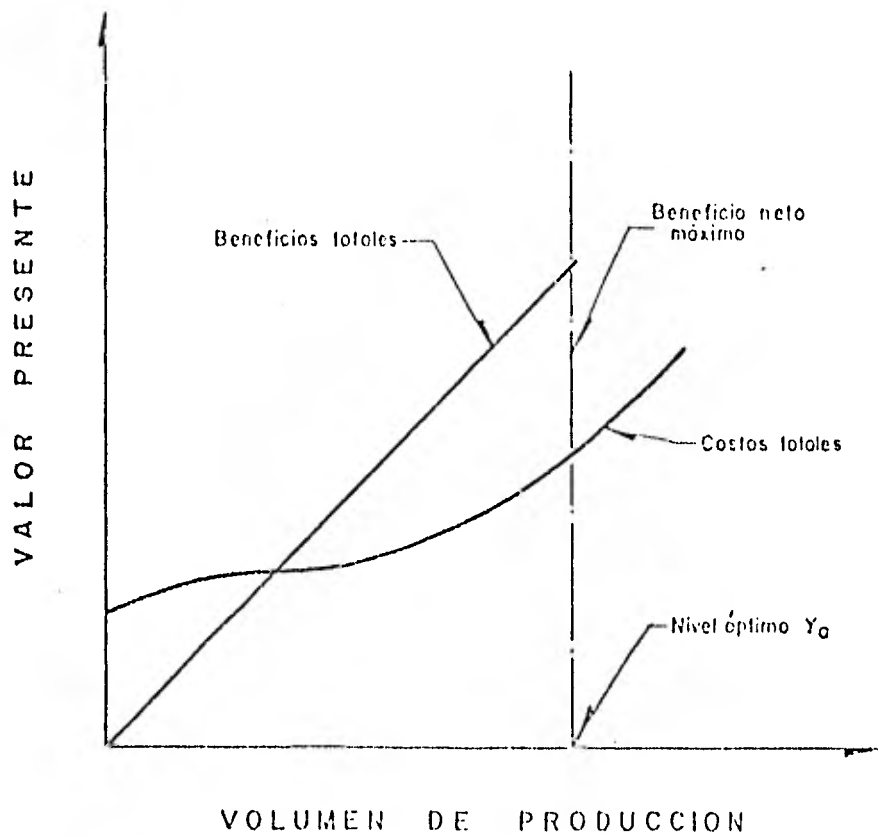
La condición de optimalidad 3 determina el nivel óptimo de producción, bajo el supuesto de que las condiciones 1 y 2 han sido ya satisfechas. La condición establece que el beneficio es máximo si el producto se incrementa hasta el punto en que los costos marginales igualan a los beneficios marginales, es decir, donde las pendientes de las curvas de beneficio y costo total son iguales o donde la distancia entre ellas es máxima.

Para el caso de dos insumos y un producto, la condición permite identificar a la combinación de costo mínimo correspondiente a cada nivel de producción, por lo que al graficar esta relación se determina la curva de costo total. A su vez, al multiplicar el precio unitario del producto por la cantidad obtenida en cada nivel, se deriva la curva de beneficio total. Cabe señalar - que bajo las condiciones de competencia perfecta\* , en que el precio es constante, ésta última curva es una línea recta. En este caso no es aplicable la condición 2 —combinación de productos— y se procede directamente a la condición de optimalidad 3. Tal como se muestra en la Gráfica (4.5.6), el beneficio neto es máximo donde son iguales las pendientes de las curvas de beneficio y costo totales. El mismo nivel óptimo de producción se alcanza en el punto en

---

\* Situación en que el volumen de producción que se alcanzaría a la realización del proyecto es tan pequeña —en comparación con el ofrecido por un gran número de productores—, que no se modificaría el precio del producto en el mercado, ni el beneficio marginal.

Gráfico ( 4 . 5 . 6 )  
NIVEL OPTIMO DE PRODUCCION

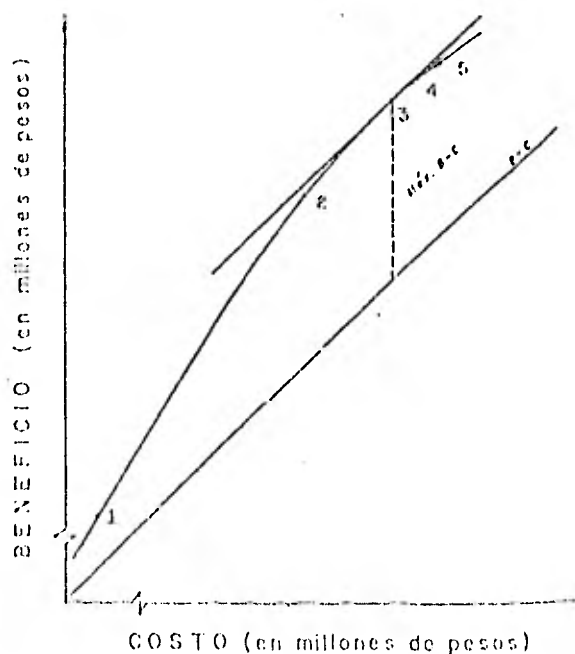


que son iguales los beneficios y costos marginales, como se indica en la Gráfica (4.5.7).

Para el caso de un insumo y dos productos, solamente se aplican las condiciones de optimalidad 2 y 3, ya que no existe el problema de combinar insumos. Los beneficios y costos asociados a las combinaciones de productos localizadas sobre la ruta de expansión pueden dibujarse para determinar el nivel óptimo de producción, tal como se muestra en la Gráfica (4.5.8).

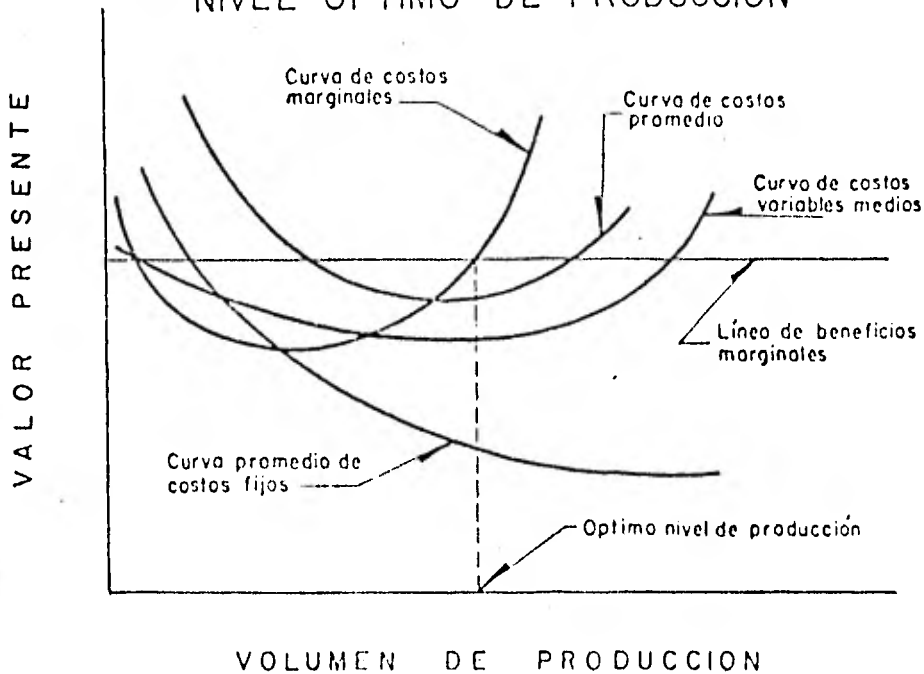
En ambos casos, una vez determinado el nivel óptimo de producción, se utilizan las gráficas formadas para las condiciones de optimalidad 1 y 2 y se determinan, según se requiera, las cantidades de cada insumo o producto incluidas en dicho nivel.

EJEMPLO.- Para determinar la escala de desarrollo más conveniente de una zona de riego que será - - atendida desde dos almacenamientos, es necesario identificar, en primera instancia, la combinación de presas de costo mínimo para cada nivel de extracción; es decir, se define la ruta de expansión a través de la condición 1. Con esta información se procede a relacionar el valor presente de los - beneficios y de los costos asociados a los tamaños propuestos, tal como se ilustra en la figura. Considerando que la función de costos totales es una recta a 45°, - el tamaño óptimo -el de mayor beneficio neto- está definido por

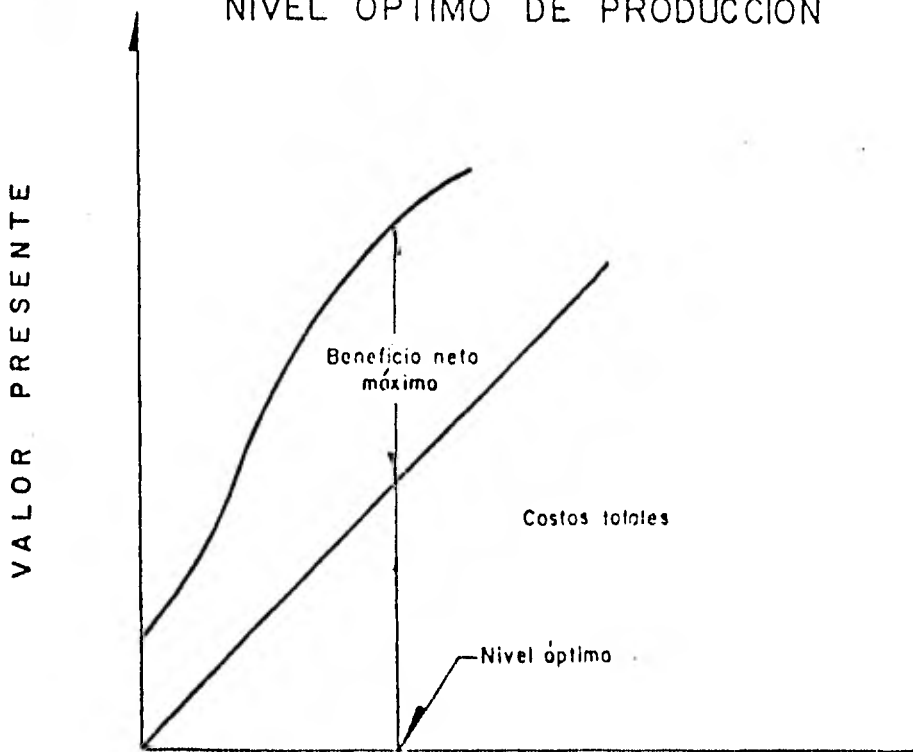




Gráfica ( 4 . 5 . 7 )  
NIVEL OPTIMO DE PRODUCCION



Gráfica ( 4 . 5 . 8 )  
NIVEL OPTIMO DE PRODUCCION



el punto en que la tangente de la curva de beneficios totales tenga la misma pendiente ( $45^\circ$ ). Con el costo total alcanzado en este punto y utilizando la citada ruta de expansión, se determinan las capacidades de presa requeridas en el óptimo.

Existen tres limitaciones particulares que deben tenerse en cuenta para la aplicación de los análisis descritos. Primera, las condiciones que hemos aplicado son condiciones necesarias pero no suficientes para tener un máximo. Con ciertas excepciones, que mencionaremos adelante, cada máximo las cumple, pero existen algunos valores de  $(X, Y)$  que las satisfacen sin maximizar a  $u(X, Y)$ . Para determinar si un vector  $(X, Y)$  que cumple con las condiciones necesarias para ser un máximo es además un vector maximizante, podemos inspeccionar la solución mencionada y determinar si para pequeñas variaciones en todos los componentes de  $(X, Y)$  decrece el valor de la función objetivo o, más formalmente, aplicando las condiciones de suficiencia para definir un máximo.

Segundo, aún cuando se hayan cumplido las condiciones de suficiencia para tener un máximo, los métodos desarrollados sólo definen máximos locales. Es decir, garantizan sólo que si un vector satisface las condiciones, no hay otro vector en las proximidades de él que tenga un valor mayor sobre la función objetivo. Si existen varias soluciones para las condiciones de maximización, debe determinarse el máximo maximum por enumeración.

Y en tercer lugar, si el rango permisible de variación de los componentes de  $(X, Y)$  está restringido, es posible que el máximo ocurra en un punto que no cumple con las condiciones "necesarias" para ser un máximo. Esta paradoja surge debido a que las condiciones necesarias son válidas solamente cuando las variables pueden tomar un valor cualquiera. Pero en la mayoría de las aplicaciones económicas el rango de las variables está acotado; en particular, muchas de ellas son inherentemente positivas y tienen frecuentemente fronteras superiores. Así pues, el máximo puede presentarse donde una o más variables toman un valor extremo, aún cuando no se satisfagan las condiciones de maximización convencionales.

PARTE 2

APLICACIONES

## CAPITULO V

### APLICACION AL PROYECTO DE RIEGO BALUARTE-PRESIDIO, SIN.

En los estudios para proyectos de riego de una región es de suma importancia - considerar la dependencia de las obras que integran los sistemas propuestos para solucionar el problema. La dependencia surge tanto de la existencia de diversos tipos de obra factibles para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la región, como de la posibilidad de combinar dichas estructuras.

En ocasiones tal dependencia dificulta la definición de las obras más adecuadas del sistema, acentuándose en casos en los cuales se manejan dos o más ríos, con una o varias presas en cada uno. Naturalmente, la solución que se dé al sistema debe satisfacer los criterios de optimalidad que, en función de los requerimientos del problema, se consideren más adecuados.

En este capítulo se presenta la aplicación de los criterios descritos para el análisis del sistema de riego en proyecto Baluarte-Presidio, Sin., que aprovecharía los escurrimientos de los ríos de esos nombres. Para ello se hizo el planteamiento de sistemas alternativos, simulándose el funcionamiento conjunto de los aprovechamientos en ambas corrientes y, para determinar el sistema y tamaño más convenientes, se utilizó como criterio de elección el maximizar el ingreso neto del proyecto.

#### 5.1 ) Características hidrográficas del área beneficiable

suelos aptos para su explotación agrícola, ubicadas en la porción meridional de la planicie costera de Sinaloa, de las cuales 33 000 Ha se localizan entre los ríos Baluarte y Presidio, y el resto hacia la margen derecha de esta corriente, extendiéndose desde las cercanías de Mazatlán hasta la proximidad de las riberas del río Baluarte. Políticamente, esta superficie forma parte de los municipios de Mazatlán, Concordia y Bosario, como puede apreciarse en el Croquis ( 5.1.1 ).

*CLIMATOLOGIA.* Con el fin de establecer el comportamiento de las características climáticas de la zona beneficiable, se analizaron los registros de 6 estaciones climatológicas localizadas dentro de ella y en sus inmediaciones. En el Cuadro ( 5.1.1 ) se relacionan dichas estaciones, así como su ubicación, el período de observaciones considerado y los promedios anuales de sus registros de temperatura, precipitación y evaporación, así como las temperaturas extremas.

Según a la clasificación de Thornthwaite —Referencia (8)— el clima es, en general, cálido con concentración de calor normal en el verano ( A' a' ), variando su categoría de humedad desde seco con poca o nula demasía de agua en la parte norte y noroeste de la zona, esto es, en las cercanías de Mazatlán y Siqueros, hasta semiseco con gran demasía de agua en verano ( C<sub>1</sub> S<sub>2</sub>' ) en las cercanías de La Concha, o sea, al sureste de la región.

Por lo que se refiere a precipitación, de acuerdo a los registros de las estaciones consideradas, se observa que la lluvia media anual flue

# LOCALIZACION DE LA ZONA DE RIEGO



CUADRO ( 5.1.1.1 )

INFORMACION CLIMATOLOGICA DE LAS ESTACIONES CONSIDERADAS

ESTACION	COORDENADAS		PERIODO	TEMPERATURA ( °C )			PRECEDIO ANUAL ( mm )	
	Latitud norte	Longitud oeste		Máxima extrema	Media	Mínima extrema	Precipitación	Evaporación
SICUEROS	23° 22'	106° 14'	1965-1960	41.0	25.4	6.0	762.6	1 723.0
MAZATLAN	23° 12'	106° 25'	1920-1978	35.0	24.1	1.0	802.5	-
LAS HABITAS	23° 02'	105° 45'	1963-1960	40.5	25.2	4.0	1 115.1	1 843.6
ECUARJO	23° 00'	105° 52'	1963-1980	41.0	25.5	5.3	931.9	1 806.6
ESCUINAPA	22° 50'	105° 47'	1941-1947	40.0	24.7	7.5	922.3	-
LA CONCHA	22° 32'	105° 27'	1960-1960	42.0	26.2	6.5	1 137.0	1 876.3



túa en la zona entre los 762.8 y 1 137.0 mm, ocurriendo la mayor de ellas hacia el sureste de la zona disminuyendo hacia el noroeste hasta llegar al primer valor en las cercanías de Siqueros.

En la Gráfica ( 5.1.2 ) se observa que la época de lluvias abarca el lapso junio-octubre, período en el que se concentra entre el 87 y 92% de la precipitación anual. El mes con mayor lluvia suele ser julio, agosto o septiembre, teniéndose el más alto valor en La Concha con 309.4 mm. Abril y Mayo son los meses en que se presenta la menor precipitación media llegando a ser nula en Escuinapa, Sin.

La evaporación en la región fluctúa entre 1 723.0 y 1 876.3 mm notándose que se incrementa ligeramente hacia el sureste del área estudiada. La mayor parte de la evaporación ocurre en el lapso marzo-agosto, en que se concentra entre el 63 y el 65% presentándose el primero de dichos valores en las estaciones Siqueros y El Rosario, y el segundo, en Las Habitas.

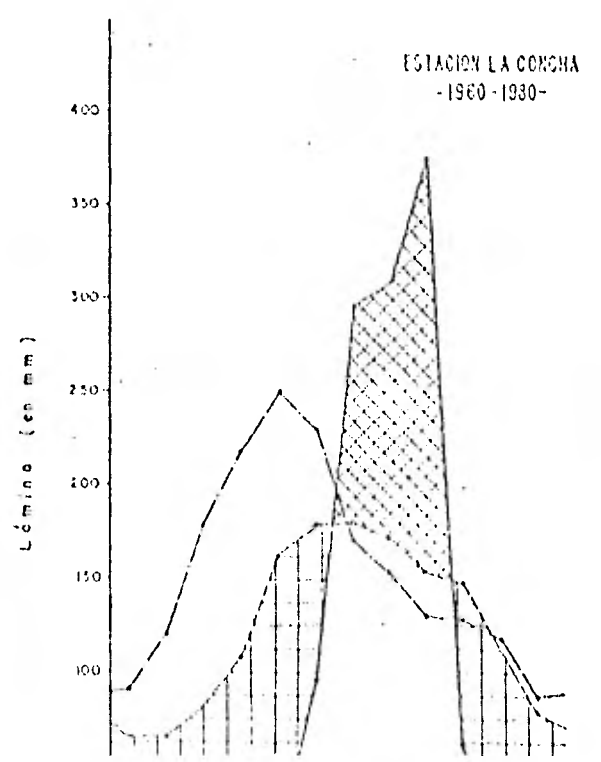
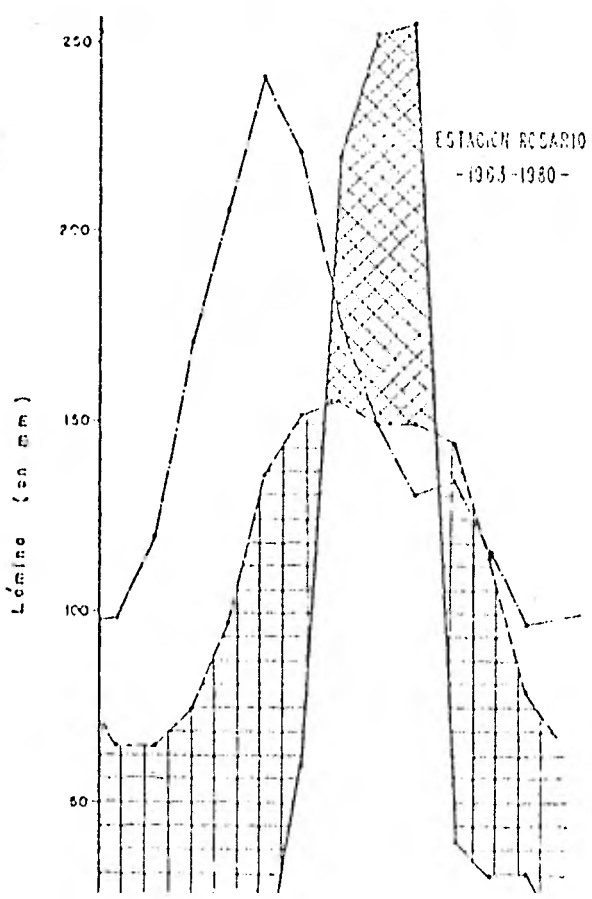
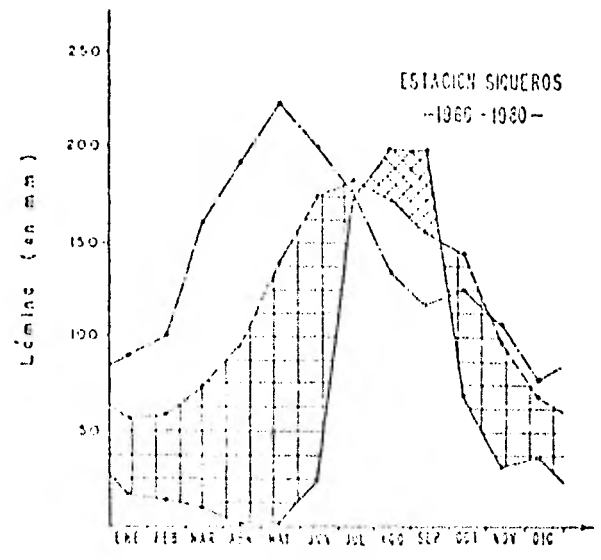
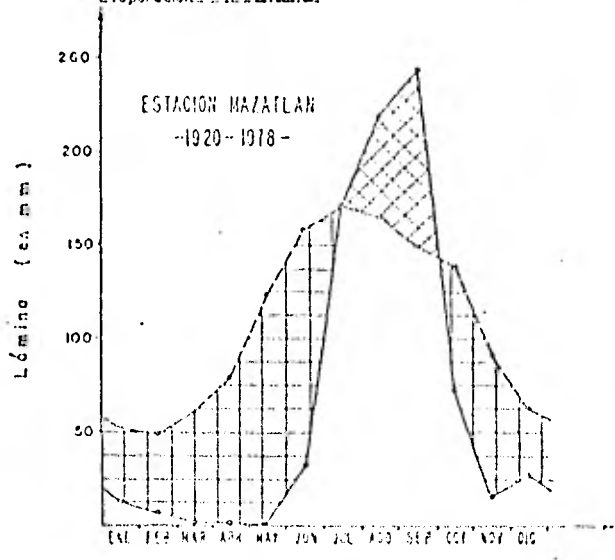
De acuerdo al método de Thornthwaite, la evapotranspiración potencial de la zona varía de 1 304.4 a 1 516.0 mm, notándose que se incrementa hacia el sureste de la región; el máximo valor ocurre en La Concha y el mínimo en Mazatlán. La evapotranspiración se concentra en su mayor parte en los meses de mayo a octubre período en que se estima que se presenta más del 67% de la anual. Según puede observarse en la gráfica anterior, los meses en que la precipitación sobrepasa a la evapotranspiración potencial son julio, agosto y septiembre en toda la zona.

GRAFICA (5.1.2)

RELACION ENTRE LA PRECIPITACION, LA EVAPORACION Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

SIMBOLOGIA

- Precipitación - - - - -
- Evapotranspiración potencial - - - - -
- Evaporación - - - - -
- Deficiencias - [diagonal lines]
- Excedencias - [cross-hatch]



*HIDROMETRIA.* Los caudales de los ríos Presidio y Baluarte son aforados en cinco estaciones hidrométricas, de las cuales dos se hallan localizadas sobre el primero y las restantes sobre el segundo; su ubicación puede verse en el Croquis ( 5.1.1 ) anterior.

Sobre el río Presidio, unos 40 km aguas abajo del límite estatal entre Durango y Sinaloa, se encuentra la estación Tapichahua y 50 km más adelante, se localiza la estación Siqueros, en las inmediaciones del poblado de este nombre.

Por su parte, sobre el río Baluarte y su afluente Pánuco se ubican las estaciones Las Habitas, Baluarte II que substituyó a la destruida Baluarte I— y Las Tortugas. La primera se halla situada a 2 km aguas abajo de la confluencia del río Matatán con el Baluarte; la segunda, se localiza a unos 18.0 km de la primera, en las cercanías del poblado Resarrio; y finalmente la estación Las Tortugas se halla ubicada a unos 2 km aguas arriba del poblado Cacalotán, sobre el río Pánuco.

En el Cuadro ( 5.1.2 ) se consignan los pronalios mensuales de los volúmenes escurridos en las referidas estaciones. Ahí puede verse que el volumen anual de ambos ríos, a la altura de Siqueros y Baluarte II, asciende, en conjunto, a 2 736 hm<sup>3</sup>. A su vez, en el Cuadro ( 5.1.3 ) se muestran los gastos máximos anuales observados, registrándose, en el año de 1968, el de mayor magnitud.

CUERO ( 5.1.2 )

VOLUMENES DE ESCURAMIENTO PROMEDIO

( hm<sup>3</sup> )

M E S	SIQUEROS (1955-1980)	LAS HERBAS (1964-1967)	BALLARIE II (1947-1980)	LAS TORUGAS (1970-1980)
Enero	51.5	13.4	43.9	3.0
Febrero	18.0	10.4	19.6	0.9
Marzo	21.5	4.4	17.8	0.4
Abril	4.6	3.6	3.5	0.2
Mayo	2.8	2.6	1.9	0.1
Junio	19.5	19.5	25.1	2.0
Julio	132.3	106.2	287.4	37.0
Agosto	263.0	318.3	436.6	76.9
Septiembre	319.4	456.0	590.5	108.2
Octubre	122.7	141.5	170.8	18.3
Noviembre	37.5	14.9	58.6	10.4
Diciembre	43.0	33.9	44.1	3.4
<b>A N U A L</b>	<b>1 035.8</b>	<b>1 124.7</b>	<b>1 700.0</b>	<b>260.8</b>

CUANTO ( 51.13 )

ESTADO FINANCIERO INICIAL  
( en Pesos )

A. S. O.	SISTEMAS		INSTALACION II		LAS RELATIVAS		TOTALIZADO	
	Fecha	Costo	Fecha	Costo**	Fecha	Costo	Fecha	Costo
1948		-	Sep 10	9 500.0		-		-
1949		-	Sep 5	913.0		-		-
1950		-	Oct 7	750.0*		-		-
1951		-	Sep 15	1 974.0		-		-
1952		-	Ago 13	2 045.0		-		-
1953		-	Sep 17	4 156.0		-		-
1954		-	Ago 10	1 874.6		-		-
1955	Sep 22	541.4	Sep 21	1 275.0		-		-
1956	Sep 25	595.5	Sep 14	1 634.5		-		-
1957	Oct 12	153.7*	Oct 21	2 452.0		-		-
1958	Sep 21	2 375.0	Sep 21	5 075.0		-		-
1959	Ago 28	394.0	Ago 28	1 819.0		-		-
1960	Ene 14	548.0	Ago 18	6 050.0		-		-
1961	Sep 16	541.3	Sep 16	1 654.0		-		-
1962	Oct 4	1 073.0	Oct 4	2 185.5		-		-
1963	Sep 20	1 662.0	Sep 20	3 911.0		-		-
1964		-	Oct 1	5 277.5	Oct 1	4 522.0		-
1965		-	Sep 26	7 524.8	Sep 26	9 646.5*		-
1967	Oct 15	637.6	Sep 15	1 611.0	Ago 21	923.6*		-
1968	Ago 15	456.1	Ago 13	1 205.0	Ago 22	1 545.0		-
1968	Sep 12	7 355.0*	Sep 12	11 144.8*		-		-
1968	Oct 11	2 547.0	Oct 12	2 875.2		-		-
1970	Sep 22	1 203.0	Sep 27	4 506.0		-		-
1971	Ago 11	827.0	Sep 7	1 676.0		-		-
1972	Ene 11	2 040.0	Nov 23	10 963.0		-	Sep 14	397.0
1973	Ago 17	830.0	Sep 12	2 184.0		-	Nov 21	1 020.0*
1974	Sep 21	1 130.0	Sep 24	2 479.0		-	Ago 22	507.3
1975	Ago 16	456.7	Oct 15	3 624.0		-	Sep 21	1 200.0
1976	Oct 30	480.0	Oct 7	2 055.0		-	Oct 25	1 030.0
1977	Ene 2	1 350.0	Nov 11	2 016		-	Oct 6	1 050.0
1978	Sep 12	530.0	Sep 12	1 250.0		-	Ago 6	503.0
1979	Nov 25	1 073.0	Nov 25	3 571.5		-	Sep 22	245.0
1980	Oct 17	652.2	Ago 15	1 165.0		-	Oct 18	1 530.0
						-	Ago 11	255.0*

\* Costos extras.

\*\* Los costos corresponden hasta 1953 corresponden a la estación de Inaburto I.

FUENTE: Boletín Hidrológico # 30, Tercer I, Administración de Hidrología, S.A.H.H.

## 5.2 ) Objetivos

Como se mencionó, al analizar la información climatológica en el área beneficiable, resulta evidente la imposibilidad de lograr un desarrollo agrícola satisfactorio a base de temporal, ya que las láminas mensuales de precipitación no exceden a las relativas de evapotranspiración, salvo durante los meses de julio, agosto y septiembre y, en ocasiones, cuando las lluvias se retrasan.

A su vez, teniendo en cuenta que los escurrimientos del río - Baluarte aportan un volumen de 1 700 hm<sup>3</sup> y los propios del Presidio 1 036 hm<sup>3</sup> en promedio anual, resulta obvio que mediante su regulación cualquiera de ellos podría satisfacer las necesidades de riego de las 45 000 Ha disponibles. Sin embargo, los caudales de ambas corrientes disminuyen considerablemente durante el período de estiaje —que se extiende desde noviembre hasta fines de junio—, lo cual impide aplicar dichos volúmenes, en forma directa y oportuna, al riego del área mencionada.

En tales condiciones, puede señalarse que el factor limitante, a nivel estacional, es el agua, no obstante que a nivel anual, la disponibilidad del líquido es sobrada para satisfacer los requerimientos del área.

Por ello, las acciones que se programen tendrán como principal objetivo incrementar la producción agrícola local, mediante el suministro del riego a las tierras agrológicamente aptas para ello.

Con tal criterio, las acciones que habrán de emprenderse deberán hallarse encaminadas a:

- i ) Incrementar el aprovechamiento de los suelos.
- ii ) Elevar el índice de utilización del agua disponible para riego.

### 5.3 ) Identificación de alternativas

Para el aprovechamiento de los volúmenes de los ríos Baluarte y Presidio en el riego de las tierras ubicadas en el área que separa ambas corrientes y sobre la margen derecha de este último río, se ha previsto, en primer término, la posibilidad de regular parcialmente los volúmenes del primero almacenando preferentemente sobre sus afluentes más importantes, el Matatán y el Pánuco, y derivar desde las corrientes principales.

Con tal objeto, han sido localizados dos sitios de almacenamiento: el denominado Jalpa —sobre el Matatán— y que se halla situado unos 9 km aguas arriba de la población de su nombre; y el identificado como Tortugas —sobre el Pánuco— ubicado unos 2 km aguas arriba del poblado de Cacatán. El sitio en que se derivarían las aguas del Baluarte, conocido como El Pozole, se localiza unos 3 km aguas abajo de la confluencia del Matatán. A su vez, las aguas del río Presidio serían derivadas en el sitio conocido como --

Siqueros, que se halla ubicado a la altura del poblado de este nombre.

En segundo lugar, se ha estudiado la posibilidad de almacenar sobre las dos corrientes principales, lo que implicaría una estructura funcional distinta de la descrita en el párrafo inicial. Tal concepción ha sido ya estudiada con anterioridad en (9), habiendo quedado definidas las dos mejores proposiciones que satisfacen este planteamiento y que forman parte de los esquemas aquí analizados.

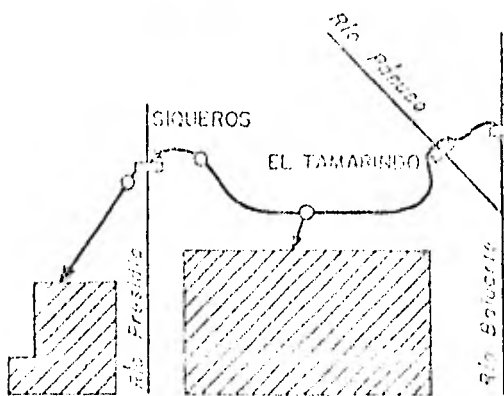
El sitio propuesto para el almacenamiento de los volúmenes -- del Baluarte, denominado Matatán, se localiza un kilómetro aguas abajo de la confluencia del río de este nombre; y aquél en que se regularían los escurrimientos del río Presidio se halla situado un kilómetro aguas arriba del sitio de derivación Siqueros, ya mencionado.

Con base en ambas opciones, se definieron cinco sistemas hidráulicos alternativos, que difieren fundamentalmente por las presas --de almacenamiento y derivación-- integradas a cada uno. Los esquemas de proyecto correspondientes se ilustran en el Croquis ( 5.3.1 ) y se describen a continuación:

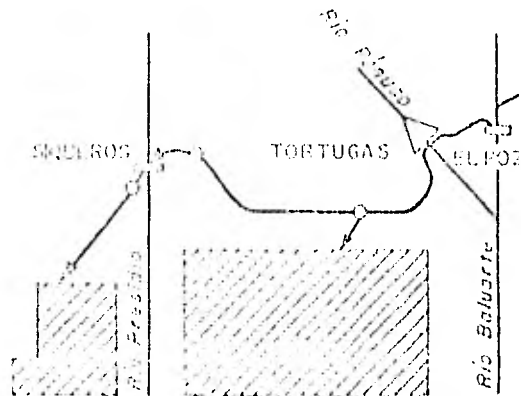
- a ) El SISTEMA I contempla aprovechar las aguas del río Baluarte y de su afluente el Pímaco mediante la construcción de la presa de almacenamiento Jalpa, sobre el río Matatán, y de las derivaciones Pozolo y Tortugas, sobre --



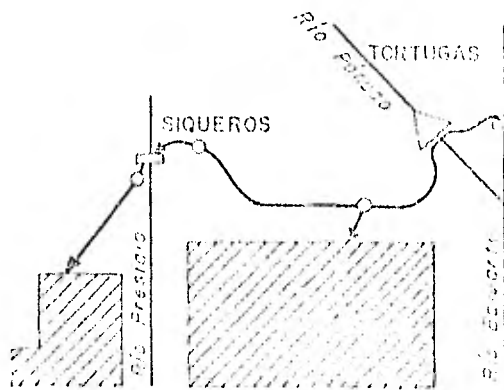
SISTEMAS ALTERNATIVOS



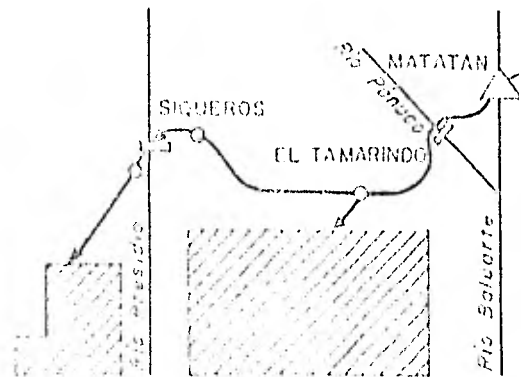
a) SISTEMA I



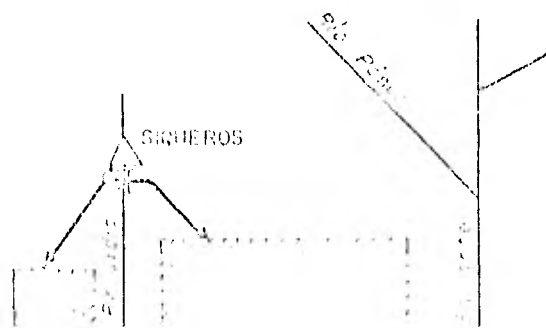
b) SISTEMA II



c) SISTEMA III



d) SISTEMA IV



LEGENDA

- Línea con triángulo: línea de conducción  
 - Línea con círculo: línea de distribución  
 - Línea con triángulo invertido: línea de derivación  
 - Línea con triángulo invertido y círculo: línea de derivación y distribución

el Baluarte y el Pánuco, respectivamente, obras que se -- hallarían interconectadas. De la segunda de estas deriva-- doras partiría el canal de distribución, destinado a ser-- vir a la zona de riego localizada entre ambos ríos, y que llegaría hasta la margen izquierda del Presidio, en las -- proximidades de la población de Siqueros. Ahí se conecta-- ría dicho canal con la derivadora de este último nombre, de la cual partiría el tramo distribuidor que habría de -- servir a las tierras de la margen derecha del Presidio. El funcionamiento hidráulico de este sistema sería como -- sigue: las aguas almacenadas en la presa Jalpa se utili-- zarían exclusivamente para suplir, durante el estiaje, -- las insuficiencias inducidas del régimen hidrológico del río Baluarte; y a su vez, la transferencia de aguas del -- Baluarte hacia el Presidio, a través de la derivadora Si-- queros, sólo tendría lugar cuando los caudales del último río resultasen insuficientes para el riego de las tierras ubicadas hacia su margen derecha.

- b ) EL SISTEMA II propone utilizar los caudales del Baluarte derivándolos en la presa El Pozole, y regular los escurri-- mientos del Pánuco mediante la presa Tortuga. La conduc-- ción de ambos volúmenes, al igual que el aprovechamiento, por derivación, de las aguas del río Presidio y la opera--

los propuestos en el esquema anterior.

- c ) El SISTEMA III contempla la construcción de los dos almacenamientos ya mencionados —Jalpa y Tortugas— y de las derivadoras El Pozole y Siqueros, siendo la operación en esta variante similar a la que caracteriza a los esquemas -- anteriormente descritos.
- d ) Por su parte, el SISTEMA IV propone almacenar las aguas -- del Baluarte en el vaso Matatán, aguas arriba de la con--- fluencia del Pánuco, y construir las derivadoras Tortugas y Siqueros. Los caudales disponibles en Tortugas servi--- rían para el riego de la zona comprendida entre ambos ríos y para complementar los volúmenes del Presidio, cuando éstos resultasen insuficientes para atender las áreas de la margen derecha de este río.
- e ) Por último, el SISTEMA V, que considera exclusivamente el aprovechamiento de los caudales del Presidio, propone la - construcción del almacenamiento Siqueros, para servir la - totalidad del área beneficiable.

#### 5.4 ) Patrón de cultivos

tificar, por una parte, la producción agrícola generable en la zona y, por la otra, las características de la demanda inherente a dicha producción, se elaboró, a nivel preliminar, el patrón de cultivos correspondiente. En su formulación —efectuado mediante un modelo de programación lineal— se atendió a maximizar la utilidad de los agricultores, considerando la cédula de cultivos que pueden prosperar en la zona y sus fechas aconsejables de siembra y cosecha. Asimismo, hubieron de tenerse en cuenta las restricciones agrológicas, de mercado y de ocupación mensual de tierras a que hubiere lugar. Las principales características de dicho patrón aparecen consignadas en el Cuadro ( 5.4.1 ).

Utilizando el criterio de Planey-Criddle, descrito en (10), se estimaron las demandas de riego de los cultivos incluidos en dicho patrón, considerando una eficiencia global del 60%, mismo que ascendería a 599 ha<sup>3</sup> para atender las 45 000 Ha disponibles. En el Cuadro ( 5.4.2 ) se muestra la distribución mensual de esa demanda.

### 5.5 ) Análisis y selección de sistemas hidráulicos

A fin de elegir cuál de los sistemas propuestos resultaba más adecuado para los fines del proyecto, se procedió a simular el funcionamiento de cada uno de ellos —conforme a la ley de demandas resultante del patrón preliminar de cultivos propuesto para la zona—, lo que permitirá, además de contrastar su factibilidad técnica, determinar su función de producción. En esa forma, se establecieron las relaciones capacidad-extracción para los sistemas que

CUADRO ( 5.4.1 )

PAUCON DE CULTIVOS DE MAXIMA UTILIDAD

CULTIVO	SUPERFICIE ( Ha )	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Aguacate	813	XX											
Ajonjolif	5 354					XX							
Arroz	149					XX							
Arroz	4 334					XX							
Arroz	93					XX							
Cacaahuate	320					XX							
Chile	1 357	XX										XXXXXXXXXXXXXXXX	
Frijol	13 008	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Frijol	903	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Gabarrico	320					XX					XXXXXXXXXXXXXXXX		
Jitomate	821	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Jitomate	1 077	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Maiz	6 025	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Maiz	518		XX										
Maiz	728							XX					
Mango	837	XX											
Mango	3 031	XX											
Molón	93	XX											
Pasto	2 673	XX											
Papayo	409	XX											
Papayo	111	XX											
Popino	80	XXXXXX								XX			
Plátano	1 465	XX											
SaMia	429	XXXXXX								XX			
Sorpo	2 977	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Sorpo	4 343	XX											XXXXXXXXXXXXXXXX
Sorpo	1 077							XX					
Sorpo	4 343							XX					
Sorpo	903							XX					
Soya	13 623							XX					
SUPERFICIE TOTAL 72 307		40 665	40 865	40 865	25 634	33 619	40 865	40 865	40 347	40 835	40 865	40 865	40 835

NOTA: Los periodos anotados incluyen un mes para preparar tierras.

## CUADRO ( 5.4.2 )

## DEMANDAS DE AGUA DEL PATRON DE CULTIVOS DE MAXIMA UTILIDAD

M E S	VOLUMEN MILES M <sup>3</sup>	%
Enero	58 656.1	9.8
Febrero	71 225.3	11.9
Marzo	80 203.3	13.4
Abril	53 867.9	9.0
Mayo	35 911.9	6.0
Junio	35 911.9	6.0
Julio	28 729.6	4.8
Agosto	52 072.3	8.7
Septiembre	44 291.4	7.4
Octubre	62 845.9	10.5
Noviembre	43 094.3	7.2
Diciembre	31 722.2	5.3
T O T A L	598 532.1	100

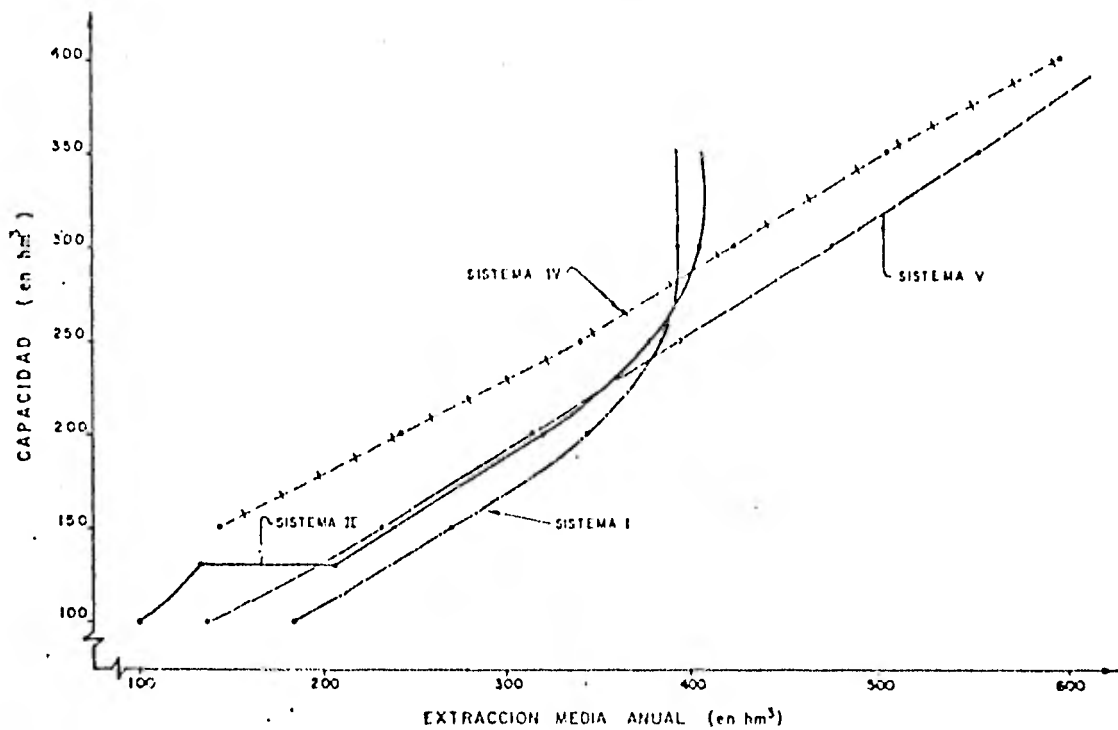
consideran un sólo almacenamiento. Tales funciones aparecen representadas en la Gráfica ( 5.5.1 ).

Con ese mismo fin, se simuló el funcionamiento del Sistema - III —que contempla la operación conjunta de los vasos Jalpa y Tortugas— asignando capacidades variables a una de las presas y suponiendo que la de la otra se mantendría constante. Con los volúmenes de extracción resultantes de dicho análisis, se trazaron las líneas de isoextracción que aparecen ilustradas en la parte baja de la misma gráfica, donde los parámetros que determinan la función son los niveles de extracción deseados.

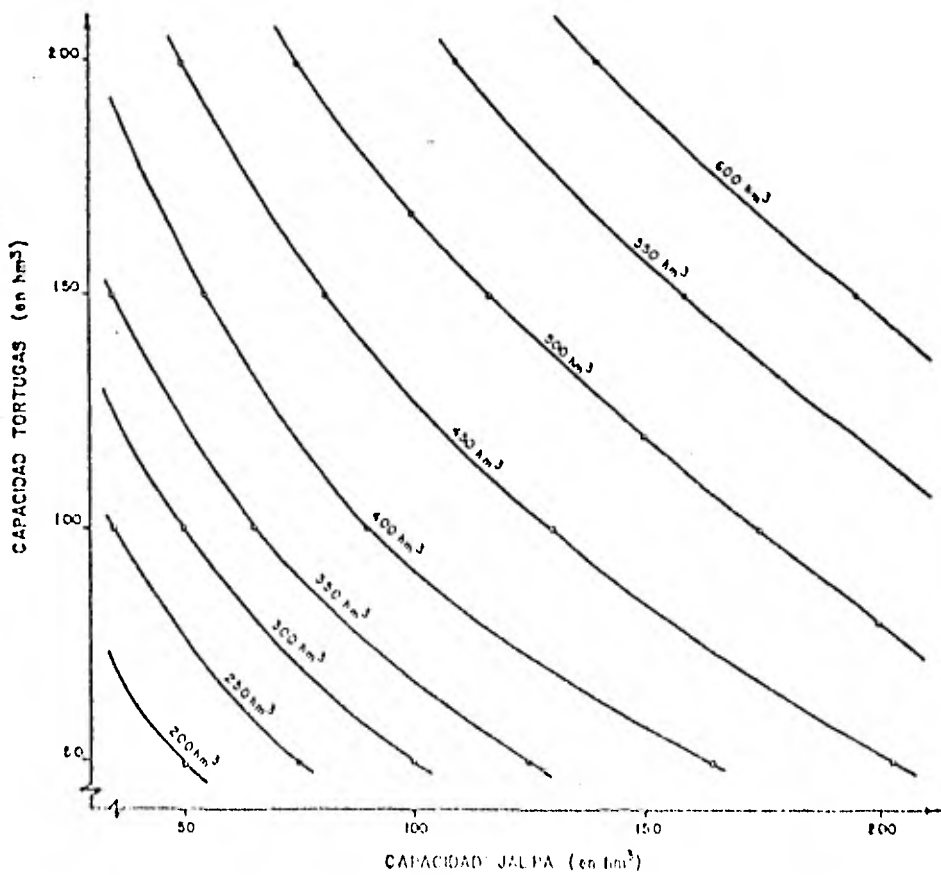
Asimismo, con objeto de determinar el costo de las presas, se formularon anteproyectos preliminares para cada una de ellas y se aplicaron precios índice a las estimaciones de volúmenes de obra, estableciendo funciones - costo-elevación. Estas funciones se utilizaron para determinar las relaciones - costo-capacidad, considerando, para ello, las curvas elevación-capacidad y los volúmenes de sobrealmacenamiento resultantes del tránsito de las avenidas máximas probables establecidas. Dichas relaciones aparecen en la parte superior de la Gráfica ( 5.5.2 ), y en la porción inferior de la misma pueden verse las curvas de isocosto relativas a las presas Jalpa y Tortugas, del Sistema III.

A continuación se procedió a determinar las relaciones extracción-costo de cada uno de los sistemas, a través de las funciones —ya establecidas— de capacidad-extracción, y costo-capacidad. Para ello, hubo que - - -

GRAFICA (5.5.1.)

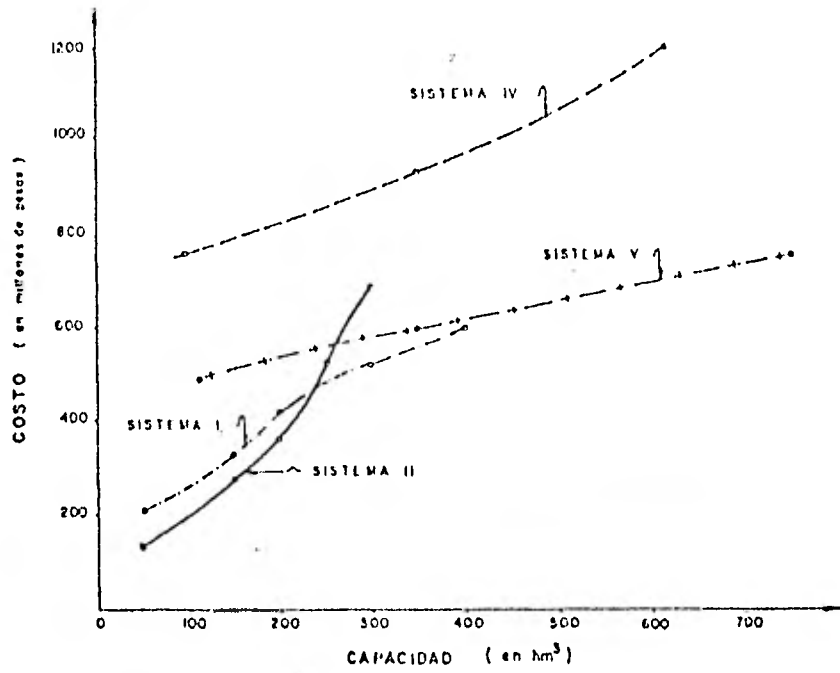


e). RELACIONES CAPACIDAD - EXTRACCION

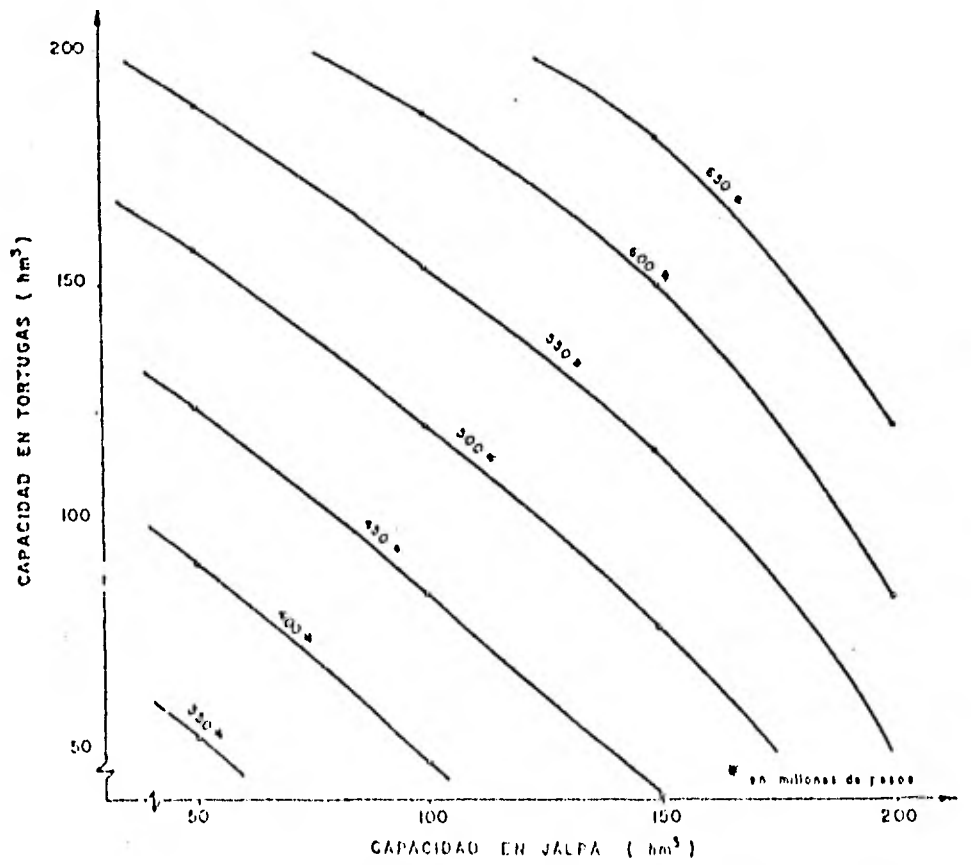




GRAFICA (5.5.2)



a) FUNCIONES DE COSTO

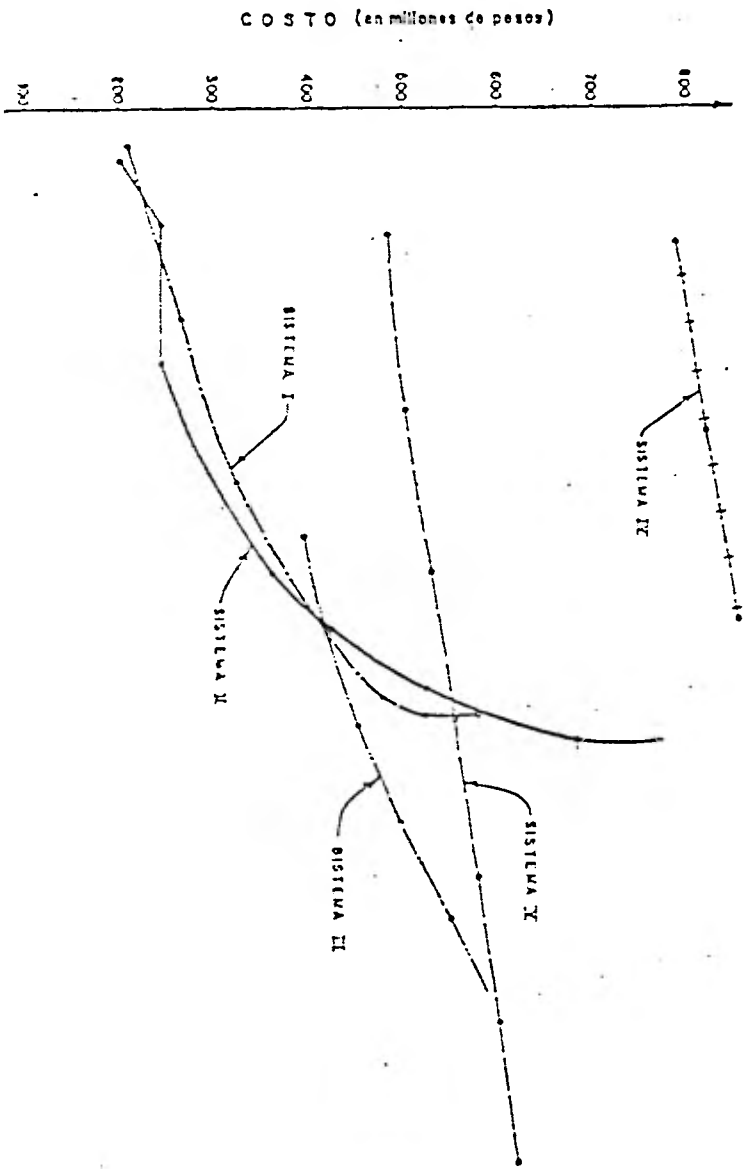
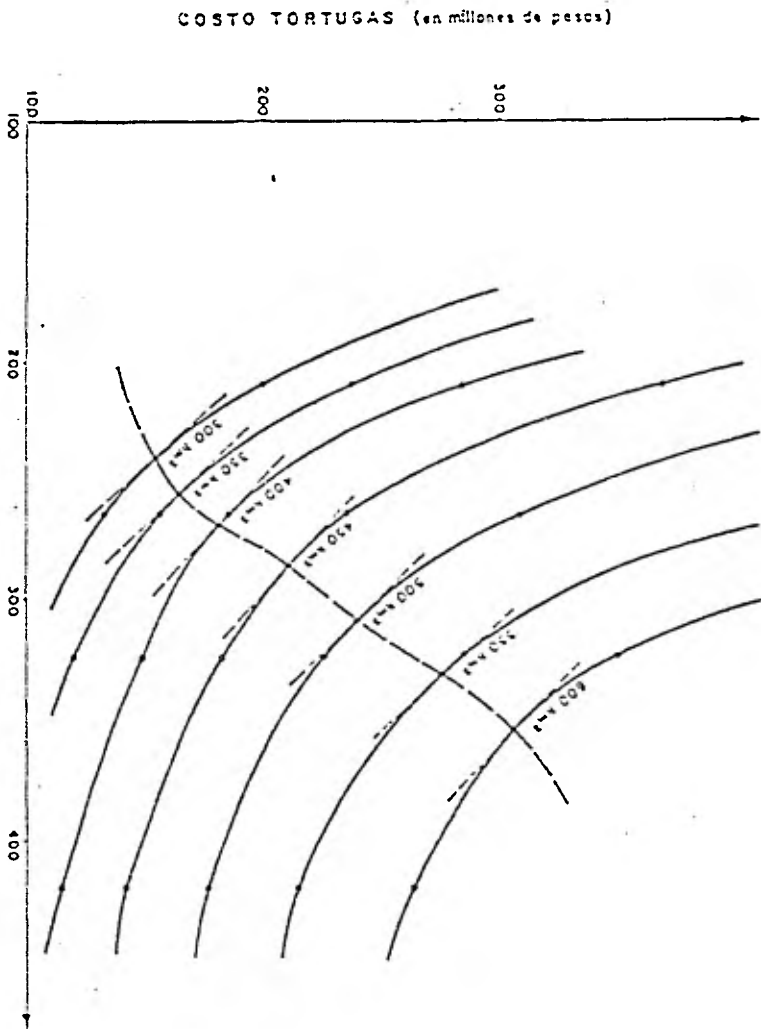


determinar, en el Sistema III, la denominada ruta de expansión —mediante la aplicación de la condición de optimalidad 1, combinación de insumos—, que no es sino el lugar geométrico de las combinaciones de mínimo costo correspondientes a un nivel de extracción dado. Dicha curva aparece en la gráfica superior de la Gráfica ( 5.5.3 ), mientras que la inferior muestra las relaciones extracción-costo de los cinco sistemas.

En esta última representación se advierte que los Sistemas II, III y V son los que alcanzan menores costos para los niveles de extracción -- considerados. Sin embargo, la realización de la presa Siqueros, incluida en el Sistema V, resulta problemática debido a los asentamientos humanos establecidos en el área del vaso. Estos, en conjunto, tienen una población estimada en 6 000 habitantes, cuyas viviendas e intereses necesariamente se verían -- afectados por la realización de la obra. En esa virtud, se ha considerado -- conveniente analizar sólo los Sistemas II y III, que proponen la construcción del sistema Pozole-Tortugas-Siqueros y del conjunto Jalpa-Pozole-Tortugas-Siqueros, respectivamente.

#### 5.6 ) Definición y clasificación de alternativas de tamaño

Con base en los resultados del análisis de sistemas alternativos, se procedió a definir los tamaños que, en cada caso, pudieran integrar -- el complejo productivo. Para ello, se consideró que, en cada tamaño, se adop



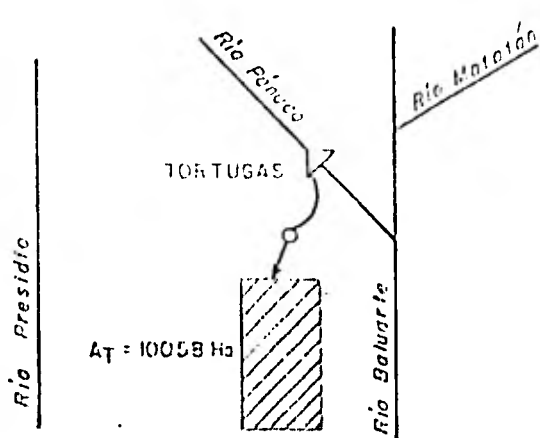
taría el sistema de captación de menor costo que permitiese alcanzar el volumen de extracción requerido en cada caso.

Los tamaños se determinaron considerando los problemas de conducción que induciría el riego de las diversas superficies analizadas, así como la conveniencia de incluir preferentemente las áreas que, por su ubicación, pudieren regarse por gravedad, utilizando sólo, como complemento aquellas zonas factibles de servirse únicamente mediante bombeos desde los canales.

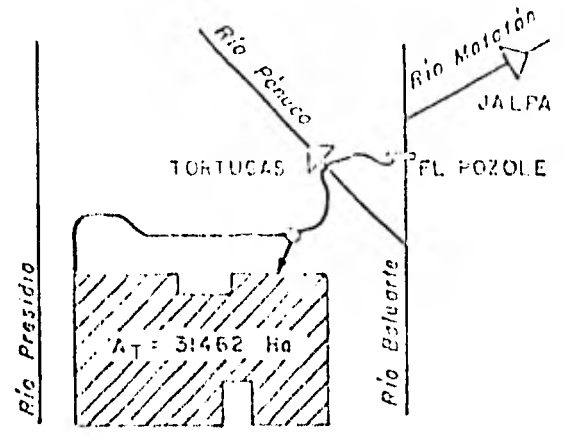
En esta forma, se identificaron cinco alternativas de tamaño, - cuya ubicación se muestra en el Esquema ( 5.6.1 ), siendo sus superficies y -- obras de captación las siguientes:

- i ) La primera alternativa contempla el riego de 10 058 Ha, -- utilizando exclusivamente los volúmenes del Pánuco, almacenados en la presa Tortugas.
- ii ) En la segunda alternativa se pretende regar 31 462 Ha, -- aprovechando los escurrimientos de los ríos Pánuco, Matatán y Baluarte, mediante las presas Jalpa, Pozole y Tortugas.
- iii ) La tercera alternativa atendería una superficie de - - - - 40 538 Ha, añadiendo, a los aprovechamientos incluidos en la alternativa anterior, la derivadora Siqueros, sobre el Presidio.

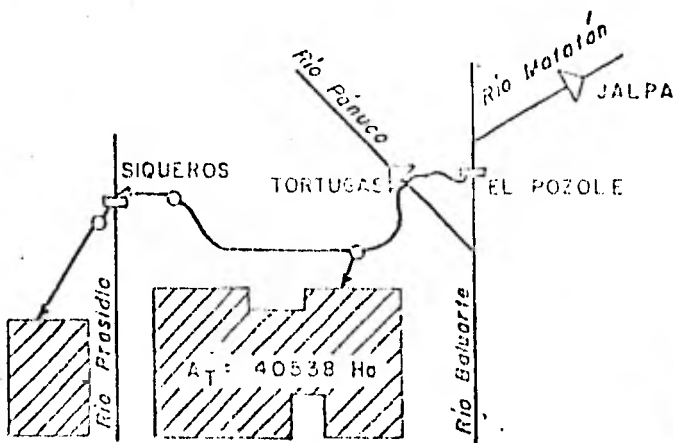
ALTERNATIVAS DE TAMAÑO



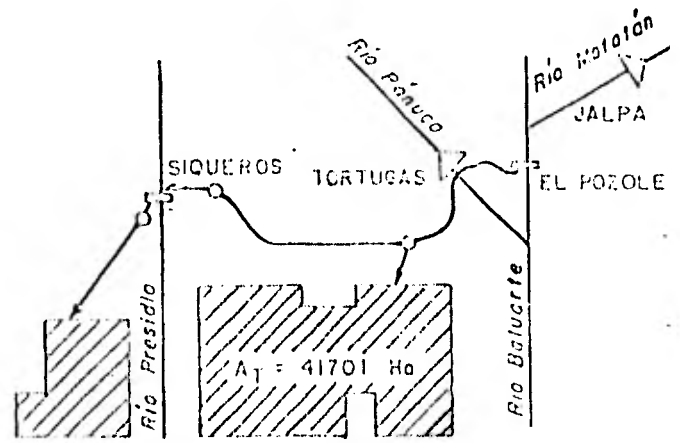
ALTERNATIVA (1)



ALTERNATIVA (2)



ALTERNATIVA (3)



ALTERNATIVA (4)

SIMBOLOGIA

△ Presa de almacenamiento

□ Presa derivadora

--- Canal de conducción

▨ Zona de riesgo

- iv ) Por su parte la cuarta alternativa dominaría 41 701 Ha, - utilizando las mismas obras de captación incluidas en la alternativa anterior, pero adecuando su capacidad a los - requerimientos de riego previstos para dicha superficie.
  
- v ) Finalmente, la quinta alternativa tiene como objetivo el riego de 43 381 Ha, superficie que adiciona, al tamaño anterior, 1 680 Ha atendibles mediante bombeos desde los canales. En este caso, las estructuras coinciden con las - que integrarían las dos últimas alternativas.

En el Cuadro ( 5.6.1 ) se resumen las capacidades de conservación de las presas que corresponderían a cada tamaño, obtenidas de las relaciones establecidas en el inciso anterior, en función de la demanda de cada - alternativa.

La elaboración de los presupuestos para cada una de las alternativas consideradas se realizó utilizando costos índice, aplicados a los diseños preliminares de las obras.

Los programas de inversión correspondientes a las alternati---vas planteadas consideran que el período constructivo abarcaría cinco años, - siendo la distribución anual de los recursos porcentualmente semejante en todas ellas, según puede verse en el Cuadro ( 5.6.2 ).

## CUADRO ( 5.6.1 )

## CAPACIDADES DE CONSERVACION DE LAS PRESAS

## JALPA Y TORTUGAS

(  $\text{hm}^3$  )

ALTERNATIVA	SUPERFICIE ( Ha )	VOLUMEN DEMANDADO ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	CAPACIDAD *	
			JALPA	TORTUGAS
1	10 058	132	-	130
2	31 462	415	110	90
3	40 538	535	150	145
4	41 701	550	155	150
5	43 381	573	165	160

\* Hasta la cresta vertedora.

CUADRO ( 5.6.2 )  
PROGRAMA DE INVERSIONES  
( en millones de pesos )

ALTERNATIVA	TOTAL	AÑO				
		1	2	3	4	5
1	663.6	99.5	132.7	199.2	132.7	99.5
2	1 903.4	285.5	390.7	571.0	380.7	235.5
3	2 487.0	373.1	497.4	746.0	497.4	373.1
4	2 622.7	393.4	524.5	786.9	524.5	393.4
5	2 745.7	411.9	549.1	823.7	549.1	411.9



### 5.7 ) Análisis de tamaño

La determinación del tamaño y sistema más convenientes para impulsar el desarrollo agrícola de la región, se realizará mediante la aplicación de la condición de optimalidad 3 —nivel de producción—, considerando, como función objetivo, la maximización del valor presente de los beneficios netos generables por el proyecto. Para ese efecto, se evaluará económicamente cada una de las alternativas, considerando el incremento al valor agregado de la producción como medida de efectividad en cada caso. Cabe precisar que no se requiere aplicar la condición de optimalidad 2 —combinación de productos—, toda vez que este proyecto contempla, como único producto, el riego.

Para la formulación de dicho análisis se consideró que:

- i ) De no llevarse a cabo las acciones propuestas, el nivel de desarrollo de las actividades agrícolas se incrementaría un 20% en relación con el actual nivel.
- ii ) El período en que previsiblemente se alcanzará la completa evolución esperada de la superficie cosechable, a la disponibilidad de las obras, variará entre 5 y 8 años, en proporción de los tamaños propuestos; y el propio de maduración de las actividades productivas cubriría 9 años, entendido éste como el lapso necesario para alcanzar el 90% del valor potencial.

iii ) El equipo electromecánico del sistema de bombeo propuesto en la alternativa 5 tendría una vida útil de 15 años, por lo cual se realizarían las inversiones, por este concepto, cada 15 años.

iv ) La tasa de actualización será del 12% y el horizonte de -  
placación de 30 años.

Con base en la información anteriormente resumida y en las con  
sideraciones hechas, se actualizaron los flujos de beneficios y costos espera  
dos con cada una de las alternativas. En el Cuadro ( 5.7.1 ) se muestran los  
resultados de las evaluaciones económicas practicadas.

Con fines ilustrativos, a partir de esos valores se procedió a  
fomar la Gráfica ( 5.7.1 ), donde aparecen, sobre el eje de las abscisas, el  
valor presente de los costos totales para diferentes tamaños de la obra —aso  
ciados a la extensión de la superficie regada, la capacidad de las presas,  
etc.— y, sobre el eje de las ordenadas, el valor presente de los beneficios  
totales relativos a cada tamaño. Ahí puede verse que, en todas las alternati  
vas analizadas, el beneficio neto es positivo y son, por tanto, económicamen-  
te aceptables.

Ahora bien, tomando en cuenta que la función objetivo de este  
proyecto contempla la maximización del valor presente de los beneficios netos  
generables con el proyecto, el nivel óptimo de producción estará definido por

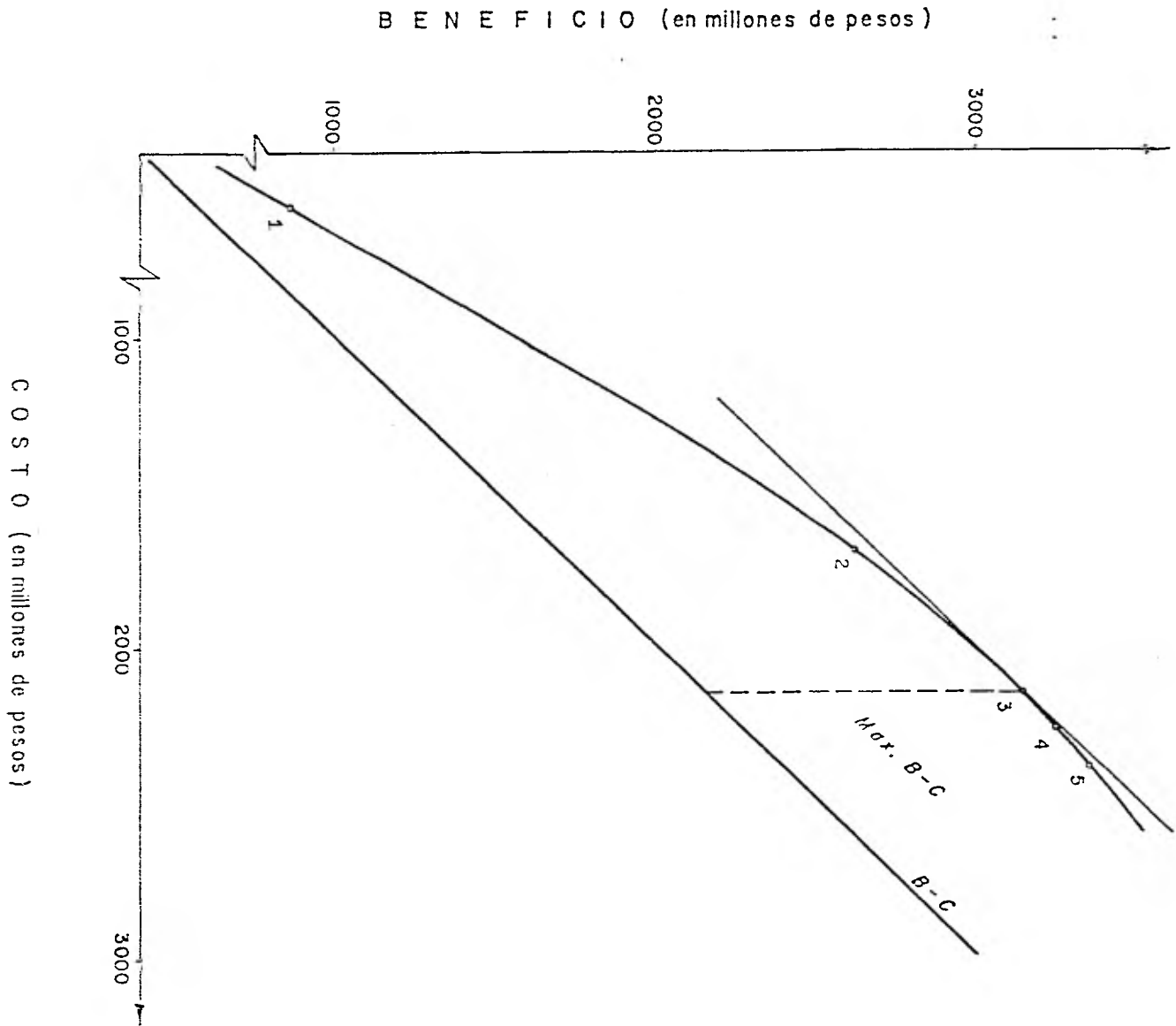
CUADRO ( 5.7.1 )

RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES ECONOMICAS  
( con tasa de interés del 12% anual )

ALTERNATIVA	SUPERFICIE ( Ha )	B	C	V.P.B.N	B/C	T.I.R %
1	10 058	875.793	573.914	301.879	1.526	16.518
2	31 462	2 630.493	1 687.295	943.198	1.559	16.695
3	40 538	3 152.318	2 151.753	1 000.565	1.465	15.920
4	41 701	3 246.764	2 265.711	981.053	1.433	15.677
5	43 383	3 363.517	2 387.166	976.351	1.409	15.501

NOTA: Los beneficios totales (B), costos totales (C) y valor presente de los beneficios netos (V.P.B.N) se hallan en millones de pesos; B/C es la relación beneficio-costo; y T.I.R es la tasa interna de retorno, expresada en porcentaje.

GRAFICA (5.7.1)  
ANALISIS DE TAMAÑO  
— al 12 % anual —



aquella alternativa en que la diferencia, entre su beneficio y costo totales, sea máxima; o bien, donde la pendiente de esta línea y la propia de la curva de beneficios son iguales, de acuerdo con los criterios expuestos anteriormente. Dicha situación ocurre en el caso de la alternativa 3 y señala a ésta como la que induce el mayor valor de la función objetivo.

Conviene aclarar que la diferencia entre las tres últimas alternativas no reviste gran importancia, y —habida cuenta del nivel de aproximación de este documento— resulta aconsejable efectuar una revisión del análisis de tamaño de dichas alternativas cuando se proceda a estudiar, a la luz de factibilidad, la iniciativa bajo consideración.

En resumen, la alternativa para la cual se desarrollará el anteproyecto de gran visión —denominada aquí Alternativa 3— pretende regar 40 538 Ha mediante la construcción de las presas de almacenamiento Jalpa y Tortugas —con capacidad de conservación de 150 y 145 hm<sup>3</sup>, respectivamente—, las derivadoras El Pozole y Siqueros, y los sistemas de conducción, distribución, drenaje y caminos requeridos para ello.

Conviene hacer notar que la zona regable correspondiente a la margen derecha del río Presidio podría iniciar su operación en el tercer año del período constructivo.

Hasta aquí, se ha descrito la metodología empleada para dar solución a dos de las tres cuestiones fundamentales que debe resolver la inge-

niería de los recursos hidráulicos, señaladas en el inciso 1.3) de este trabajo el sistema que debe construirse y la extensión de la región servida por él. Por cuanto hace a la tercera —la política de operación óptima del sistema—, aún cuando se halla implícita en los análisis realizados, se describirá a continuación.

#### 5.8 ) Previsiones de operación

La simulación del funcionamiento del sistema formado por los --almacenamientos Jalpa y Tortugas y las derivadoras El Pozole y Siqueros se realizó operando sus componentes en forma conjunta, utilizando la política de operación descrita en (11), donde se demuestra que es óptima. Con ese fin, los --almacenamientos fueron operados a nivel mensual y las derivadoras decenalmente.

La operación del sistema consistió en aprovechar, primeramente, los volúmenes aportados por las derivadoras —acotando los derivables en Siqueros a la demanda prevista para la margen derecha del río Presidio— y considerando que de los almacenamientos únicamente se extraerían los volúmenes faltantes para satisfacer la demanda total. En términos generales, puede decirse —que el sistema se simuló considerando que la demanda previsible se atendería --desde las derivadoras en época de avenidas, y que el volumen almacenado en las presas se utilizaría, principalmente, para regar durante el estiaje. En esa forma, la política de extracción de cada vaso, para un mes determinado, se estableció en forma tal que al final de cada mes se mantuviera, en ambos vasos,

la misma proporción de capacidad útil ocupada con respecto a su capacidad útil total; ello implicaba el conocimiento, al inicio de cada mes, del volumen que entraría al vaso durante los próximos 30 días, lo cual no significaba ningún problema debido al procedimiento de simulación empleado.

Dentro de este contexto, para definir la política de operación del sistema en un día o semana cualquiera, resulta recomendable seguir el proceso siguiente:

Para ese día —o semana— una vez determinada la demanda de agua en la zona de riego, deberán estimarse los volúmenes que, previsiblemente, entrarán a los vasos y escurrirán por las derivadoras. Aunque esto presenta ciertas dificultades, un proceso sencillo de estimación —y que para períodos cortos no provoca errores de consideración— consiste en suponer que los volúmenes de entrada a los almacenamientos, así como los aportados por cuenca propia a las derivadoras corresponderán a los registrados el día o semana anterior.

A la demanda así establecida, deberá restarse los volúmenes disponibles en El Pozole y en Sigüeros, tomando en cuenta —como ya se dijo— que los derivados en esta última presa no deberán exceder de la demanda que genere la zona de riego de la margen derecha del río Presidio. Si se satisface la demanda total, no habrá necesidad de extraer agua a los almacenamientos, terminando así el proceso de asignación.

En caso de haber deficiencias, el volumen por extraer el vaso - Tortugas está dado por:

$$ET = \frac{13 ( AT + VT ) + 11 ( D - VJ - AJ ) - 235}{24}$$

fórmula que resume la política de extracción a los almacenamientos, cuyas variables representan:

ET = volumen de agua por extraer del vaso Tortugas.

AT y AJ = volúmenes disponibles al inicio del período de operación ( día o semana ), en los vasos Tortugas y Jalpa, respectivamente.

VT y VJ = volúmenes de entrada a las presas Tortugas y Jalpa, considerados iguales a los registrados el día anterior.

D = volúmenes no satisfechos con las derivadoras.

Si el resultado de esta ecuación es menor o igual a cero, no se extraerá agua de Tortugas ( ET = 0 ) y se abastecerá el total de la demanda -- con agua de Jalpa ( EJ = D ). Si es mayor que cero, y si ET no es mayor que D ( en cuyo caso ET = D y EJ = 0 ), el valor numérico resultante ( ET ) será el volumen por extraer del vaso Tortugas, y el resto de la demanda se cubrirá con aguas de la presa Jalpa ( EJ = D - ET ).

Según lo anterior, se requiere implementar un sistema de aforos que permita registrar los volúmenes de entrada y salida de los almacenamientos y los aportes derivables en Siqueros y El Pozole. Esto, aunado a la información de las disponibilidades en los almacenamientos y la estimación de la de--



manda, a nivel diario o semanal, permitirá operar el sistema de presas propuesto en forma óptima, de acuerdo con la política establecida.

## CAPITULO VI

### APLICACION AL PROYECTO DE PROTECCION CONTRA INUNDACIONES A LA CIUDAD DE LA PAZ, B.C.S.

El objeto de este Capítulo es presentar la aplicación de la metodología con la cual se determina el sistema óptimo, basada en el estudio de funciones de efectividad-costo y complementándose con análisis de costo mínimo. Tal aplicación se refiere al caso particular de protección de La Paz, B.C.S., en el cual se presentan diversas combinaciones de presas, encauzamientos y obras de desvío, que cumplen con el objetivo deseado.

#### 6.1 ) Protección contra avenidas

En general, la terminología y evolución de los sistemas de riego son bien conocidos, no siendo el caso cuando se trata del control del exceso de agua. Por tal motivo, a continuación se describen algunos conceptos relacionados con el problema del control de avenidas.

*AVENIDA Y CONTROL DE AVENIDAS.* Una avenida puede definirse como cualquier gasto o nivel fluvial, destacadamente superior a los valores habituales, que provoque la inundación de tierras adyacentes al cauce de un río, que no se hallan normalmente cubiertas por él, y que, por tanto, son empleadas —o susceptibles de emplearse— en la misma forma que las áreas colindantes,

Tales fenómenos ocurren, a menudo del todo frecuentes, en casi todas las cuencas del mundo debido a la coincidencia de diversos factores meteorológicos extremos y a su combinación con las características fisiográficas de la zona afectada. Algunas de las causas, descritas en (12), que provocan la ocurrencia de avenidas son:

- a ) Los gastos transportados por los ríos y sus tributarios que exceden a sus capacidades, originados por la concentración de las aguas drenadas y lluvias intensas;
- b ) La sincronización de los picos de las avenidas del cauce principal y de sus tributarios;
- c ) El drenaje ineficiente e insuficiente para evacuar el agua en exceso de las tierras bajas y planas, con la rapidez necesaria;
- d ) La presencia de ciclones.

Las avenidas son un fenómeno natural y el control total de ellas no es practicable. Existe siempre el riesgo de que una avenida extraordinaria exceda a aquella para la cual han sido diseñadas las estructuras de control. Todo lo que el hombre hace, es adoptar medidas para mitigar los daños que ocasionalmente provocan; es decir, pérdida de vidas humanas, interrupción de las actividades humanas, daños a la propiedad y a los cultivos, y graves peligros para la salud.

Así, el término "control de avenidas" o "protección contra avenidas" no debe entenderse como la inmunidad completa contra los daños o pérdidas que provocan las avenidas. Esto no es físicamente posible ni econó-

nicamente factible. Por consiguiente, control de avenidas se refiere a la protección contra avenidas de cierta magnitud.

*DESARROLLO HISTÓRICO.* Las zonas de inundación localizadas a lo largo de los ríos y arroyos siempre han ofrecido ventajas para su desarrollo. La disponibilidad de agua corriente o almacenada ha favorecido el asentamiento de conglomerados tanto habitacionales como productivos. Los ríos constituyen medios de transporte, sitios de recreo, fuentes de desarrollo industrial y de abastecimiento de agua y sirven también como conductores de residuos.

La fertilidad de esas tierras enriquecidas por los limos y materia orgánica que depositan las aguas al desbordarse estimula la agricultura, y su horizontalidad favorece el desarrollo urbano y la construcción de carreteras y vías ferroviarias. Sin embargo, la naturaleza no proporciona tales ventajas sin poner cierto precio a esos beneficios. Los ríos y arroyos que atraen la colonización abandonan periódicamente sus cauces para cobrar su cuota en bienes y, ocasionalmente, en vidas humanas.

El hombre puede optar, ya sea por establecerse en las llanuras de inundación como si no existiera el peligro y sufrir los daños periódicos; ubicarse de tal manera que resulte menos susceptible a los daños; colonizar otros sitios menos favorables, fuera de la llanura de inundación; o bien llevar a cabo obras para confinar esas inundaciones. Hasta hoy, estas cuatro

alternativas han sido adoptadas por el hombre en diversos grados. Si bien casi siempre ha elegido una de las tres primeras, a medida que las ciudades se desarrollaban, fue más factible contar con la acción de grupo, y en las comunidades amenazadas por crecientes empezaron a construirse bordos de encauzamiento y otras obras de protección. Como en lo sucesivo se requirieron obras más grandes para reducir la inundación de las áreas urbanas en expansión, los habitantes de ciertas llanuras de inundación unieron sus esfuerzos para construir presas destinadas al control de inundaciones y bordos de protección.

Esas obras de defensa, generalmente financiadas por el gobierno, han hecho decrecer el volumen de los daños, convirtiendo los tremendos siniestros producidos por los grandes ríos en inundaciones de escasa importancia. No obstante, la expectativa de contar con obras financiadas públicamente es, en parte, causante de que, en promedio, los daños anuales por inundaciones hayan continuado aumentando a medida que se establecen nuevos desarrollos urbanos en las llanuras de inundación.

## 6.2 ) Características fisiográficas del área beneficiable

En la porción meridional de la península de Baja California, hacia el sureste de la Bahía de La Paz, y en términos del municipio de este nombre, se encuentran ubicada la ciudad de La Paz, capital del Estado de Baja

### California Sur.

Dicha ciudad constituye el centro de las actividades económi--  
cas, políticas y sociales del Estado. Aunque, desde el punto de vista urbanís--  
tico, no se advierte una división de sus zonas, puede decirse que el área tu--  
rística se extiende a lo largo de la costa, y que hacia el centro de la urbe --  
se localiza la parte antigua, en que se ubica la zona comercial, y donde alter--  
nan edificios modernos de varios pisos con construcciones antiguas, de una --  
planta. En la porción suroriental existen algunas colonias con viviendas po--  
pulares y conjuntos habitacionales que no han recibido un ordenamiento adecua--  
do ni disponen de todas las servicios. Estas construcciones levantaron, des--  
de hace tiempo, los cauces de los arroyos El Cajoncito y El Piojillo.

A juzgar por los daños ocurridos el 30 de septiembre de ---  
1976, el principal problema de índole hidráulica que afecta a la ciudad de La  
Paz consiste en las inundaciones generadas por las avenidas que eventualmente  
transportan los arroyos torrenciales denominados El Cajoncito y El Piojillo, --  
que recorren las geteras de dicha ciudad.

El agravamiento de esos fenómenos se debe, principalmente a --  
la presencia esporádica de ciclones de gran magnitud, que se generan en el --  
Océano Pacífico y que afectan particularmente la porción sur de la península --  
de Baja California. El ciclón Uta, que pasó por la zona de La Paz en la fe--  
cha anteriormente indicada, provocó en el arroyo El Cajoncito una avenida de --  
gran caudal de agua, la cual, al bajar de una de 700 Ha de la ciudad, causó --

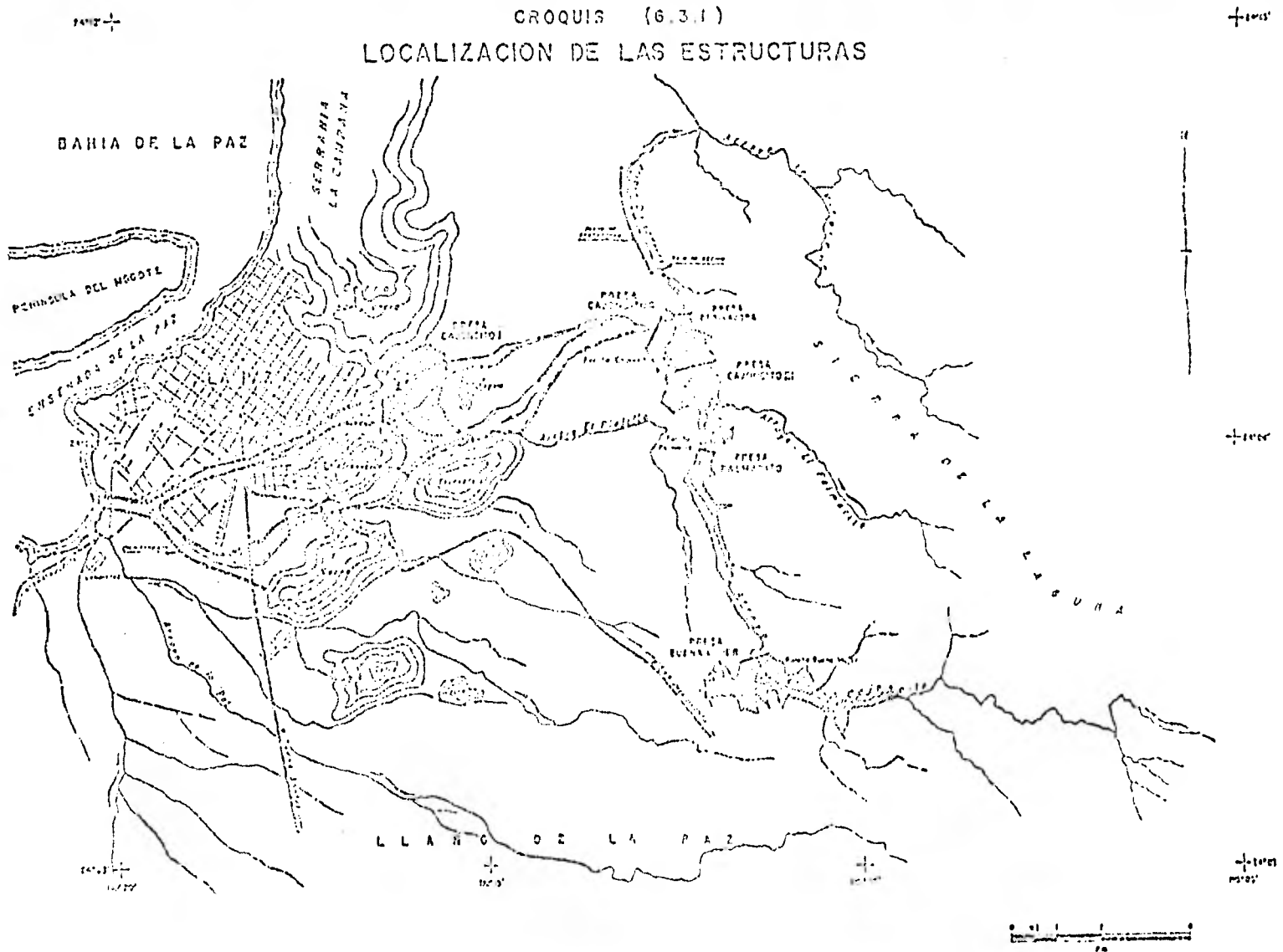
pérdidas humanas y materiales de extraordinaria significación.

Entre los demás factores que contribuyen a la ocurrencia de -- esos daños figuran, de manera predominante, la topografía de la llanura costera y la proximidad y fisiografía de la Sierra de La Laguna. Esto ayuda a que, al -- presentarse esas perturbaciones ciclónicas, la fuerte pendiente de los citados arroyos, que nacen en dicha Sierra, provoque en ellos gastos de extraordinaria magnitud.

### 6.3 ) Objetivo y Estudios Básicos

Tomando en consideración la problemática hidráulica anteriormente expuesta, los esquemas de ingeniería que habrán de plantearse en el presente estudio tienen como finalidad evitar los daños que provocan en la ciudad de La Paz las avenidas de los arroyos El Cajoncito y El Piojillo.

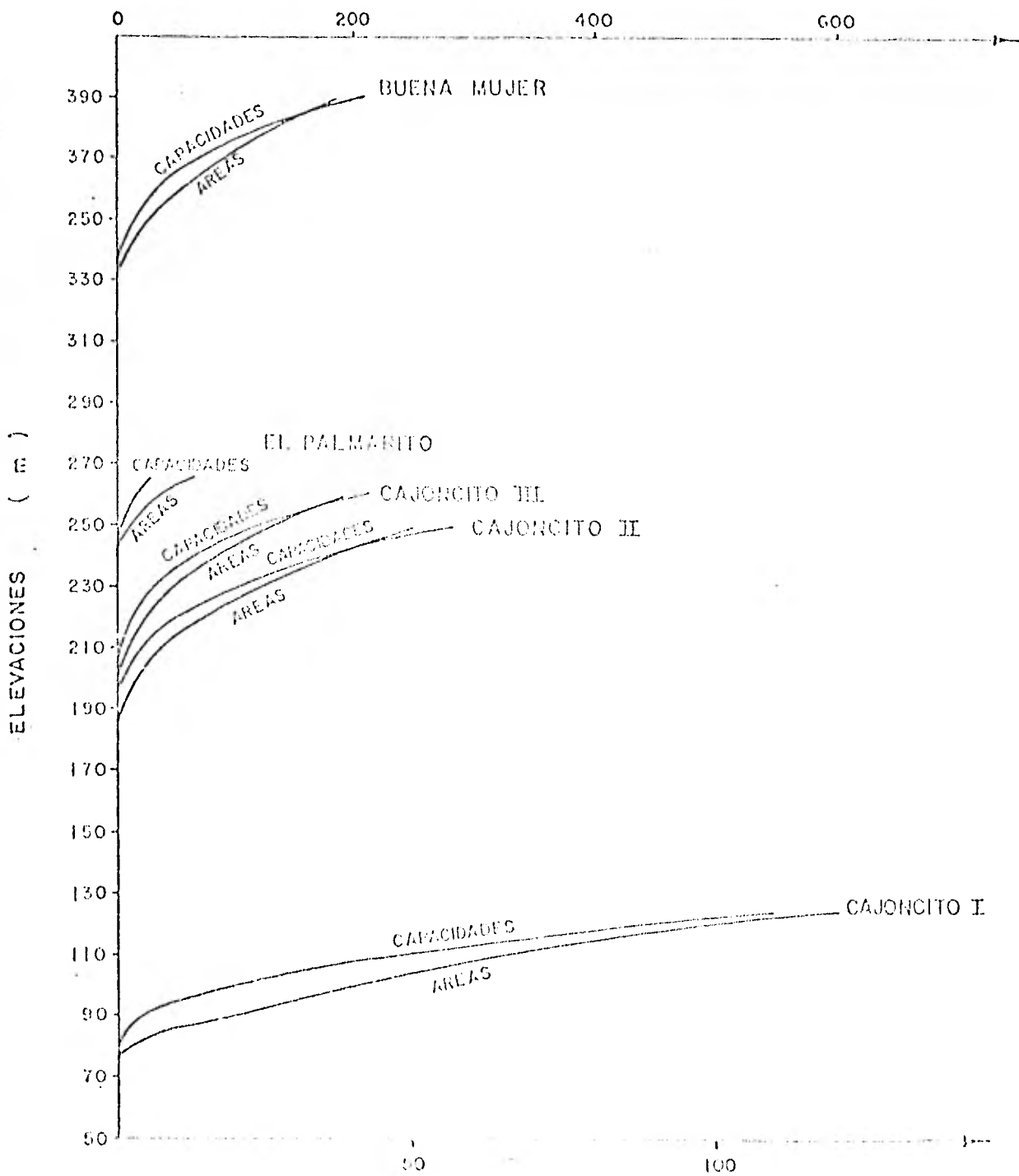
Para ello, se procedió a realizar los estudios correspondien---dientes. Así llegaron a concebirse tres tipos de soluciones. La primera de -- ellas contempla el encauzamiento de ambos arroyos; la segunda prop. se construir presas reguladoras en el cauce del arroyo El Cajoncito, en los que pudieran -- efectuarse almacenamientos; y la tercera se basa en el desvío de los caudales -- de El Cajoncito hacia la cuenca de otros arroyos que descargan fuera de la -- Bahía de La Paz. El Croquis ( 6.3.1 ) muestra la distribución de las diferentes estructuras que integrarían los sistemas concebidos, y en la Gráfica ( 6.3.1 )





GRAFICA (6.3.1)  
ELEVACIONES - CAPACIDADES - AREAS

ÁREAS (ha)



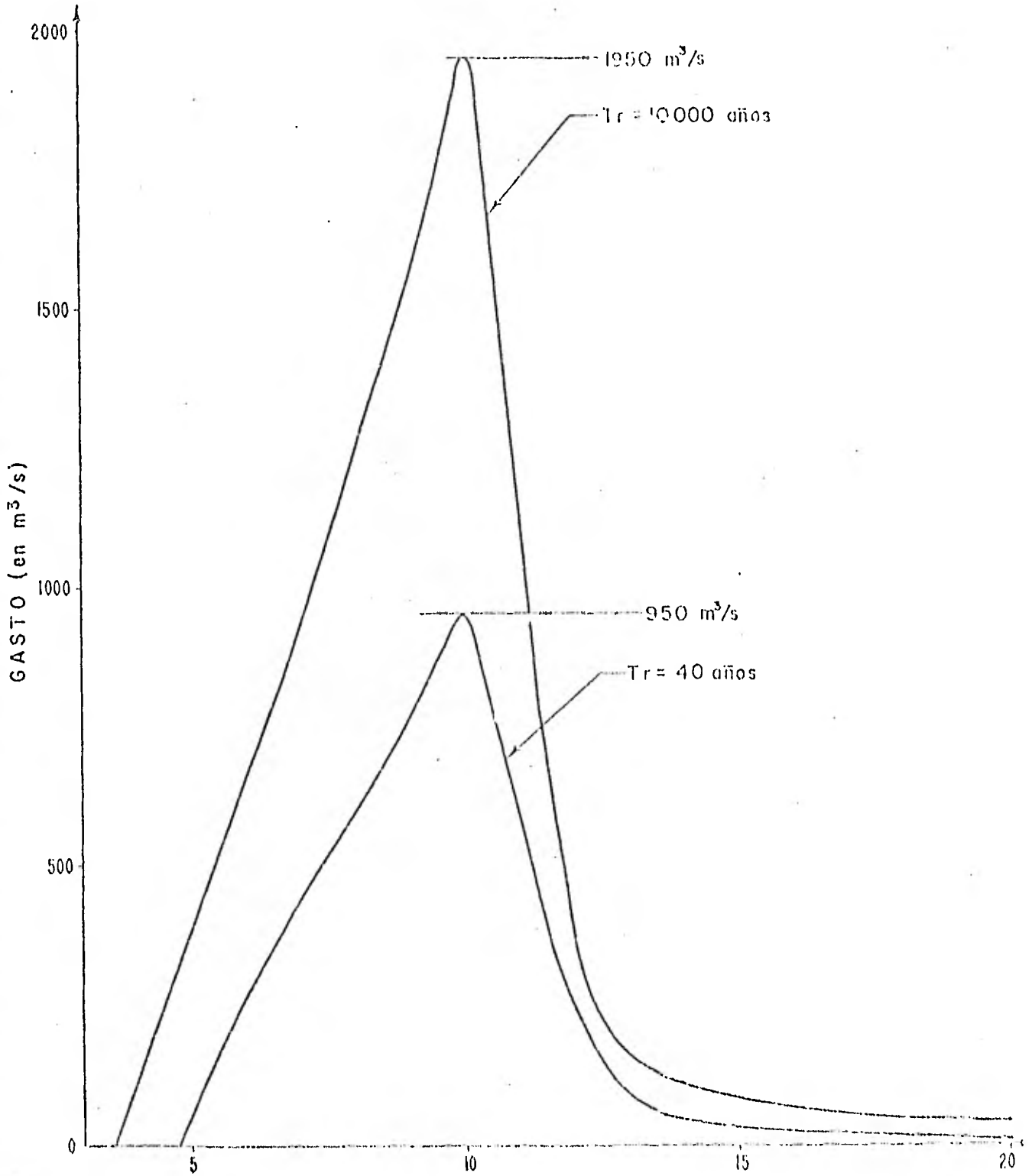
aparecen las correspondientes curvas elevaciones-capacidades-áreas.

A la vez, para estimar la magnitud de las crecientes, y en virtud de que no se dispone de registros hidrométricos de las corrientes ya descritas, se procedió a determinar el gasto máximo ocurrido durante el ciclón Liza, así como aquéllos que habrán de manejarse a nivel de diseño.

Para el análisis se aplicó el método de Gregory-Arnold, descrito en (13), y se llegó a estimar que el gasto máximo ascendió, en esa ocasión, a  $950 \text{ m}^3/\text{s}$ , y que el volumen de esta avenida en el propio sitio fue de 15.3 millones de  $\text{m}^3$ . Se considera que, aguas abajo --o sea en Cajencito I-- el gasto calculado fue de  $1\ 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el volumen fue de 12.1 millones de  $\text{m}^3$ . A la vez, con base en un estudio probabilístico de lluvias, se consideró que la tormenta provocada por dicho ciclón tiene un período de retorno de 40 años; y que la lluvia correspondiente a uno de 10 000 años alcanzaría 460 mm durante 24 horas.

Asimismo, la creciente máxima probable que se presentaría a la altura de El Cajencito fue estimada en  $1\ 950 \text{ m}^3/\text{s}$ , correspondiendo a la misma un volumen de 32.7 millones de  $\text{m}^3$ , según puede verse en el hidrograma de la Gráfica ( 6.3.2 ). Para el tramo comprendido entre este sitio y Cajencito I, se determinó un gasto máximo probable de  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que significa que, en este último sitio, el gasto probable es de  $2\ 950 \text{ m}^3/\text{s}$  y el volumen, 41.8 millones de  $\text{m}^3$ .

GRAFICA (6.3.2)  
HIDROGRAMA DE LAS AVENIDAS  
EN CAJONCITO II



#### 6.4 ) Identificación y descripción de alternativas

En razón a las posibilidades físicas para el control del arroyo El Cajoncito expuestas en el inciso ( 6.3 ), y habida cuenta de que los resultados obtenidos en los estudios básicos efectuados para los sitios Cajoncito I y El Palmirito demostraron que no eran técnicamente factibles, tuvieron que desecharse las obras principales ahí ubicables. Por tanto, los esquemas alternativos de proyecto que obedecen a esas concepciones generales pueden concretarse - como sigue:

- a ) Bordes para el encauzamiento de los arroyos El Cajoncito y El Piojillo, desde su aproximación al cerro Atravesado hasta su desembocadura al mar.
- b ) Presa reguladora en Cajoncito II y bordos para el encauzamiento de los arroyos señalados.
- c ) Presa reguladora en Cajoncito III y bordos para el encauzamiento de los mismos arroyos.
- d ) Presa reguladora en Buena Mujer y bordos para el encauzamiento de dichas corrientes.
- e ) Sistema de presas reguladoras Cajoncito II-Buena Mujer y bordos para el encauzamiento de los citados arroyos.

- f ) Sistema de presas reguladoras Cajoncito III-Buena Mujer y bordos para el encauzamiento de dichas corrientes.
- g ) Presa derivadora en Cajoncito II, tajo de desvío y encauzamiento de los arroyos Divisadero, El Cajoncito y El Piojillo.

#### 6.5 ) Análisis efectividad-costo

En este inciso se registran los resultados de los análisis que se practicaron con el fin de establecer los medios más adecuados para seleccionar la mejor entre las alternativas enunciadas con anterioridad.

El estudio de los bordos de encauzamiento se efectuó para los tramos de los cauces ubicados aguas abajo del sitio Cajoncito I, eligiendo como medida de efectividad el gasto por conducir a partir de dicho sitio.

Puesto que el diseño de cada sección del canal de conducción - puede hacerse - para un gasto dado - con dos grados de libertad, se compararon los costos resultantes para las conducciones dimensionando las respectivas secciones de acuerdo con los dos criterios siguientes: a ) manteniendo el mismo ancho de la plantilla y variando los tirantes para dar paso a los diversos gastos previstos; y b ) conservando el tirante constante, a efecto de tomar - - otros gastos a través de cambios en el ancho de la plantilla. Así, se elaboraron

las Gráficas ( 6.5.1 ) y ( 6.5.2 ), cuya comparación hacer ver la ventaja de absorber los cambios en el gasto variando sólo el - - tirante.

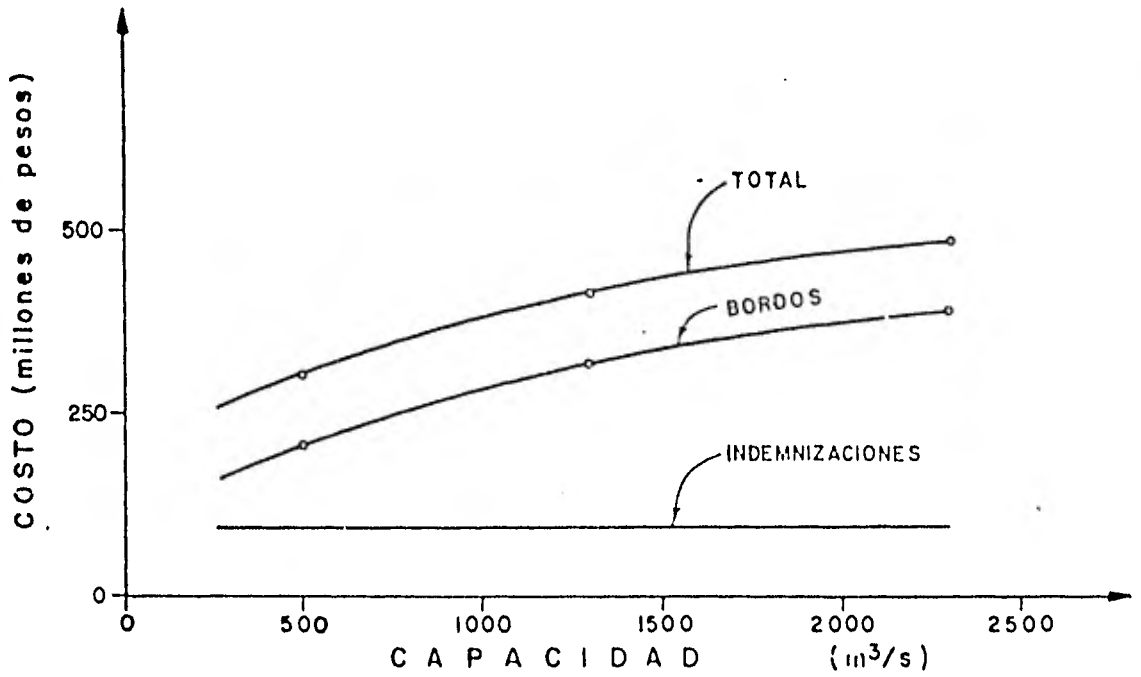
Por cuanto a las presas de control se refiere, se dedujeron de los levantamientos topográficos, las curvas capacidad-costo consignadas en la Gráfica ( 6.5.3 ). Ello implicó diseñar las cortinas, calcular cantidades de obra y definir los presupuestos respectivos, a base de los costos unitarios deducidos para el sitio, y sin considerar exiguas de escala.

Es oportuno hacer notar aquí el alto costo de la presa que pudiera erigirse en el sitio Cajoncito II, no distante que su estanca y la capacidad del vaso son totalmente similares a las propias de Cajoncito III. Por tal razón, habrán de excluirse de los análisis sucesivos los sistemas en que Cajoncito II intervenga como obra principal; es decir, se descartan las alternativas ( b ) y ( e ).

Puesto que el gasto que pasaría a través de la boquilla Cajoncito I también fue elegido como mejoría de efectividad para los sistemas que incluyen obras de control, fue necesario correlacionar, mediante el desarrollo de simulaciones hidrológicas, la capacidad de los vasos Cajoncito III y Buena - Mujer con dicho gasto —Gráfica ( 6.5.4 )—. Estos análisis se llevarán a cabo con base en el hidrograma y el gasto máximo probable de la avenida que con-

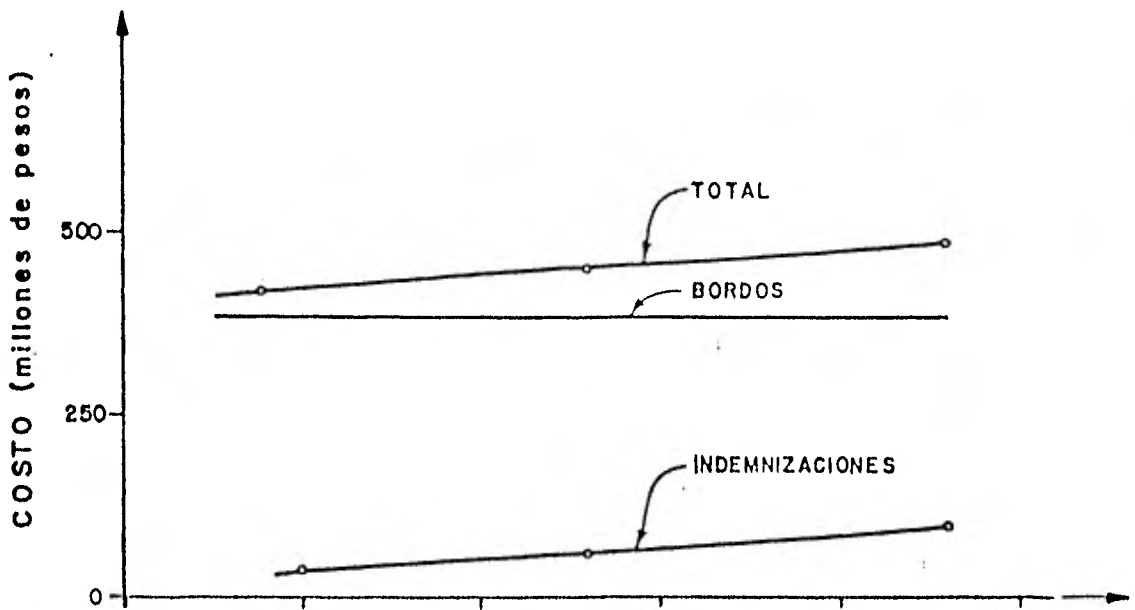
GRAFICA (6.5.1)

COSTO DE ENCAUZAMIENTO MANTENIENDO  
CONSTANTE EL AREA AFECTABLE

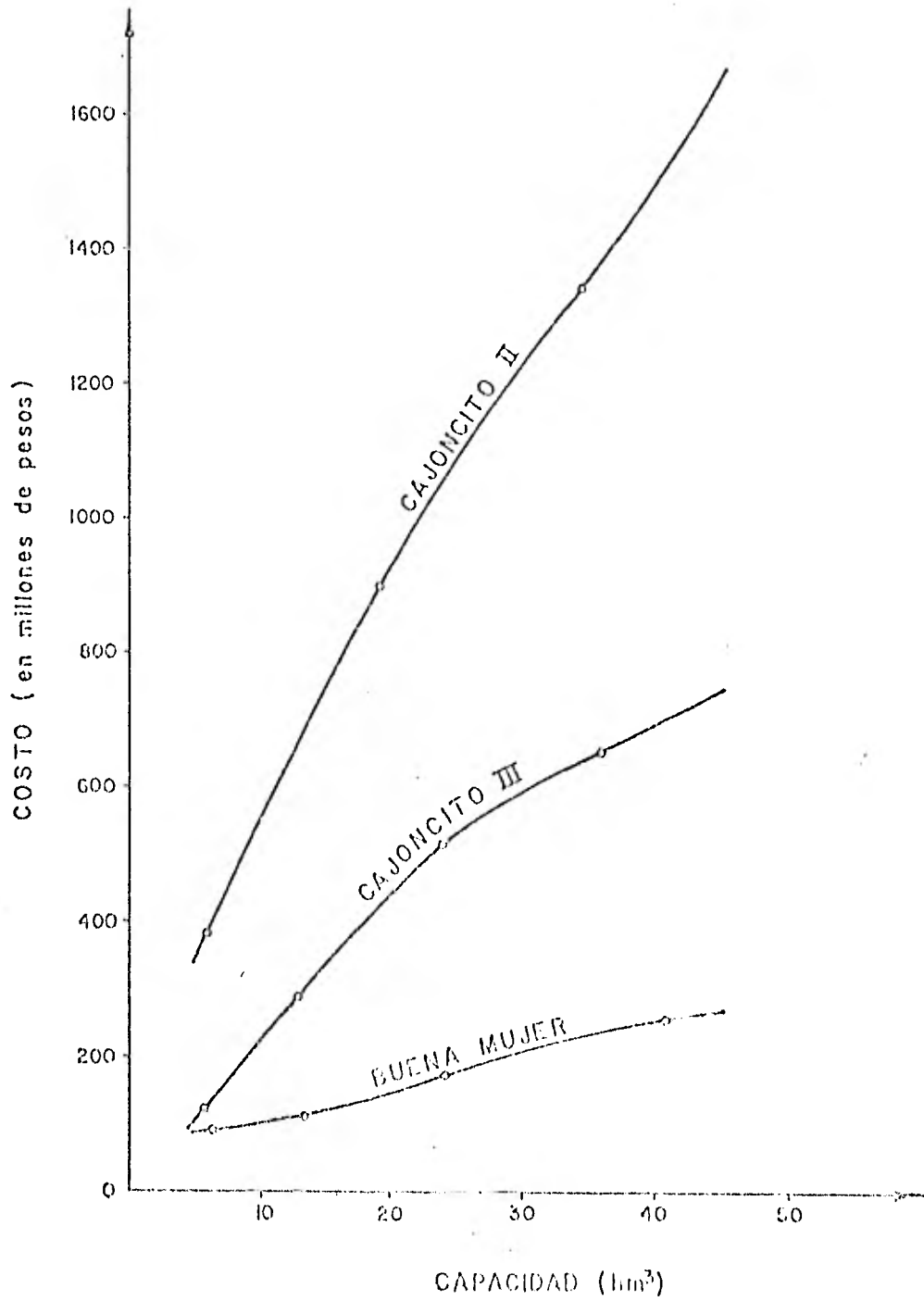


GRAFICA (6.5.2)

COSTO DE ENCAUZAMIENTO MANTENIENDO  
CONSTANTE EL PERFIL DE LOS BORDOS

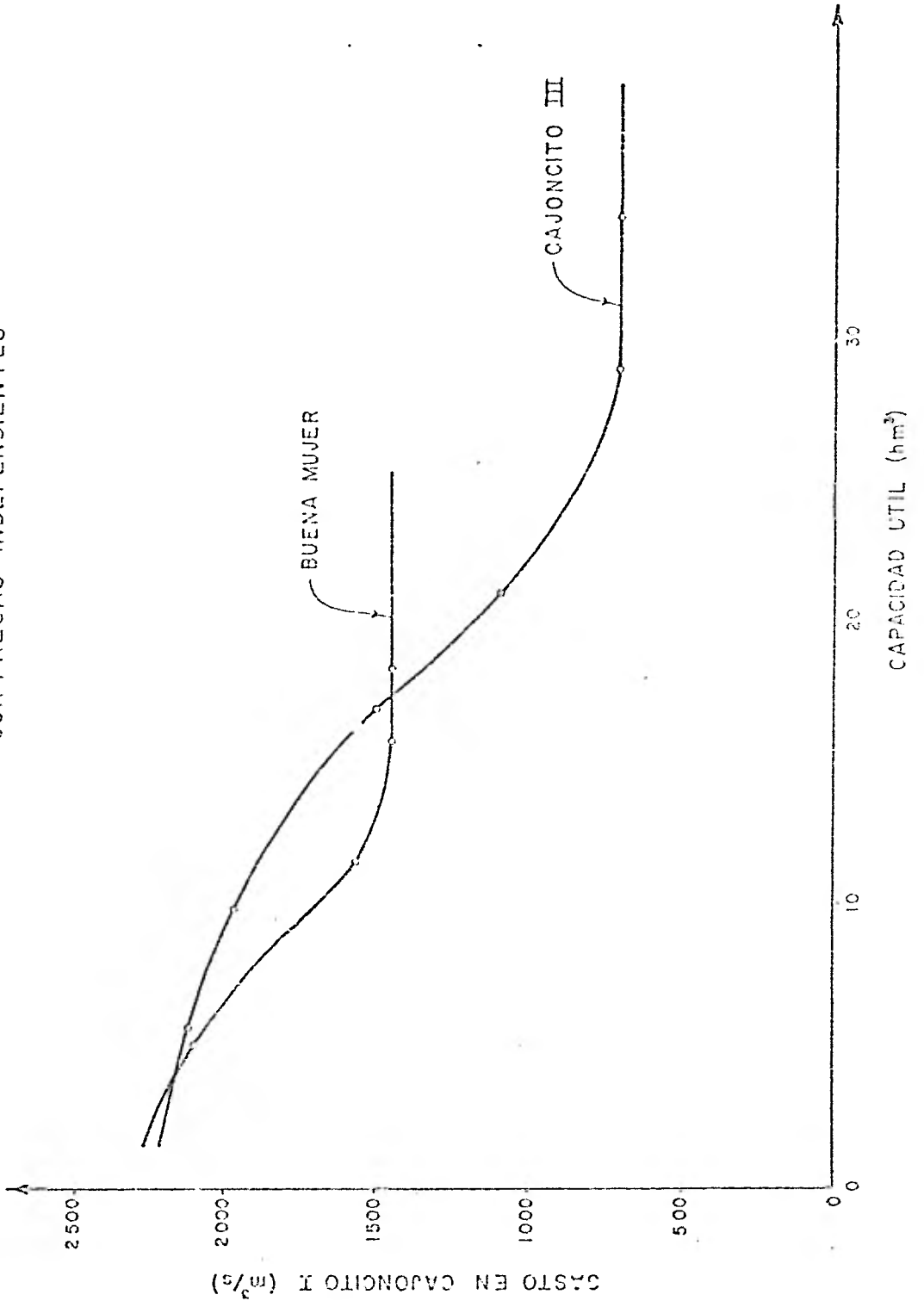


GRAFICA (G.5.3)  
RELACION CAPACIDAD-COSTO DE LAS PRESAS





GRAFICA (6.5.4)  
CURVAS DE ABATIMIENTO DEL GASTO  
CON PRESAS INDEPENDIENTES



cluyeron los estudios hidrológicos del inciso anterior.

Las capacidades de las presas reguladoras Cajoncito III y Buena Mujer, cuando éstas se encuentran formando el sistema alternativo ( F ), -- son dependientes entre sí. Por ello, el análisis de su conjunto requiere de la aplicación de la condición de optimalidad 1 --combinación de insumos--, --- siendo necesario:

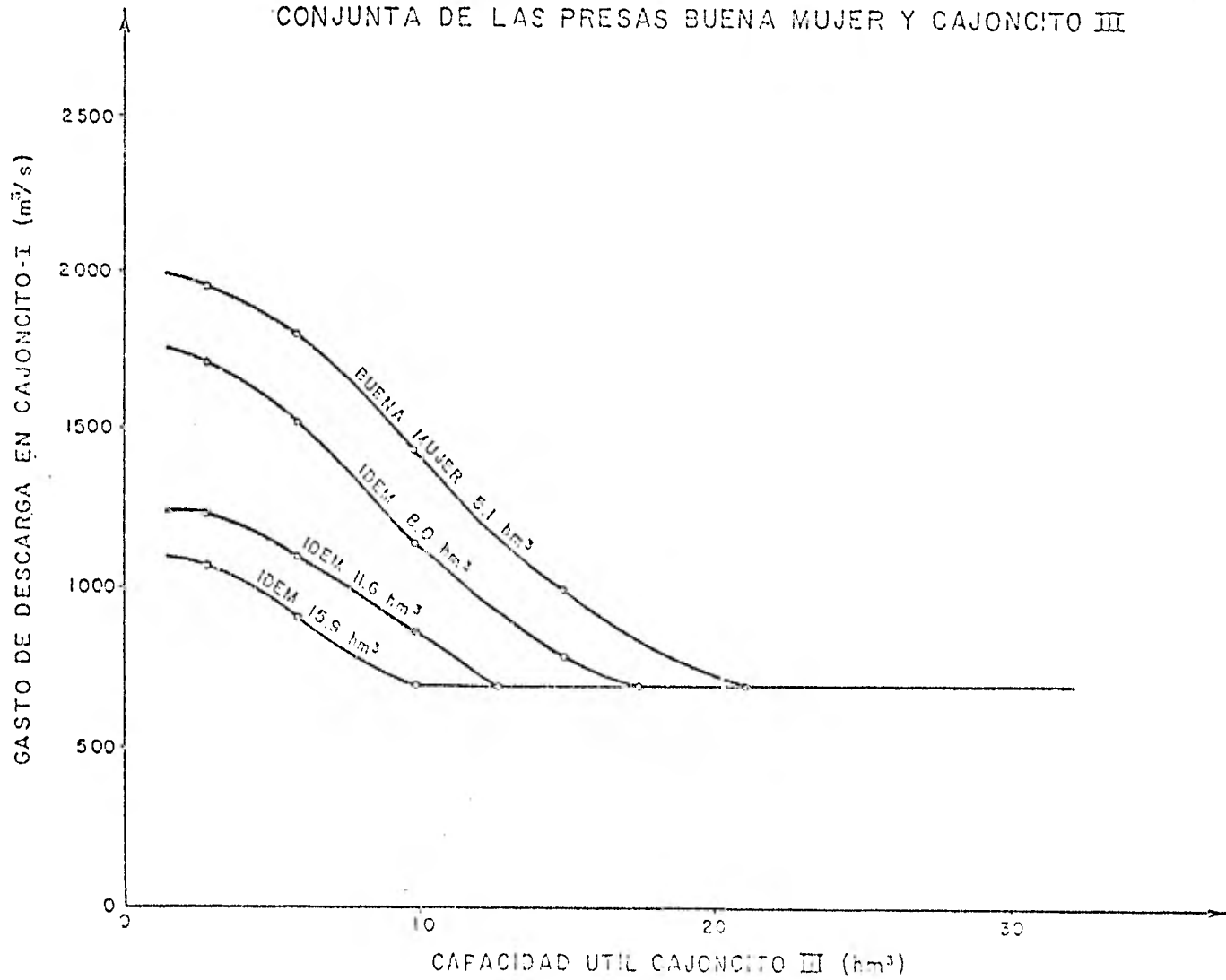
- i ) Plantear el gasto por manejar en Cajoncito I en términos de las capacidades útiles de dichas presas; y
- ii ) Deducir la función de costo de esas presas en relación --- con esas mismas capacidades.

Con el primer propósito, se simuló hidrológicamente el tránsito de la avenida de diseño a través de los vasos Buena Mujer y Cajoncito III, tomando en cuenta la influencia de sus propias cuencas y la del tramo Cajoncito III-Cajoncito I. Para el cálculo de los gastos bajo control, se partió, en cada iteración, de una determinada capacidad de la presa Buena Mujer, la que se complementó incrementando sucesivamente la capacidad útil de Cajoncito III.

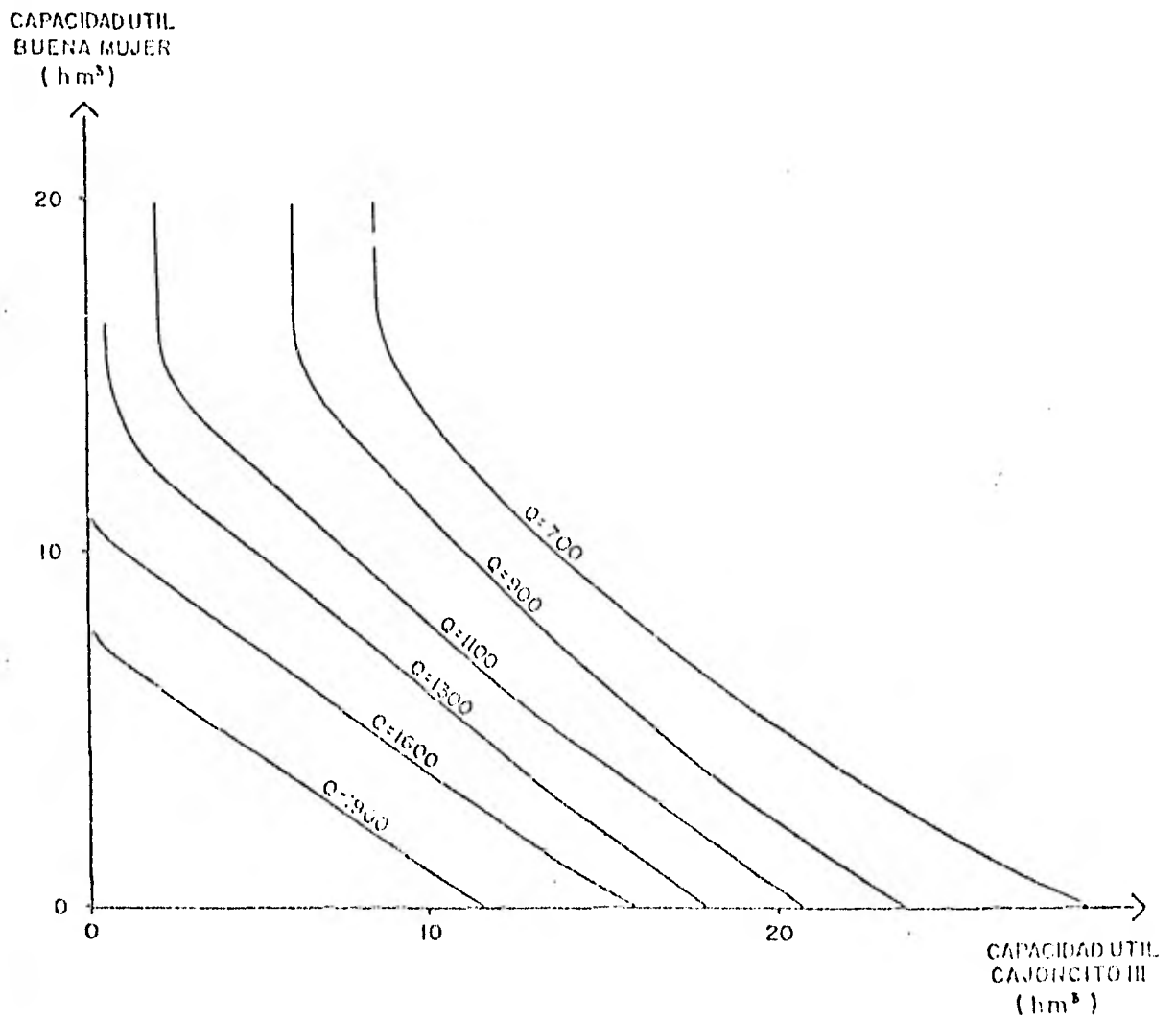
Con tales resultados se dibujaron las curvas de abatimiento -- mostradas en la Gráfica ( 6.5.5 ). Las que permitieron trazar las isocuantas del diagrama ( 6.5.6 ) correspondientes a la función gasto-capacidades útiles. Asimismo, tomando en cuenta los volúmenes de azolve, del arreglo ( 6.5.3 )

GRAFICA (6.5.5)

ABATIMIENTO DEL GASTO CON LA OPERACION  
CONJUNTA DE LAS PRESAS BUENA MUJER Y CAJONCITO III



GRAFICA (G.5.G)  
FUNCIONES GASTO-CAPACIDAD UTIL  
( en  $m^3/s$  )



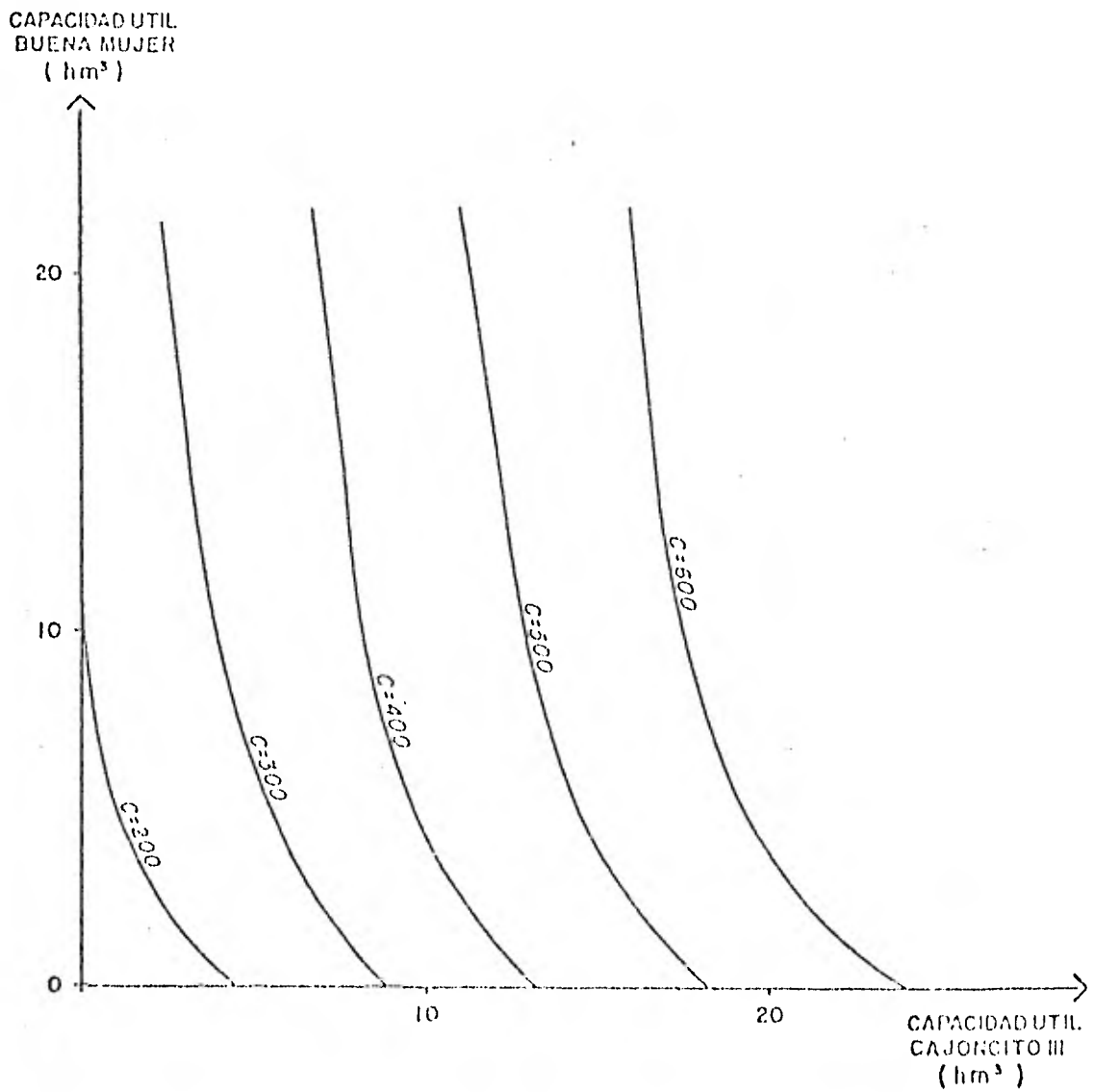
se dedujo la función de costo del conjunto de las dos presas en términos de -- las capacidades útiles de éstas —Gráfica ( 6.5.7 )—.

Dada la condición de optimalidad 1, la curva efectividad-costo del sistema compuesto por las dos presas —que figura en el Gráfica ( 6.5.8 )— pasa a través de los puntos de tangencia entre las isocuantas y las curvas de isocosto correspondientes a la última función. Sus valores aparecen relacionados en el Cuadro ( 6.5.1 ).

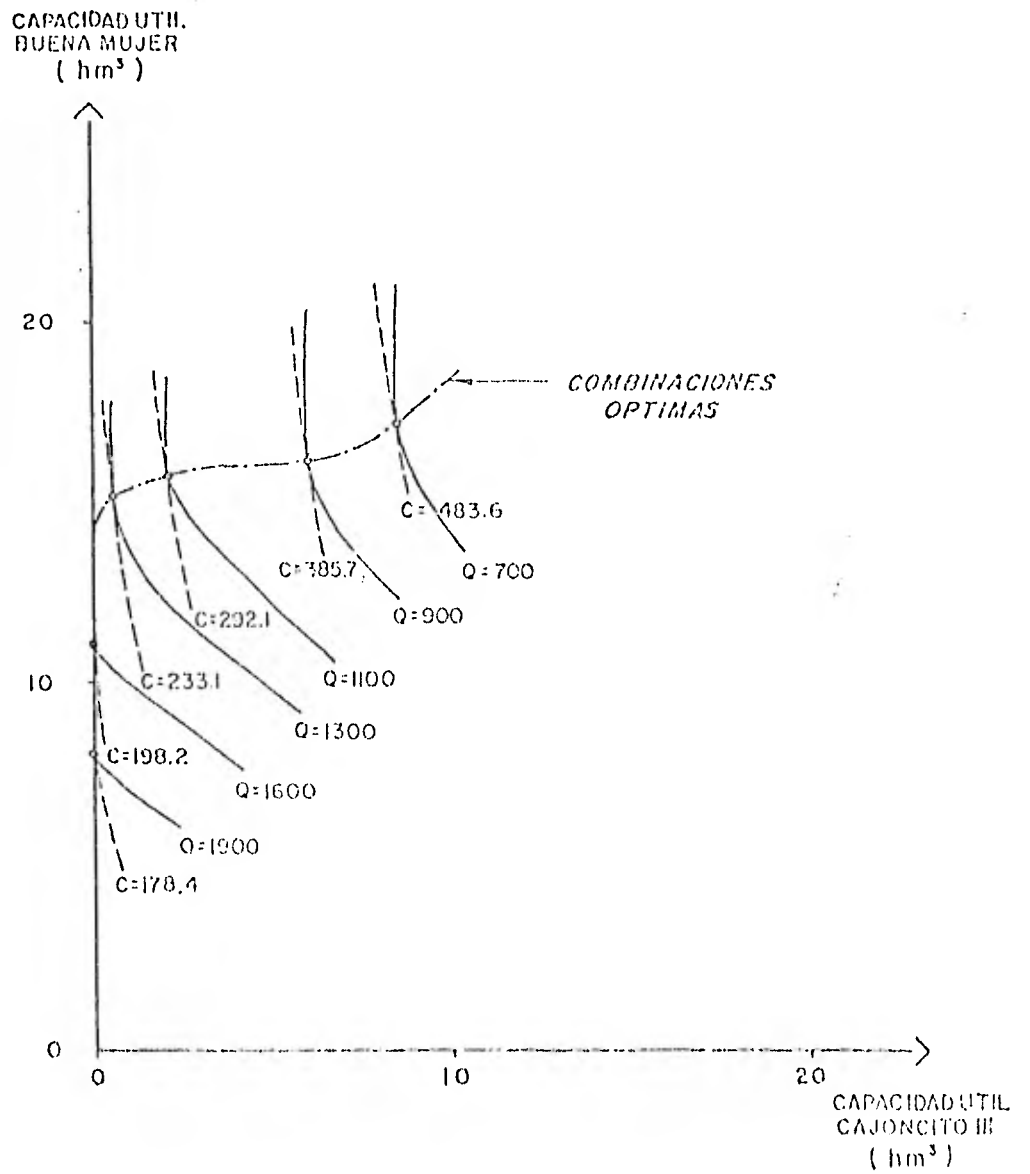
A su vez, con base en los valores de la Gráfica ( 6.5.1 ), se determinó el costo del sistema ( a ). Este asciende a los 484 millones de pesos correspondientes a la ordenada de la curva de costos totales, relacionada con un gasto de  $2\ 300\ m^3/seg$ , caudal que ha de conducirse, en ausencia de va--sos de regulación, por los encauzamientos de los arroyos El Cajoncito y El Piojillo, hacia aguas abajo del cerro Atravesado.

Por lo que respecta a las obras de derivación de la corriente de El Cajoncito —alternativa ( g )—, las condiciones geológicas del tajo impiden controlar, a bajo costo, los gastos de desvío. Por ello, se decidió derivar totalmente la avenida, lo que condujo al presupuesto del Cuadro - - - - ( 6.5.2 ), formulado ahí en términos de grandes capítulos de obra. Como ahí - puede apreciarse, para construir las obras consideradas en esta opción, sería necesario erogar 751 millones de pesos lo que, al compararlo con el costo del encauzamiento que contempla la alternativa ( a ), conduce a eliminar la propo--sición de desvío.

GRAFICA (G.5.7)  
FUNCION DE COSTOS DE LAS PRESAS  
CAJONCITO III - BUENA MUJER  
( en millones de pesos )



GRAFICA (6.5.8)  
 CURVA DE EXPANSION  
 ANALISIS EFECTIVIDAD-COSTO  
 --- OPERACION CONJUNTA ---



## CUADRO ( 6.5.1 )

## RUTA DE EXPANSION

GASTO DE DESCARGA EN CAJONCITO I ( m <sup>3</sup> /s )	CAPACIDAD UTIL ( hm <sup>3</sup> )		COSTO TOTAL (millones pesos)
	Buena Mujer	Cajoncito III	
700	17.1	8.5	483.6
900	16.1	6.0	385.7
1 100	15.7	2.1	292.1
1 300	15.1	0.5	233.1
1 600	11.2	0	198.2
1 900	8.2	0	178.4



## CUADRO ( 6.5.2 )

## PRESUPUESTO DE LAS OBRAS DE DESVÍO

C O N C E P T O	C O S T O ( millones de pesos )
Canal de desvío	210
Bordo de protección sobre el arroyo Divisadero	33
Presa derivadora	173
Obras de encauzamiento	335
T O T A L	751

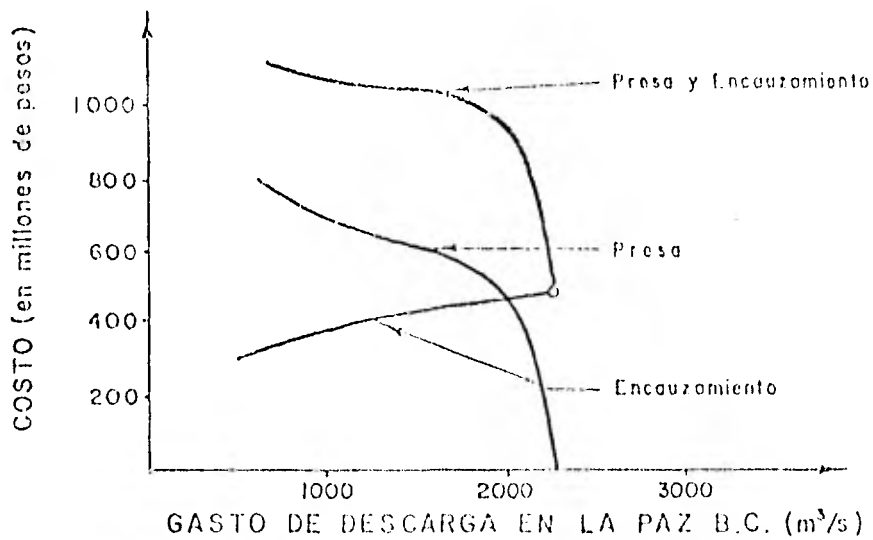
#### 6.6 ) Sistemas regulación-encauzamiento de mínimo costo

Debido a la naturaleza indefinida del cauce del arroyo El Cajoncito en su trayecto entre los sitios Cajoncito II y Cajoncito I, las obras de encauzamiento de dicho arroyo y de El Piojillo que se incluyen en los sistemas ( c ), ( d ) y ( f ) sólo se realizarían, como ya se indicó, aguas abajo del cerro Atravesado.

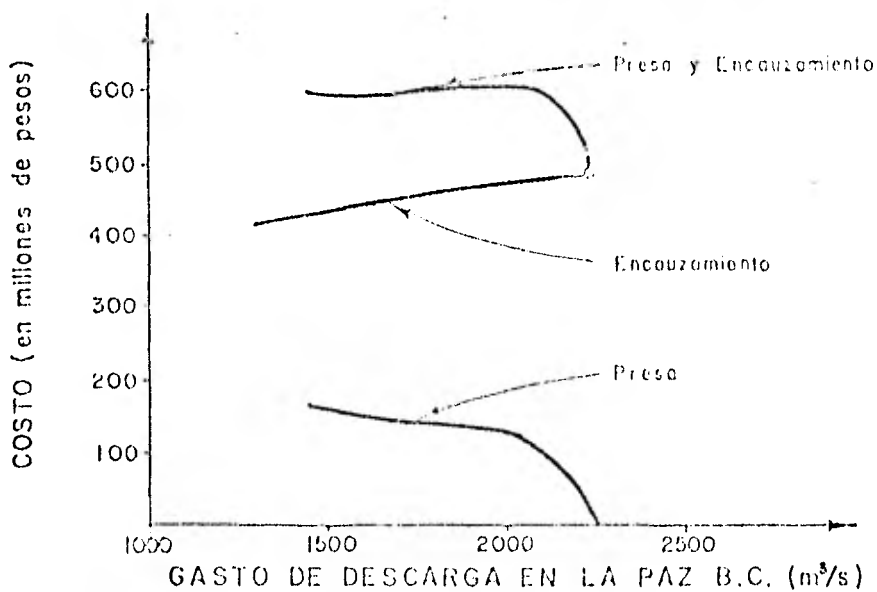
En esas condiciones, el sistema ( a ) constituye una configuración particular de los identificados como ( c ), ( d ) y ( f ); y a su vez, los dos primeros de este último grupo son también configuraciones incluidas en la gama de alternativas que agrupa el conjunto de obras ( f ).

Habida cuenta de lo anterior, y a partir de los valores de las Gráficas ( 6.5.1 ), ( 6.5.3 ), ( 6.5.4 ) y ( 6.5.8 ), se trazaron los diagramas de efectividad-costo correspondientes a los sistemas ( c ), ( d ) y ( f ) —Gráfica ( 6.6.1 )—, habiendo resultado que la configuración de mínimo costo de todos ellos es, precisamente, la constituida por los tramos que integran el sistema ( a ).

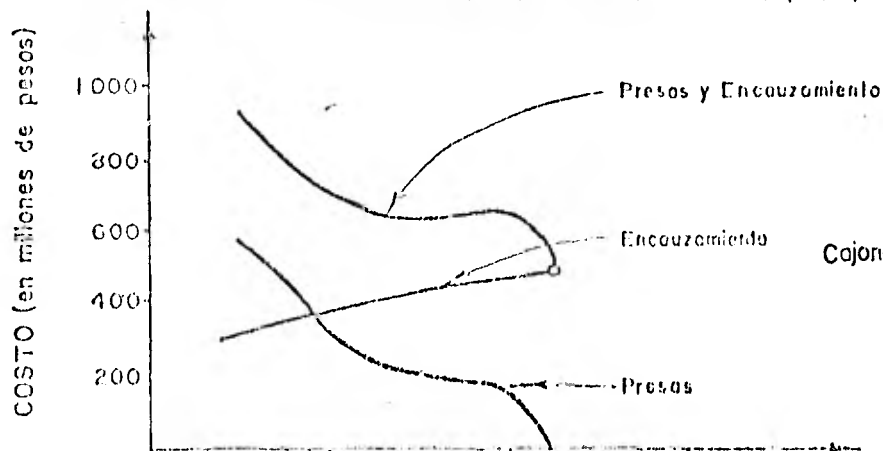
GRAFICA (G. G. I)  
ANALISIS DE COSTO MINIMO



Sistema (c)  
Cajoncito III



Sistema (d)  
Buena Mujer



Sistema (f)  
Cajoncito III y Buena Mujer

P A R T E 3

C O N C L U S I O N E S

## CONCLUSIONES

### DE LOS FUNDAMENTOS

El agua ha sido siempre factor de desarrollo. La ingeniería de los recursos hidráulicos contempla el aprovechamiento racional del preciado líquido mediante la realización de proyectos que reducirán la diferencia existente entre la oferta y la demanda de agua —en cantidad, tiempo y calidad—. Para ello, se basa en el enfoque de sistemas que, a su vez, se apoya en las técnicas propias de la ingeniería económica para dar solución a los tres problemas fundamentales de la ingeniería de sistemas: 1 ) definir el mejor sistema para el aprovechamiento de los recursos de una región; 2 ) determinar la escala de desarrollo óptima del proyecto; y 3 ) identificar la política más conveniente para la operación de los componentes del sistema seleccionado.

La ingeniería de sistemas es, de hecho, una extensión del método científico, que canaliza el pensamiento y lo guía a través del extenso laberinto que existe entre formulación de los objetivos y la realización del mejor sistema. Su metodología está constituida por cuatro pasos estrechamente relacionados entre sí: 1 ) identificación de los objetivos; 2 ) la traducción de esos objetivos en criterios de diseño; 3 ) la utilización del criterio para seleccionar el sistema que cumpla con el objetivo en el más alto grado; y 4 ) la evaluación, en este caso económica, de las consecuencias de las alternativas analizadas.

## DE LAS APLICACIONES

La aplicación de la metodología ya descrita al proyecto de riego Baluarte-Presidio, Sin., permitió definir que el mejor sistema —identificado como Sistema III— es aquél que contempla la construcción de las presas de almacenamiento Jalpa y Tortugas, y las derivadoras El Pozole y Siqueros. Asimismo, se concluyó que la escala de desarrollo más conveniente del proyecto corresponde al riego de 40 538 Ha —alternativa 3— .

De acuerdo con ello, los indicadores económicos resultantes de las evaluaciones practicadas —a una tasa de actualización del 12%— demuestran la conveniencia de continuar el proyecto a nivel de factibilidad. Dichos índices fueron: un valor presente de los beneficios netos de 1000.565 millones de pesos, una relación beneficio-costos de 1.465 y una tasa interna de retorno de 15.92%.

De la misma manera, para el caso de la protección contra inundaciones a la ciudad de La Paz, B.C.S., se concluyó que la menor inversión —corresponde a aquella alternativa que únicamente contempla encauzar, a su paso por la ciudad, los arroyos El Cajoncito y El Piojillo. El costo total de esta iniciativa asciende a 483.7 millones de pesos, de los cuales 98.7 corresponden a indemnizaciones.

REFERENCIAS

1. Nathan Buras  
Scientific Allocation of Water Resources  
American Elsevier Publishing Company  
U.S.A., 1972.
2. Guía para la Presentación de Proyectos  
Siglo XXI Editores, S.A.  
México, 1974.
3. L. Douglas James and Robert R. Lee  
Economics of Water Resources Planning  
Mac Graw-Hill  
U.S.A., 1971.
4. Warren A. Hall y John A. Dracup  
Ingeniería de Sistemas en Recursos Hidráulicos  
Compañía Editora Continental, S.A.  
México, 1974.
5. Fernando González Villarreal  
Introducción al Curso sobre Fundamentos y Aplicaciones de la Ingeniería  
de Sistemas.  
Centro de Educación Continua.  
México, 1977.
6. J. Price Gittinger  
Análisis Económico de Proyectos Agrícolas  
TECNOS.  
España, 1973.

7. Arthur Maass et al.  
Design of Water Resource-Systems.  
Harvard University Press.  
U.S.A., 1970.
8. Subdirección de Agrología. Dirección General de Estudios. S.A.R.H.  
Instructivo para la Determinación del Tipo de Clima de Acuerdo con  
el Segundo Sistema de Thornthwaite.  
México, 1972.
9. ICNIEC, S.A. Dirección General de Estudios. S.A.R.H.  
Estudio a Nivel de Gran Visión para el Aprovechamiento y Control de  
los ríos del Sur de Sinaloa.  
México, 1977.
10. Subdirección de Hidrología. Dirección General de Estudios. S.A.R.H.  
Instructivo para la Determinación de las Demandas de Riego en un -  
Campo de Cultivo.  
México, 1973.
11. Jorge Lora Andrade y Javier Ramírez Esquivel.  
Análisis de la Operación Conjunta de dos Almacenamientos para Riego.  
XI Congreso Nacional de Ingeniería Civil.  
México, 1979.
12. K.K. Framji y B.C. Garg.  
Flood Control in The World, A Global Review  
International Commission on Irrigation and Drainage.  
India, 1977.
13. Subdirección de Hidrología. Dirección General de Estudios. S.A.R.H.  
Gastos Máximos Generados en el Arroyo el Cajoncito.  
México, 1976.