

EVALUACION TECNICA-ECONOMICA DE LA AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL
DISTRITO DE RIEGO RIO RECIO

Edison Cárdenas Saavedra *

* Ingeniero Agrícola M.S.

Este trabajo reproduce la tesis presentada al Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrarias ICA-Universidad Nacional de Colombia, con la cual su autor optó el título de Magister Scientiae en Economía Agrícola.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO

SUBGERENCIA DE DESARROLLO RURAL
DIVISION DE ESTUDIOS SOCIOECONOMICOS

SUBGERENCIA DE INVESTIGACION
DIVISION DE INGENIERIA AGRICOLA

"La propiedad intelectual de este material pertenece al Instituto Colombiano Agropecuario ICA. El ICA autoriza la reproducción total o parcial siempre y cuando se cite el título y página de esta publicación, se dé el debido crédito al autor y se indique que la obra se puede obtener directamente en el ICA, Apartado Aéreo 151123 El Dorado, Bogotá. PROGIBIDA SU REPRODUCCION PARA FINES COMERCIALES". Resolución No. 758 de Mayo 6 de 1976.

Tibaitatá, Abril de 1978.

C O N T E N I D O

	Página
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1. Evaluación Social de Proyectos.....	4
2.2. Tecnología de Riego.....	7
3. GENERALIDADES DEL AREA DEL PROYECTO.....	10
3.1. Localización.....	10
3.2. Condiciones Climáticas.....	10
3.3. Sistema de Riego y Drenaje.....	12
3.4. Infraestructura Vial.....	14
4. METODOLOGIA.....	15
4.1. Presentación de Alternativas.....	15
4.2. Metodología de Análisis.....	16
4.2.1. Descripción general del método utilizado.....	16
4.2.2. El modelo "diseño" del proyecto.....	17
4.2.3. El modelo de evaluación cuantitativa del proyecto...	26
5. RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
5.1. Evaluación Hidrometeorológica.....	34
5.2. Selección de Cultivos.....	36
5.3. Requerimiento de Riego.....	41
5.4. Determinación del Area para cada Cultivo.....	47
5.4.1. Beneficios netos (\$/Ha) en función del riesgo asumi- do.....	50

	Página
5.4.2. Ritmo de crecimiento del proyecto.....	55
5.4.3. Intensidad de uso de la tierra "con" proyecto.....	56
5.5. Evaluación Económica.....	56
5.5.1. Superficie adicional "con" proyecto.....	59
5.5.2. Beneficios del proyecto.....	59
5.5.3. Costos del proyecto.....	61
5.5.4. Indicadores económicos.....	62
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
6.1. Conclusiones.....	68
6.2. Recomendaciones.....	70
7. RESUMEN.....	71
8. SUMMARY.....	74
LITERATURA CITADA.....	77
ANEXOS.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Eficiencias de riego y oferta de agua para cada alternativa.....	21
2	Costos del proyecto.....	32
3	Distribución de las áreas adquiridas por INCORA, 1972.....	38
4	Distribución de la tierra en general.....	38
5	Capacidad de uso y manejo de los suelos.....	39
6	Area sembrada de cultivos.....	41
7	Uso consuntivo -Et- (mm).....	42
8	Precipitación efectiva probable mensual en mm.....	43
9	Demanda neta de agua en mm, para probabilidades de lluvia de 75%, 85% y 97%.....	45
10	Jerarquización del Distrito de Riego.....	46
11	Ritmo de mejora de eficiencia de riego.....	47
12	Matriz modelo. Probabilidad de lluvia 85% y eficiencia de riego 36%.....	48
13	Rendimiento esperado de los cultivos bajo condiciones de riesgo.....	53
14	Beneficios netos (\$/Ha) esperados bajo condiciones de riesgo.....	54
15	Areas y beneficios máximos para expectativas de lluvia mínima mensual.....	55
16	Ritmo de incremento de áreas bajo riego.....	57
17	Intensidad de uso de la tierra "con" proyecto.....	58

Tabla		Página
18	Superficie adicional "con" proyecto (Ha).....	60
19	Valor neto adicional de la producción "con" proyecto, en millones de pesos.....	61
20	Costos del proyecto en miles de pesos.....	63
21	Costos adicionales en la situación "con" proyecto en miles de pesos.....	64
22	Indicadores económicos de las alternativas propuestas	64
23	Análisis de sensibilidad.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del proyecto.....	11
2	Sistema de distribución del agua de riego.....	13
3	Diagrama de flujo del modelo de evaluación cuantitati <u>v</u> va del proyecto.....	27
4	Función de producción del algodón Tanguis obtenida en La Molina, Lima en 1961.....	51
5	Función de producción del maíz híbrido PM-211 obteni- do en La Molina, Lima, 1962.....	51
6	Función de producción del arroz obtenida en Las Fili- pinas, 1970.....	52

1. INTRODUCCION

El Distrito de Riego Río Recio, situado al norte del Departamento del Tolima, fue iniciado por el Ministerio de Economía Nacional y se originó de los estudios realizados por una Comisión del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" y la firma Irusta Fortul sobre un área de 22.000 Ha. en el año 1950. La obra de captación fue construida por Centrales Eléctricas del Tolima.

El plan de desarrollo contempló la derivación de aguas del río Recio con doble propósito: producir energía eléctrica aprovechando una caída de 110 m. e irrigar con el agua sobrante parte de las tierras de Ambalema y Lérica.

Las turbinas generadoras de energía (dos en total) están localizadas antes de las bifurcaciones de los canales para riego. El caudal requerido para el funcionamiento de dichas turbinas no se recupera debido a que vierten nuevamente al río.

Cada una de las turbinas requiere $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y genera 2.500 Kw. En la actualidad ambas funcionan en forma alternada, disminuyendo el caudal del canal principal en $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ quedando disponible para riego solamente $8.0 \text{ m}^3/\text{seg.}$

El área potencialmente irrigable es de 10.022 Ha. (17); de las cuales se encuentran bajo riego 3.865 Ha. en la sección de Lérica y 3.662 Ha.

en la sección de Ambalema.

Los cultivos predominantes son el arroz y el sorgo cuya producción se ha visto afectada negativamente por la escasez del recurso agua sobre todo en los últimos años, ocasionando una disminución en los ingresos de los agricultores*.

En la actualidad se tienen la bocatoma, los canales principales y parte de las obras a nivel predial: estructuras de control de agua y adecuación de tierras; pero el recurso agua se dedica en un 25% a la generación de electricidad. Por otra parte los usuarios hacen un uso ineficiente del agua disponible para riego: actualmente la eficiencia de riego corresponde a un 24% aproximadamente.

Por lo expuesto anteriormente, el problema existente radica básicamente en la escasez relativa del recurso agua que no permite asegurar el suministro necesario en las áreas actualmente irrigadas y menos aún ampliar el área susceptible de riego.

La formulación de alternativas de inversión tendientes a consolidar la oferta de agua de riego en el Distrito y a ampliar el área bajo riego en el sentido de intensificar el uso de la tierra e incorporar nuevas áreas, incidirá directamente en el beneficio de los agricultores, y por ende en la economía del país.

* Entrevista con agricultores.

Algunas alternativas para aumentar la disponibilidad del agua para riego son las siguientes:

1. Mejorar la eficiencia del riego actual.
2. Dejar fuera de uso las turbinas generadoras de energía eléctrica y suplir dicha energía por intermedio de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC). En consecuencia, utilizar el caudal dedicado a la generación de energía eléctrica para riego.
3. Recuperar aguas abajo, los caudales que se pierden al generar energía eléctrica y utilizarlos para riego.
4. Ampliar la capacidad del canal principal, desde la bocatoma hasta la derivación de la hidroeléctrica (5 Km).

Los objetivos que se plantean en el presente trabajo son:

1. Diseñar las alternativas técnicas-económicas para el incremento de la disponibilidad del agua para riego.
2. Estimar los beneficios y los costos sociales de las diferentes alternativas.
3. Determinar la factibilidad económica de las alternativas propuestas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Evaluación Social de Proyectos.

El principio que se debe tener en cuenta para realizar la evaluación social de proyectos, es que los costos asociados con el uso de factores y los beneficios asociados con el aumento de la producción o la modificación de sus características suelen diferir de los costos y beneficios privados correspondientes. Para la valoración de los costos y beneficios se deben considerar los precios sociales, que reflejan el costo de oportunidad "social" -para la sociedad- del uso de factores productivos e insumos y los beneficios "sociales" de la producción de bienes y servicios.

Los precios sociales generalmente son diferentes de los precios de mercado. El analista "construye" los precios sociales a partir de principios y proposiciones económicas basadas en la propuesta que el precio de mercado no refleja la utilidad que dicho bien tiene para la sociedad (9).

La evaluación social contrasta con la evaluación privada, en que los beneficios y los costos se evalúan a precios de mercado; y para la actualización de los beneficios y los costos se considera la tasa de interés del mercado, que es la tasa a la que se puede conceder o pedir préstamos.

La existencia de imperfecciones en los mercados de insumos y productos hace que los precios de mercado, no representen los aportes reales de los factores de producción; luego a través de estos precios no siempre es posible medir los beneficios y costos del proyecto para la sociedad. Los mercados son imperfectos por muchas razones: rigidez institucional, control de precios, información insuficiente de precios ofrecidos por vendedores o compradores que compiten, elementos de monopolio, precios tradicionales, etc.; cuando ésto no sucede cada bien o servicio recibirá su "precio social" igual al valor del producto marginal para la sociedad.

En la práctica los costos y los beneficios se suelen computar a precios de mercado, los cuales pueden no ser el mejor indicador de un bien o servicio. Gittinger (12) dice que para análisis de proyectos de riego, se utiliza frecuentemente el precio de mercado, salvo tres áreas donde el analista debe considerar "precios sombra": moneda extranjera, productos de comercio internacional y mano de obra no calificada. A propósito de ésto, el BIRF (2) indica "... es imposible evaluar de una manera absoluta los beneficios y los costos, como se exige para que todo proyecto pueda justificarse, a causa de la arbitrariedad de las definiciones, de la complejidad de algunos costos y beneficios y de la necesidad de meterse en pronósticos. Pero se puede hacer, con una confianza mucho mayor, la evaluación relativa de los beneficios y los costos, que es todo lo que hace falta para utilizar el análisis como instrumento para elegir proyectos".

La conveniencia de la ejecución de un proyecto desde un punto de vis

ta económico, se manifiesta a través de los parámetros económicos. Los más utilizados son: El valor presente neto, la relación beneficio-costo y la tasa interna de retorno.

El valor presente neto consiste en llevar al máximo la diferencia entre los beneficios y los costos, lo cual expresado de una manera práctica indica que los beneficios adicionales exceden a los costos adicionales. Según Infante (5) es uno de los indicadores más adecuados y en cierta forma el más seguro de los existentes cuando deseamos seleccionar alternativas.

El objetivo de la relación beneficio-costo, es guiar al decisor en la canalización de los recursos hacia aquellos proyectos que proporcionen la mayor ganancia en beneficio neto a la sociedad (23). Así mismo Guillén (13) afirma que la comparación y ordenación de los proyectos por prioridades debe basarse en la relación beneficio-costo, cuando se aplica a proyectos semejantes, localizados dentro de una región homogénea; sin embargo la relación beneficio-costo, plantea tres problemas: la identificación de los efectos económicos de la inversión, su evaluación en términos monetarios y su homogenización en el tiempo (5). La tasa interna de retorno (TIR), elimina fijar a priori la tasa de actualización; Hawkins (14) al respecto recomienda que cuando se usa la TIR para comparar proyectos, deben cumplirse las siguientes condiciones: que los beneficios netos no deber tener signos cambiantes y que los proyectos deben tener igual período de maduración.

Una vez definidos los parámetros económicos, es necesario tomar una decisión económica, cuyas consecuencias generalmente no se pueden predecir con confiabilidad, es decir, hay incertidumbre. Dorfman (7) opina que en la práctica se ignora la incertidumbre, como si no existiera, para simplificar el problema; pero en decisiones operacionales de diseño cuyos resultados se ven influenciados por el azar o por factores desconocidos, como la variabilidad del clima, esta simplificación no es válida. James (19) sostiene que una forma de afrontar la incertidumbre, es probar la sensibilidad de los resultados del proyecto a variaciones en la magnitud de las variables claves, en valores optimistas y pesimistas. Si el proyecto es viable aún cuando se usen valores pesimistas, puede ser aceptado. El HIMAT (16) para el análisis de sensibilidad considera cambios porcentuales en los precios agrícolas, rendimiento de los cultivos, costos de producción agrícola y costos unitarios de las obras. Para cada variable se permiten tres cambios, de esta manera se obtienen 81 resultados de beneficio-costos y tasa interna de retorno.

2.2. Tecnología del Riego.

Plantear una mejora en la eficiencia de riego requiere conocer la situación actual del riego en el Distrito, a fin de identificar los costos en que incurre el proyecto y los beneficios que se esperan del mismo. Peniche (24) comenta que para lograr lo anterior, deberá hacerse la clasificación por grupos de predios, de acuerdo con su eficiencia de aplicación del agua*. Esta clasificación informará tanto sobre la calidad del grupo

* La eficiencia de aplicación se define como la relación entre el volumen requerido por el cultivo y el volumen aplicado.

respecto al riego como de la asistencia técnica que requiere. El valor índice para la clasificación resulta de dividir el volumen promedio de riego predial "Vr" sobre el volumen promedio de riego del Distrito "Vd" del cultivo en cuestión. Se establecieron varios grupos así:

<u>Grupo</u>	<u>Índice</u>
A	< 0.8
B	0.8 - 1.0
C	1.00 - 1.2
D	>1.2

Esta clasificación ha sido generalmente cuestionada por su arbitrariedad. Escobar (10) en su estudio de "Análisis comparativo de patrones de producción utilizados para el pequeño agricultor", hace la conformación de sus grupos a partir del supuesto de normalidad de sus observaciones y calculando un intervalo de confianza alrededor de la media.

La oferta de agua para el proyecto está conformada por los caudales probables y por la lluvia probable aprovechable por los cultivos o lluvia efectiva. Esta última tiene gran importancia en la programación de los riegos. Prescott y Anderson citados por Nava (21), después de una serie de experiencias, estimaron que puede considerarse como lluvia efectiva*, el 80% de los valores mensuales de precipitación probable, siempre y cuando estas precipitaciones sean superiores al valor obtenido por la siguiente ecuación:

* La lluvia efectiva es la cantidad de lluvia retenida en el suelo.

$$P = 0.9 \quad Ev^{0.75}$$

Donde:

P = Precipitación, mm

Ev = Evaporación, mm

Si los valores son menores que los dados por la ecuación anterior, se considera que la lluvia no es significativa en el proceso de evapotranspiración. Esta información es requerida para el cálculo de la demanda neta de riego.

3. GENERALIDADES DEL AREA DEL PROYECTO

3.1. Localización.

El área del Distrito de Riego se encuentra localizado en el norte del Departamento del Tolima y hace parte de los municipios de Ambalema y Lérica (Figura 1). Limita al norte con los ríos Bledo y Lagunilla, al sur con el río Recio, al este con el río Magdalena y al Oeste con las quebradas de la Sierra y Agua Fría, según lo establecido en la Resolución No. 08098 de Agosto 20 de 1974, de la Gerencia General del Instituto Colombiano de Reforma Agraria, INCORA.

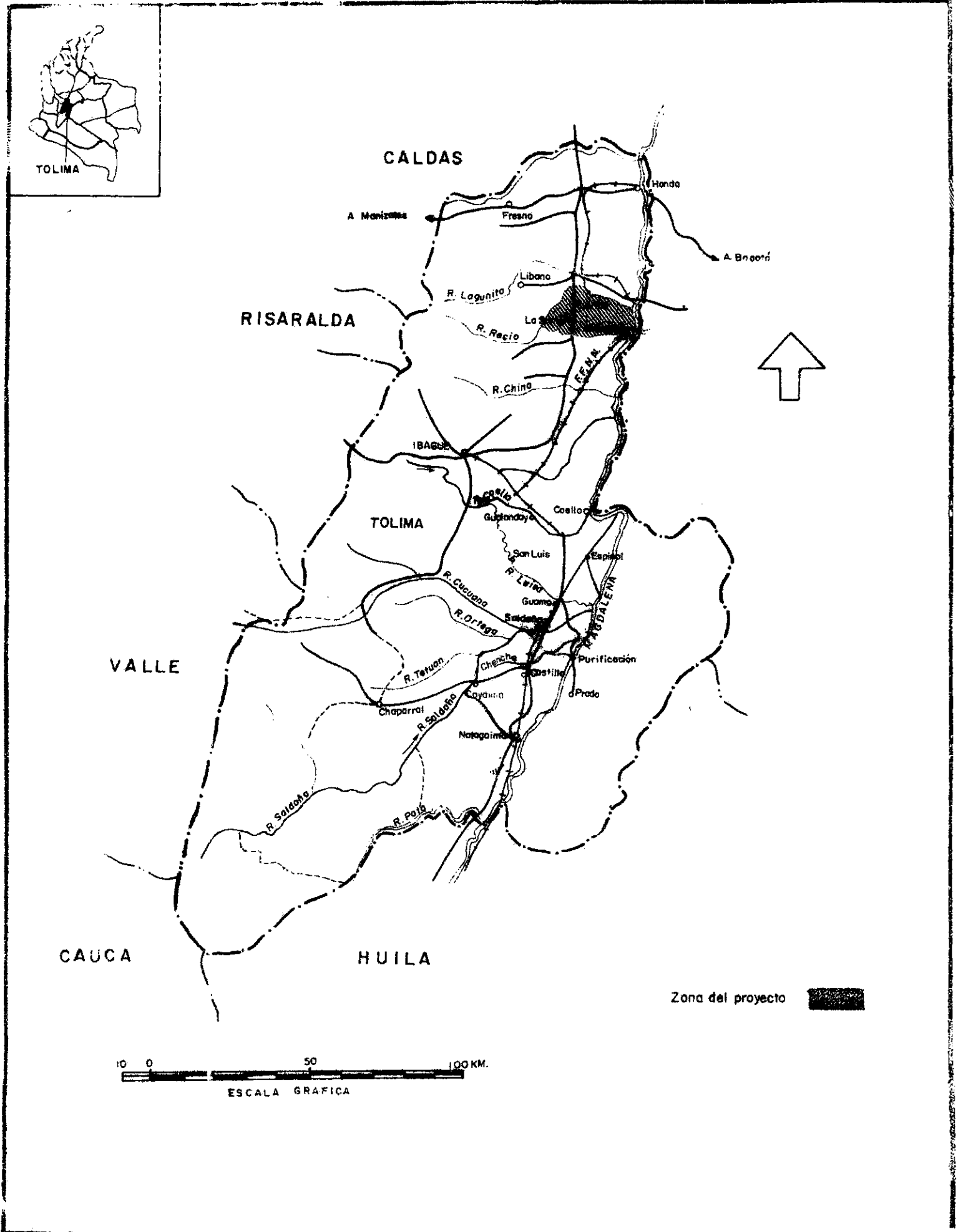
Las coordenadas de los puntos extremos, según el meridiano de Greenwich son: entre los $4^{\circ}47'30''$ y los $4^{\circ}54'00''$ de latitud norte y entre los $74^{\circ}58'$ y los $74^{\circ}04'$ de longitud oeste.

3.2. Condiciones Climáticas.

De acuerdo a la clasificación de Holdridge, dentro del mapa ecológico de Colombia, la zona del Distrito pertenece a la formación bosque seco tropical (bs-T) con algunas inclusiones de microclimas de bosque muy seco tropical.

El área del Distrito se encuentra dividida en dos zonas climatológicas, que se diferencian por su altitud y precipitación: las zonas de Lérica y Ambalema. La zona de Lérica tiene una altitud de 450 m.s.n.m.

FIGURA 1. Localización del Proyecto



con una precipitación promedio de 1.700 mm., temperatura de 28°C y humedad relativa de 72%. La zona de Ambalema, tiene una altitud de 250 m.s.n.m., con una precipitación de 1.157 mm., temperatura de 30°C y humedad relativa de 72%.

3.3. Sistema de Riego y Drenaje.

La fuente de agua para el Distrito consiste en una toma directa de las aguas del río Recio. La captación se hace por medio de una presa derivadora con capacidad actual de 10.5 m³/seg.

La distribución del agua, Figura 2, se realiza a través del Canal Principal, que está revestido en concreto con capacidad de 10.5 m³/seg. En el Km. 5, se encuentra localizadas 2 turbinas generadoras de energía eléctrica con capacidad de 2.5 m³/seg. cada una. Existe un convenio con Centrales Eléctricas del Tolima para la utilización de sólo una turbina, por lo tanto se cuenta para riego con un caudal de 8 m³/seg.

Este canal tiene una longitud de 6 Km. y al final se bifurca en 2 canales: el canal Lérida y el canal Ambalema que definen las secciones de riego respectivas. La distribución del agua de riego se realiza a través de 145 Km. de canales de riego entre principales y secundarios.

El método de riego más difundido es por gravedad exceptuándose 700 Ha. por aspersión. El arroz se riega por inundación, con caballoneo en curvas de nivel; el sorgo también se riega por caballoneo y el algodón por surcos.

La mayor parte del área del Distrito carece de un sistema artificial de drenaje; éste se hace a través de las quebradas y arroyos que atraviesan el área. En la sección de Ambalema se presentan algunos problemas en forma muy aislada.

3.4. Infraestructura Vial.

El Distrito está comunicado por carretera con Bogotá por la ruta Ibagué, Cambao y Honda; y por ferrocarril con Neiva, Santa Marta y Bogotá. Internamente se comunica con carreteables en algunos casos parcialmente pavimentadas, paralelas a los canales.

4. METODOLOGIA

4.1. Presentación de Alternativas.

Las alternativas propuestas contemplan el mejor uso y el aumento relativo del agua disponible para riego y son las siguientes:

- 1) Mejorar la eficiencia de riego actual. Esta alternativa se ha considerado independiente de las otras, con el fin de poder determinar qué tanto se podría intensificar y/o ampliar el área bajo riego con sólo hacer un uso racional* del agua disponible. Además permite visualizar el grado de eficiencia con que está operando el Distrito. Esta alternativa no es excluyente de las demás.
- 2) Dejar fuera de uso las turbinas generadoras de energía eléctrica, suplir dicha energía por intermedio de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC) y ampliar el suministro de agua para riego. Para el funcionamiento de las turbinas se necesitan $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$, los cuales son derivados del canal principal de riego y no se recuperan debido a que vierten al río. El planteamiento de esta alternativa permite dilucidar si es más conveniente generar energía eléctrica o ampliar el área regada.

* La eficiencia de riego es del 24% aproximadamente. En condiciones óptimas se espera una eficiencia de riego del 36%.

- 3) Recuperar, aguas abajo, los caudales que se pierden al generar energía eléctrica. Consiste en recuperar $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$ a través de una bocatoma y un canal de derivación de 5 Km., entregando sus aguas en la terraza baja del Distrito (Sección Ambalema), por razones topográficas.

En consecuencia, del agua disponible en la situación actual se usaría un mayor porcentaje en la terraza alta que corresponde a la Sección de Lérica.

- 4) Ampliar la capacidad del canal principal, desde la bocatoma hasta la derivación de la hidroeléctrica. Esta alternativa consiste en ampliar la capacidad del canal principal ($10.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$), con el fin de derivar un mayor caudal para riego y mantener la central hidroeléctrica funcionando. El planteamiento de esta alternativa supone que por el río Recio descargan caudales mayores que $10.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$

4.2. Metodología de Análisis.

4.2.1. Descripción general del método utilizado.

Comprende el análisis de las consideraciones técnicas y económicas para determinar en las cuatro alternativas el modo económicamente más eficiente de ampliación del Distrito de Riego y/o intensificación del uso de la tierra.

Para lograr estos objetivos se formuló un modelo matemático de asignación de áreas el cual requirió haber seleccionado previamente los cul-

tivos. La selección de cultivos se realizó teniendo en cuenta la aptitud de los suelos, el uso actual de la tierra y el comportamiento de los agricultores a través del tiempo. Con la información de suelos se determinaron los cultivos que se pueden sembrar en cada clase de suelo; con el uso actual de la tierra y los antecedentes agrícolas, se estimó el comportamiento probable de los agricultores en cuanto al área sembrada de los cultivos a través de los años y la diversificación de cultivos con respecto al tamaño de las fincas.

Con la información del área para cada cultivo, resultante de la aplicación del modelo matemático de asignación de áreas, se aplicó un modelo de evaluación cuantitativa para determinar el valor de los indicadores económicos que sirven como elementos de decisión para escoger la mejor alternativa. Los indicadores económicos utilizados son el valor presente neto, la relación beneficio-costos y la tasa interna de retorno; pero el criterio para definir la mejor alternativa será el valor presente neto (15). El flujo de los beneficios y los costos se analizaron en la situación "sin" y "con" proyecto, para finalmente tomar en cuenta los beneficios diferenciales.

4.2.2. El modelo de "diseño" del proyecto.

El modelo de "diseño" que será explicado en esta sección sirve para todas las alternativas dado que la única modificación que cada alternativa conlleva, es la oferta de agua.

Para determinar el área económicamente recomendable, se procedió a

formular un modelo de programación lineal cuya función objetivo es maximizar los beneficios sociales del Distrito de Riego sujeta a las restricciones de disponibilidad de agua mensual, área susceptible de riego, aptitud de suelos y/o antecedentes agrícolas. En general, el modelo puede especificarse como sigue:

Función objetivo:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J B_{ij} X_{ij}$$

sujeta a las siguientes restricciones:

- 1) Área determinada por aptitud de suelos, antecedentes agrícolas, mercadeo, etc.

$$\sum_{j=1}^J q^1_{ij} \geq X_{ij} \geq \sum_{j=1}^J q^2_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, I.$$

- 2) Disponibilidad de agua mensual para riego:

$$\sum_{i=1}^I a_{ij} X_{ij} \leq b_j \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

- 3) Área susceptible de riego

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \leq P_i \quad ; \quad j = 1, 2, \dots, J$$

- 4) No negatividad

$$X_{ij} \geq 0 \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, I$$

$$j = 1, 2, \dots, J$$

Para cuya formulación:

- i = Índice que se refiere al cultivo
- j = Índice que se refiere al mes
- B_{ij} = Beneficio neto del cultivo ($\$/\text{Ha.}$)
- X_{ij} = Superficie del cultivo (Ha.)
- q^1_{ij} = Límite inferior por aptitud de suelos, antecedentes agrícolas, mercadeo, etc.
- q^2_{ij} = Límite superior por aptitud de suelos, antecedentes agrícolas, mercadeo, etc.
- a_{ij} = Requerimiento de riego mensual ($\text{m}^3/\text{Ha.}$) del cultivo.

El presente modelo se aplicó en dos etapas:

1. Se formularon tres matrices variando beneficios netos B_{ij} y requerimientos de riego a_{ij} para expectativas de lluvia mínima mensual correspondiente a niveles de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 97%, 85% y 75%, con el fin de tener también en cuenta la contribución de las lluvias a satisfacer las necesidades de agua. El nivel de confiabilidad del 97% implica la expectativa más pesimista en cuanto a ocurrencia de lluvias, y es entonces el más conservador. Este nivel del 97% asume que la lluvia a esperarse es el mínimo que puede esperarse en el 97% de los casos, y que sólo en un 3% de los casos se presentarán niveles de lluvia inferiores. Los niveles de confiabilidad del 85% y del 75% son menos pesimistas en cuanto a las expectativas de lluvia, pero correlativamente implican mayor riesgo.

Con estas matrices es posible entonces calcular la asignación óptima de recursos para cada nivel de lluvia esperada, y de la comparación de los beneficios netos esperados de cada nivel, podrá tomarse la decisión sobre con cuál de los niveles de probabilidad de ocurrencia de lluvias se debe trabajar para programar los cultivos, las necesidades de agua de riego por hectárea y el número total de hectáreas a sembrarse. En esta etapa queda definido B_{ij} y el a_{ij} ; este último puede variar en función de la eficiencia de riego considerada.

2. Con la información de la etapa anterior se formularon cuatro matrices, para cada alternativa, haciendo variar a_{ij} para eficiencias de riego del 24%, 30%, 34% y 36% para el primero, segundo, tercero y cuarto año respectivamente con el fin de determinar las áreas para cada cultivo entre la iniciación y la estabilización del proyecto. La eficiencia de riego del 36% es lo máximo que se supone lograr. La oferta de agua varía de una alternativa a otra, pero se mantiene fija a través de los años*. En la Tabla 1 se presenta el detalle para cada una de las alternativas.

Los beneficios netos por hectárea, se determinaron en base a los rendimientos esperados de los cultivos en una situación de riesgo de escasez de agua, con base en las funciones de producción del cultivo respecto al insumo agua y la probabilidad de ocurrencia de lluvia. Para las condiciones de Colombia no existen dichas funciones de producción; sin embargo,

* Registros del Distrito de Riego.

TABLA 1. Eficiencias de riego y oferta de agua para cada alternativa.

Alternativa	Año	Eficiencia riego (%)	Oferta agua (m ³ /seg.)
I	1	24	8.0
	2	30	8.0
	3	34	8.0
	4*	36	8.0
II	1	24	10.5
	2	30	10.5
	3	34	10.5
	4*	36	10.5
III	1	24	8.0**
	2	30	10.5
	3	34	10.5
	4*	36	10.5
IV	La misma que en la alternativa III y la oferta de agua por definir.		

* Año de estabilización del proyecto.

** Se recuperan 2.5 m³/seg a partir del segundo año. La construcción del canal se estima en un año.

es posible utilizar como aproximación funciones obtenidas en otros lugares, haciendo el supuesto de que las curvas son similares y sólo desplazadas debido a variaciones en rendimientos y consumo de agua por evapotranspiración (6). Si se expresa lo anterior en valores relativos a la evapotranspiración máxima y al rendimiento máximo, las curvas prácticamente coinciden y tanto la abscisa como la ordenada varían de 0 a 1.0.

Los beneficios netos de los cultivos con niveles de expectativas de ocurrencia de lluvia del 97% corresponden a rendimientos bajo condiciones óptimas de disponibilidad de agua. En el caso de planificar con una expectativa del 85%, se espera cumplir en el 85% del tiempo, con el requerimiento de agua de los cultivos. En el 15% del tiempo se espera que ocurra por lo menos la lluvia en la situación sin riesgo (97%), cuyo valor es menor con el cual se programó el riego. Luego la diferencia entre el requerimiento de riego al 97% y el 85% será una lámina de agua que afecta el uso consuntivo, bajo una eficiencia de riego dada. Esta lámina expresada en valor relativo a la evapotranspiración del cultivo y relacionada a la función de producción respectiva también expresada en valores relativos, permite determinar el porcentaje de rendimiento esperado en el 15% del tiempo. El rendimiento esperado total se calculó de la siguiente manera:

Caso del algodón para una expectativa de lluvia mínima mensual correspondiente a un nivel de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 85%:

Requerimiento de riego al 97%	10593.9 m ³ /Ha
Requerimiento de riego al 85%	9023.1 m ³ /Ha
Requerimiento de riego arriesgado en el 15% del tiempo	<hr/> 1570.8 m ³ /Ha (16 cm)

Estos 16 cm, deducidos en la evapotranspiración máxima de la función de producción, afecta el rendimiento en el 51%, luego el rendimiento esperado en el 15% del tiempo es del 49%. Así tenemos que:

0.85 x 1.00 x 1500 Kg./Ha	=	1275.00 Kg/Ha
0.15 x 0.49 x 1500 Kg./Ha	=	<u>110.25 Kg/Ha</u>
Rendimiento esperado total		1385.25 Kg/Ha

Con este rendimiento esperado total se calculó el beneficio neto/Ha resultando un valor penalizado por el riesgo asumido.

Los coeficientes técnicos a_{ij} representan el requerimiento de riego mensual por cultivo, para cada campaña. Se calcularon de la siguiente manera:

$$Rr = \frac{UC - PPE}{Er}$$

Donde:

- Rr == Requerimiento de riego mensual (m³/Ha)
- UC == Uso consuntivo mensual (m³/Ha)
- PPL == Precipitación efectiva probable
- Er == Eficiencia de riego (%).

El uso consuntivo se define como la cantidad de agua requerida por la planta y su cálculo se puede realizar a través de ecuaciones que relacionan datos climáticos disponibles. Entre las ecuaciones más utilizadas se pueden citar las de Blaney-Criddle, Thornthwaite, Christiansen y Hargreaves. Esta última es la indicada para la zona de Espinal, Tolima (11). Por ser el Distrito de Riego río Recio una zona con características similares, se adoptó esta ecuación, utilizando los valores promedio mensuales de la evaporación del tanque Clase A. La ecuación es:

$$UC = K \quad Ev, \text{ donde}$$

$$UC = \text{Uso consuntivo, en mm}$$

$$K = \text{Coeficiente de uso consuntivo}$$

$$Ev = \text{Evaporación del tanque Clase A, en mm}$$

La precipitación efectiva probable fue deducida a partir de la precipitación probable ocurrida en el Distrito, el cual requirió conocer el tipo de distribución que siguen las precipitaciones habiendo utilizado para ello un modelo de predicción de lluvias (4). Una vez determinada la precipitación probable se calculó la precipitación efectiva, definida como la cantidad de agua retenida en la capa radicular. Esta precipitación se calculó de acuerdo a los estudios realizados por Nava (21) de la siguiente manera:

$$\text{Precipitación calculada (PFC)} = 0.9 \quad Ev^{0.75}$$

Si la precipitación probable (PP) > PFC; la precipitación efectiva

$(PPE) = 0.8 PP.$

Si $PP < PPC$; entonces $PPE = 0$

La eficiencia de riego está formada por el producto de la eficiencia de conducción y la eficiencia de aplicación. La eficiencia de conducción está expresada en términos de porcentaje del volumen de agua entregada por un sistema de conducción en relación al volumen de agua entregada al sistema, en la fuente de abastecimiento. El aumentar esta eficiencia depende principalmente del revestimiento de canales.

La eficiencia de aplicación es la proporción del volumen de agua utilizada por la planta (uso consuntivo), en relación al volumen de agua entregada al predio. Plantear acciones de mejoramiento de aplicación del agua, requiere conocer la situación actual del riego en el Distrito para lo cual se utilizó el método de análisis comparativo de consumo de agua. Este método consiste en jerarquizar el Distrito de riego en base al volumen de agua promedio predial y por cultivo, en grupos con eficiencia de aplicación calificados como "alta", "media" y "baja" relativamente. Esto permite visualizar qué tanto se podría mejorar el uso del agua en condiciones reales y además sirve como guía para priorizar las inversiones dentro del Distrito identificando el grupo donde se espera una mayor retribución a la inversión.

La conformación de grupos se basó en el supuesto de que los volúmenes de agua promedio prediales requeridos por el cultivo del arroz siguen una distribución normal, la cual queda definida conociendo la media y su desviación típica. Esta conformación se realizó tomando un intervalo de

confianza alrededor del volumen promedio de agua del Distrito (\bar{V}) para el cultivo en cuestión, con una probabilidad del 99%. De esta manera el grupo "media" está formado por los predios que requieren volúmenes de agua promedio prediales que corresponden al intervalo $\bar{V} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$, el grupo "alta" está formado por predios cuyos volúmenes de agua promedio prediales son menores que $\bar{V} - t \frac{S}{\sqrt{n}}$ y el grupo "baja" por valores mayores que $\bar{V} + t \frac{S}{\sqrt{n}}$. Conformados los grupos, se comprobó a través del análisis de varianza si los promedios de volúmenes de agua de cada grupo diferían estadísticamente. Una vez identificado el volumen de agua promedio del grupo "alta", se tomó ésta como referencia para fijar la meta en el mejoramiento de la eficiencia de riego.

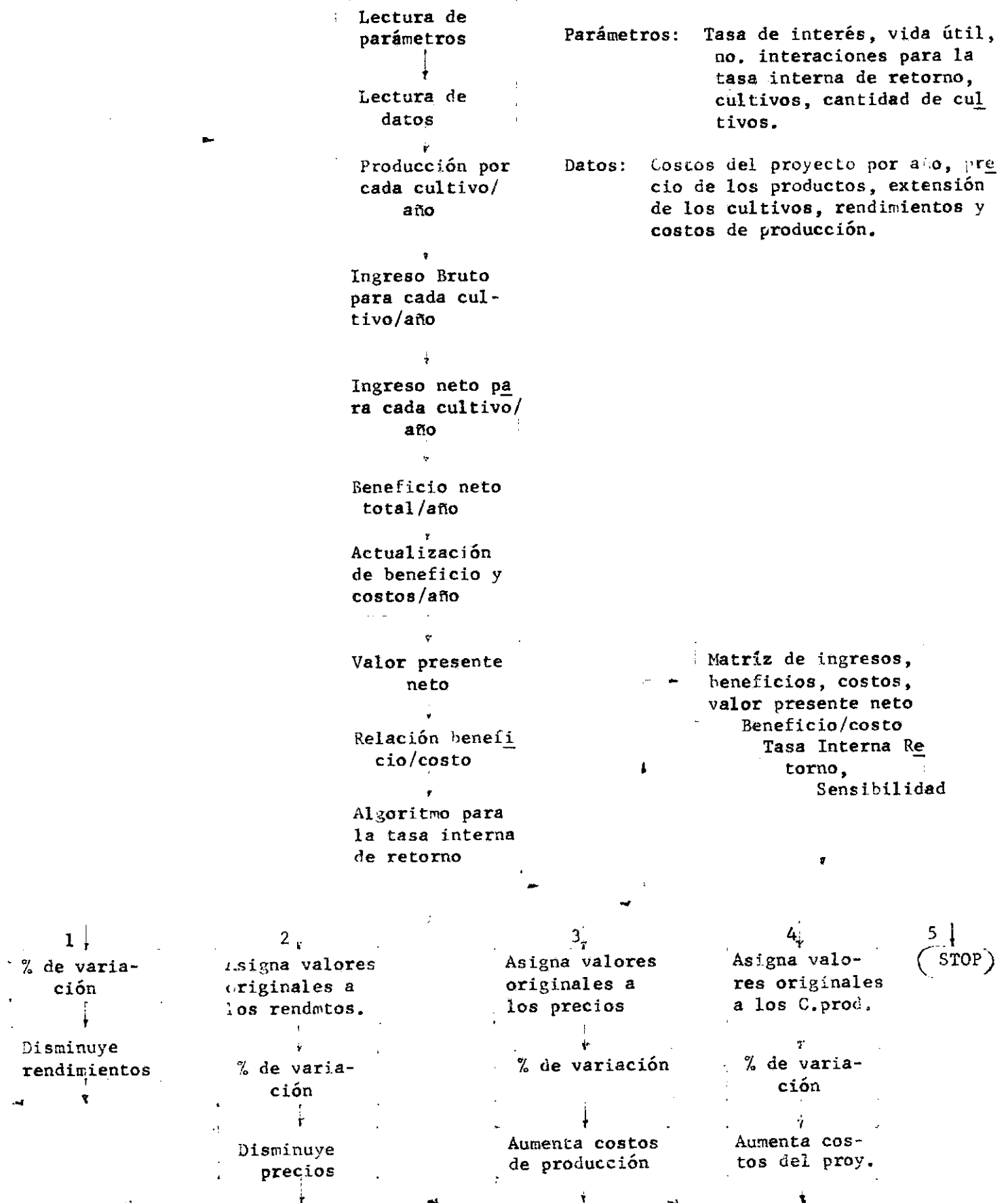
En cuanto a la oferta de agua se analizó la información de los aforos realizados en el río Recio y en el canal principal de riego.

4.2.3. El modelo de evaluación cuantitativa del proyecto.

El presente modelo cuyo diagrama de flujo se presenta en la Figura 3, permite determinar cuantitativamente los siguientes indicadores económicos: Valor Presente Neto (VPN), Beneficio-Costo (B/C) y Tasa Interna de Retorno (TIR). El modelo también realiza el análisis de sensibilidad cuando ocurre una baja en los rendimientos de los cultivos y en los precios de los productos y cuando ocurre un aumento en los costos de producción y costos de las obras. La sensibilidad opera para cada una de las variables, en forma independiente.

El modelo utiliza como dato principal el número de hectáreas de ca-

FIGURA 3. Diagrama de flujo del modelo de evaluación cuantitativa del proyecto.



da actividad productiva incorporada a través de los años, las cuales fueron previamente determinadas en el modelo de "diseño" del proyecto. Además utiliza como datos los precios de los productos, el rendimiento de los cultivos, el costo de producción, el costo de las obras, el porcentaje de variación de las variables consideradas en el análisis de sensibilidad y la vida útil del proyecto.

Los cálculos de la evaluación abarcan toda la vida útil del proyecto. Por lo tanto es necesario homogenizarlos respecto al tiempo utilizando para ello la tasa de actualización. La tasa de actualización adoptada fue del 12%, valor consecuente con la tasa de actualización usada en otros proyectos de adecuación de tierras*.

El período de maduración del proyecto se ha considerado en 4 años, paralelo al ritmo de incremento de la eficiencia de riego. La vida útil en este tipo de proyectos se estima en 50 años porque es difícil de predecir lo que va a suceder más allá de este período y además el traer a valor presente los beneficios y los costos para períodos adicionales resultan cantidades muy pequeñas que tienen un efecto prácticamente despreciable sobre el resultado final.

Los indicadores económicos son elementos de decisión porque muestran el grado de bondad de un proyecto; sin embargo cuando queremos comparar entre varios proyectos se presentan dificultades sobre la homogenización

* Estudios de factibilidad de los proyectos de riego de Boyacá (Alto Chicamocha y Firavitoba) 1975, Valle (RUT) 1973, San Juan del Cesar 1972 y Valledupar 1972 realizados por el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA).

de los criterios utilizados en cuanto al precio social, la tasa de actualización, etc. y la variación en el comportamiento intrínseco de los proyectos, la magnitud y su vida útil. Así se tiene que el VPN está sesgado hacia aquellos proyectos de mayor magnitud, siendo prioritarios los que tengan los beneficios netos más elevados; la relación B/C es un parámetro que nos muestra la retribución de la inversión; la TIR tiene la ventaja de no fijar a priori la tasa de actualización y es recomendable cuando se comparan proyectos de igual período de maduración. Tiene ciertas desventajas que en la práctica hacen que sea menos satisfactoria para las decisiones relativas a proyectos, pues se basa en la hipótesis de que las unidades adicionales de producción de un proyecto serán reinvertidas en proyectos del mismo sector y que tendrán una rentabilidad comparable (15). Todos los parámetros anteriores son sensibles a la magnitud de la inversión inicial y en el caso del VPN y la relación B/C son igualmente sensibles a la tasa de actualización.

En el presente análisis para todas las alternativas existe homogeneidad en cuanto a los criterios económicos utilizados; la vida útil y el comportamiento intrínseco de los proyectos. En esta situación el indicador utilizado para escoger la mejor alternativa será en VPN, bajo el supuesto de no tener limitaciones para la inversión.

Para estimar los valores de los beneficios, se siguió el procedimiento de obtener el beneficio neto de la producción a partir del valor bruto de la misma, deducidos los costos de producción. Este análisis se realizó para la situación "sin" y "con" proyecto a fin de obtener los benefi-

cios netos diferenciales, a lo largo de la vida útil del proyecto. Los beneficios adicionales obedecen a una mayor intensidad de uso de la tierra y/o ampliación del área bajo riego y no a la variación en los rendimientos de los cultivos porque en ambos casos se mantiene la situación con riego.

La determinación de los costos de producción en la situación actual, se realizó en base a la información obtenida en las Federaciones de Arroceros, Algodoneros, y las Oficinas Regionales del ICA. Estos datos fueron ajustados con la información directa suministrada por los usuarios.

La valoración de los costos y los beneficios se realizó usando los precios promedios de mercado correspondientes al año de 1977, los cuales se han considerado constantes durante toda la vida útil del proyecto bajo el supuesto de "neutralidad de efectos inflacionarios". Dada la peculiaridad del proyecto, los precios de mercado son una buena aproximación a sus precios sociales, así: el precio del algodón está sujeto a fluctuaciones del mercado internacional siendo éste el que más se asemeja a un mercado de competencia perfecta; luego el precio interno del algodón es un buen indicador del precio social. En el caso del sorgo se supone que existe equilibrio entre la oferta y la demanda interna, por cuanto el área a sembrar se define en función de la demanda posible; en el caso del arroz se supone que el precio de mercado está más cercano al precio social, considerando que el de sustentación está por debajo del precio de mercado; el precio social de la energía se consideró sensiblemente igual a su precio de mercado. Este precio de mercado fue calculado

esperando un retorno a la inversión del 9%; sin embargo la tasa de actualización social es del 12%, por lo tanto el precio social es ligeramente mayor que su precio de mercado.

Los costos del proyecto se muestran en la Tabla 2. El mejorar la eficiencia de riego considera el revestimiento de tramos de canales, rehabilitación de estructuras de control y adecuación predial complementaria; la operación, mantenimiento y organización incluye las diversas actividades a realizar para el funcionamiento de los canales y drenes principales, etc.; la adecuación predial corresponde al área a ampliar.

El análisis de sensibilidad se realizó para estimar la viabilidad del proyecto aún cuando se usaron valores "pesimistas". Para determinar las variaciones en los precios y los costos de producción se estimaron las variaciones cíclicas a través del método llamado deflación sucesiva (22).

Para aplicar este método, se procedió a deflactar los precios y los costos de producción por el índice del producto interno bruto. Sería recomendable deflactar los precios por el índice de precios al productor y los costos de producción por el índice de precios a los insumos; sin embargo esta información no estaba disponible. Una vez deflactadas se estimaron las variaciones cíclicas, tomando la variación máxima del mínimo de los precios y la variación máxima para los costos de producción: cuando se obtuvieron variaciones muy altas entre los cultivos, se ponderó con los beneficios respectivos que correspondían al año de estabilización del proyecto.

TABLA 2. Costos del proyecto.

Alternativas	Actividades	"sin" proyecto	"con" proyecto
I	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)		+
	. Operación, mantenimiento y organización de riego y drenaje (anual)	+	+
	. Extensión en riego (anual)		+
II	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)		+
	. Operación, mantenimiento y organización de riego y drenaje (anual)	+	+
	. Operación, mantenimiento y organización de la Central Hidroeléctrica (anual)	+	
	. Extensión en riego (anual)		+
	. Adecuación predial		+
	. Suplir energía eléctrica (anual)		+
III	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)		+
	. Operación, mantenimiento y organización de riego y drenaje (anual)	+	+
	. Extensión en riego (anual)		+
	. Adecuación predial		+
	. Construcción del canal de recuperación (1er. año)		+
IV	. Igual a la alternativa III a excepción de la construcción de canal de recuperación. En esta alternativa se contempla costos de ampliación del canal principal.		

+ Indica que se incurre en costos.

La variación de los rendimientos se estimó con base en su serie histórica, analizando períodos más o menos estables con el fin de evitar el efecto tecnológico. Para el caso de la variación de los costos del proyecto se estimó teniendo en cuenta la experiencia de las firmas constructoras.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Evaluación Hidrometeorológica y Selección de Alternativas.

Las observaciones de las descargas del río Recio corresponden a una estación cercana a la bocatoma y tienen un período de registro de 6 años, Marzo/72 a Mayo/77. Al realizarse el análisis de los aforos del río Recio se encontró que no tienen consistencia, debido a las siguientes razones:

- a. Cambio de ubicación en la estación de aforo en 3 oportunidades.
- b. Inadecuada localización, en secciones inestables y muy cerca a la bocatoma.
- c. Falta de continuidad de datos.

El caudal derivado en las condiciones actuales es de $10.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ y ha permanecido constante a través de los años*. De este caudal son disponibles para riego $8 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Para el análisis de las precipitaciones se contó con 4 estaciones meteorológicas: Pajonales y el Salto en la Sección de Riego de Ambalema, la Sierra y Hacienda García en la sección de riego de Lérida. Para el presente estudio fue seleccionada la estación de Pajonales por tener una

* Registros del Distrito de Riego.

mayor información 1941-1960, aunque en forma discontinua. Por otro lado, la estación de la Granja IFA (Armero-Tolima) que se encuentra fuera del Distrito, tiene un período de registro continuo de 26 años, 1931-1956.

Con el fin de generar los datos que faltan en la estación de Pajonales, se determinó el grado de correlación de los meses y años correspondientes con la estación IFA, habiéndose encontrado un grado de correlación de 0.706. Este valor indica un grado de asociación aceptable entre las precipitaciones ocurridas en ambas estaciones. La función utilizada fue:

$$Y = 21.0575 + 0.6708 X$$

Donde:

Y = Precipitación en mm - Estación Pajonales

X = Precipitación en mm - Estación IFA.

Con base en esta función, se obtuvo una información continua para 29 años (1931-1959), la cual se presenta en el Anexo 1. La distribución mensual de precipitación se ajusta a la distribución GAMMA como pudo comprobarse a través de las pruebas de bondad de ajuste χ^2 (Anexo 2), resultando altamente significativas. Para ésto fué necesario modificar el programa original desarrollado por Carrillo y Casas (4) que usa valores diarios, a valores mensuales que era la información disponible.

La evaluación hidrológica obligó a descartar la alternativa IV que consiste en ampliar la capacidad del canal principal desde la bocatoma

hasta la derivación de la hidroeléctrica (5 Km), por la poca confiabilidad de la información existente sobre los aforos de los caudales ocurridos en el río Recio. Luego las alternativas que se analizaron fueron:

1. Mejorar la eficiencia de riego actual. Disponibilidad de agua para riego $8 \text{ m}^3/\text{seg}$.
2. Dejar fuera de uso las turbinas generadoras de energía eléctrica y suplir dicha energía por intermedio de la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC). Disponibilidad de agua para riego $10.5 \text{ m}^3/\text{seg}$.
3. Recuperar, aguas abajo, los caudales que se pierden al generar energía eléctrica ($2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$). Disponibilidad de agua para riego $10.5 \text{ m}^3/\text{seg}$.

5.2. Selección de Cultivos.

El área del Distrito se dedica esencialmente al cultivo de arroz y a cultivos como el sorgo y el algodón en pequeña escala. Las áreas que no se siembran, que quedan con soca de arroz o sorgo, se dedican temporalmente a ganadería.

El arroz se explota en forma continua mediante tres cuatrimestres agrícolas, aprovechando al máximo el recurso agua; el sorgo se siembra en rotación con el arroz y se programa en semestres anuales, utilizando las épocas lluviosas y suministrando riegos complementarios; el algodón es un cultivo que se siembra en el primer semestre y se riega en forma similar al sorgo. Es un cultivo muy sensible al exceso o defecto de agua; un in

suficiente suministro de agua puede reducir la longitud de la fibra, causar una dehiscencia prematura y hasta la caída de las cápsulas; un exceso de agua en el suelo provoca un alto desarrollo vegetativo de la planta en perjuicio de la producción, desarrollo y madurez del fruto (11). El exceso de riego es un error corriente de muchos aldoneros; con ello sólo se favorece la proliferación de enfermedades que se manifiestan en el aspecto herrumbroso de hojas y cápsulas (11).

En relación al área que abarca el Distrito la gran mayoría se encuentra en manos de particulares. Según el Registro General de Usuarios, aparecen inscritos 205 predios, de los cuales 23 corresponden a adjudicaciones del INCORA en 3 empresas comunitarias y 20 parcelas individuales, Tabla 3. La estratificación de los predios en su conjunto se muestra en la Tabla 4, donde se puede observar que el 18.53% de usuarios con más de 50 Ha tienen el 64.72% del área bajo riego, en contraste con el 35.13% de usuarios entre 0-10 Ha que tiene sólo el 5% del área. Hay una tendencia marcada a sembrar arroz, indiferente del tamaño de sus fincas.

En cuanto al recurso suelo, según los estudios realizados por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (17), el Distrito puede dividirse en dos grupos de suelos: Suelos de texturas finas, los cuales ocupan la mayor parte del área; y suelos de texturas gruesas. La clasificación agrológica agrupa los suelos de las unidades cartográficas basándose en las limitaciones que presentan, en cuanto al manejo, uso y el riesgo de deterioro cuando se trabajan, Tabla 5.

TABLA 3. Distribución de las áreas adquiridas por INCORA. 1972.

Parcelaciones	No. Predios	Area Total (Ha)	Area con Riego (Ha)
Remolino ^{1/}	1	627.00	185.00
Playa Verde ^{1/}	1	225.00	140.00
Playa Verde ^{2/}	11	165.00	135.00
San Martín ^{1/}	1	150.84	50.33
Gamba ^{2/}	9	122.50	100.00
TOTAL	23	1.290.34	610.33

^{1/} Empresa comunitaria

^{2/} Explotación individual.

TABLA 4. Distribución de la tierra en general*.

Rango	No. Predios	%	Area con Riego (Ha)	%
10.00	72	35.13	383.14	5.09
10.01 50.00	95	46.34	2.272.77	30.19
50.00	38	18.53	4.871.36	64.72
TOTAL	205	100.00	7.527.27	100.00

* FUENTE: Registro Usuarios, Octubre 1977.

TABLA 5. Capacidad de uso y manejo de los suelos.

Clase	Descripción de la Clase	Area (Ha)	%
I	Suelos arables, aptos para cultivos y otros usos, sin limitaciones para su uso.	135.04	1.03
II	Suelos arables, aptos para cultivos, erosión ligera, suelos moderadamente profundos, texturas livianas y pesadas.	3.244.78	25.10
III	Suelos arables, aptos para cultivos, con limitaciones severas para su uso, suelos superficiales, drenaje pobre, fertilidad baja.	4.263.40	33.00
IV	Suelos arables, con limitaciones muy severas que restringen mucho su uso y los cultivos posibles, suelos superficiales, mala retención de humedad, permeabilidad rápida, piedras en superficie, drenaje pobre.	659.90	5.10
V	Suelos con piedras abundantes y terrenos pantanosos, localizados en los bajos.	193.15	1.50
VI	Suelos con limitaciones muy severas, dedicados a pastos, erosión severa, relieve escarpado, baja fertilidad.	2.553.90	19.75
VII	Suelos de cárcavas, rebordes y taludes con relieve fuertemente inclinado y fuertemente erosionado, aptos para reforestación.	1.877.60	14.52
	TOTAL	12.927.87	100.00

De este total, son susceptibles para riego 10.022 Ha lo cual indica que se puede incorporar bajo riego 2500 Ha adicionales. De acuerdo a la carta de uso y manejo, la aptitud de los suelos se resume en lo siguiente: aptas para arroz 4.950 Ha; para algodón 500 Ha; el sorgo puede cultivarse en todos los suelos.

Como se observa en la Tabla 6 el área sembrada de arroz se ha incrementado a través del tiempo. Esto se explica por la alta rentabilidad, la menor incidencia de plagas, enfermedades, malezas y el menor riesgo de acuerdo a la experiencia de los agricultores del área. Generalmente se observa el desplazamiento de otros cultivos como el algodón y el ajonjolí y la estabilidad del área sembrada en sorgo.

Del análisis del uso actual de la tierra, tenencia de la tierra, aptitud de suelos y el comportamiento agrícola de los usuarios, se evidencia que los cultivos más recomendables son:

- a. Arroz (*Orizae Sativa L.*). La siembra se efectúa en forma escalonada, empezando en Enero, Mayo y Septiembre, en tres cuatrimestres. Las variedades consideradas son: IR₈, CICA₄.
- b. Sorgo (*Sorghum sp.*). Se ha previsto la siembra para Abril y Septiembre en dos cuatrimestres, generalmente en rotación con el arroz. El período vegetativo es de 120 días en promedio.
- c. Algodón (*Gossipium sp.*). La siembra se efectúa en el mes de Febrero, de acuerdo a las disposiciones del ICA. Tiene un ciclo vegetativo de 150 días en promedio. La variedad seleccionada es la Delta pine.

TABLA 6. Area sembrada de cultivos.

Año	Arroz	Algodón	Sorgo	Ajonjolí	Total
1969	4.335	1.390	1.170	-	6.875
1970	3.620	1.320	1.920	250	7.110
1971	4.145	430	3.100	365	8.035
1972	4.000	1.928	2.739	132	8.799
1973	4.224	405	3.878	26	8.533
1974	5.234	388	2.672	79	8.307
1975	5.431	81	2.337	34	7.927
1976	5.462	316	1.875	-	7.653

5.3. Requerimiento de Riego.

En cálculo implicó relacionar la evaporación, el uso consuntivo, la precipitación efectiva probable y la eficiencia de riego.

Los datos de evaporación corresponden a la estación El Salto cuyos valores promedios mensuales se muestran en el Anexo 3, los cuales se multiplicaron por los coeficientes (K) de los cultivos para determinar los usos consuntivos respectivos, Tabla 7. La precipitación probable mensual se determinó haciendo uso del modelo de predicción de lluvias (4), habiéndose considerado probabilidades de ocurrencia de lluvia de 97%, 85%, y 75%. Con estos valores se calculó la precipitación efectiva probable, Tabla 8, observándose que la precipitación es nula en los meses de enero

TABLA 7. Uso consuntivo -Et- (mm).

Meses	Arroz *	Sorgo		Algodón		
		Et	K	Et	K	Et
Enero	178.02			-		-
Febrero	175.23			-	0.23	37.49
Marzo	163.19			-	0.65	98.67
Abril	161.57	0.40	60.12	0.90		135.27
Total	678.01 (5.65 mm/día)					
Mayo	157.49	0.90	131.85	0.80		117.20
Junio	167.38	0.73	113.66	0.45		70.07
Julio	236.07	0.44	96.62			
Agosto	212.96					
Total	773.90 (6.50 mm/día)		402.25			458.70
Septiembre	180.39	0.40	67.12			-
Octubre	165.98	0.90	138.96			-
Noviembre	146.42	0.73	99.43			-
Diciembre	172.10	0.44	70.44			-
Total	664.89 (5.50 mm/día)		375.95			

* Para el arroz se calculó con base en el K promedio (1.075) por su modalidad de siembra continua.

TABLA 8. Precipitación efectiva probable mensual en mm.

Meses	Precipi- tación calculada	75%		85%		97%	
		Precipi- tación probable	Precipi- tación efectiva	Precipi- tación probable	Precipi- tación efectiva	Precipi- tación probable	Precipi- tación efectiva
Enero	41.55	26.99	-	19.96	-	-	-
Febrero	41.06	37.70	-	26.55	-	-	-
Marzo	38.92	44.28	35.42	32.39	-	-	-
Abril	38.63	104.01	83.21	84.41	67.53	51.65	41.32
Mayo	37.90	106.99	85.59	82.92	66.34	45.00	36.00
Junio	39.67	28.95	-	18.66	-	6.05	-
Julio	51.34	29.86	-	21.36	-	9.48	-
Agosto	47.52	36.86	-	25.61	-	10.33	-
Septiembre	41.96	84.92	67.94	71.32	57.06	47.60	38.08
Octubre	39.42	134.95	107.96	114.78	91.82	79.07	63.25
Noviembre	35.88	69.37	55.50	53.98	43.18	38.64	30.91
Diciembre	40.51	38.63	-	27.37	-	11.64	-

a marzo, junio a agosto y diciembre lo cual implica que se requiere riego en la mayor parte del año.

El uso consuntivo deducida la precipitación representa la demanda neta de riego mensual (Tabla 9) las cuales se afectan de acuerdo a la eficiencia de riego considerada. La eficiencia de riego fue determinada a través del método de análisis comparativo de consumo de agua, con base en los volúmenes de agua a nivel predial del cultivo de arroz correspondiente a la segunda campaña de 1975, resultando un volumen promedio predial de $26.520 \text{ m}^3/\text{Ha}$ con una desviación típica de 7.907 m^3 . Este volumen corresponde a una eficiencia de aplicación del 28% y en las condiciones actuales se espera un 30%. La eficiencia de conducción se estima en 80% teniendo en cuenta que gran parte de los canales están revestidos o están construidos en lechos rocosos, luego la eficiencia de riego es del 24%. Para el análisis de consumo de agua se consideró solamente el cultivo de arroz por cubrir más del 80% del área.

La conformación de los grupos se hizo calculando el intervalo de confianza al 99% bajo el supuesto de que los valores de los volúmenes promedio prediales siguen una distribución normal. Este intervalo representa el grupo "media" y los extremos los grupos "alta" y "baja", Tabla 10. Una vez conformado los grupos, se comprobó a través del análisis de varianza que entre los promedios de volúmenes de agua de cada grupo existen diferencias altamente significativas.

TABLA 9. Demanda neta de agua en mm, para probabilidades de lluvia de 75%, 85% y 97%.

Cultivos	Arroz			Sorgo			Algodón		
	75	85	97	75	85	97	75	85	97
Enero	178.02	178.02	178.02	-	-	-	-	-	-
Febrero	175.23	175.23	175.23	-	-	-	37.49	37.49	37.49
Marzo	127.77	163.19	163.19	-	-	-	63.25	98.67	98.67
Abril	78.36	94.04	126.25	-	-	18.80	52.06	67.74	93.95
Mayo	71.90	91.15	121.49	46.26	65.51	95.85	31.61	50.86	81.20
Junio	167.38	167.38	167.38	113.66	113.66	113.66	70.07	70.07	70.07
Julio	236.07	236.07	236.07	96.62	96.62	96.62	-	-	-
Agosto	212.96	212.96	212.96	-	-	-	-	-	-
Septiembre	112.45	123.33	142.31	-	10.06	29.04	-	-	-
Octubre	58.02	74.16	102.72	31.00	47.14	75.70	-	-	-
Noviembre	90.92	103.24	115.51	43.93	56.25	68.52	-	-	-
Diciembre	172.10	172.10	172.10	70.44	70.44	70.44	-	-	-

TABLA 10. Jerarquización del Distrito de Riego.

Grupo	Rango m ³ /Ha	Volumen medio m ³ /Ha	Eficiencia aplicación (%)	No. predios	Area Ha	%
Alta	24.636	20.738	34.7	53	1191	44.2
Media	24.636- 28.404	26.127	27.6	18	529	19.6
Baja	28.404	33.611	21.4	49	977	36.2

En la presente tabla se puede apreciar que la eficiencia de aplicación del grupo "alta" es de 34.7% (año 1975); sin embargo en las condiciones actuales se espera que esta eficiencia sea más alta, estimándose para el año de estabilización del proyecto en 42%.

Para fines del proyecto se ha considerado un ritmo de mejora de eficiencia de riego paralelo al ritmo de crecimiento del proyecto, tal como se muestra en la Tabla 11. La mejora la eficiencia de riego es gradual con incrementos cada vez menores por la mayor dificultad cuando se trata de llegar al óptimo.

Con cada una de estas eficiencias de riego se calcularon los requerimientos de riego mensuales de los cultivos para expectativas de lluvia mínima mensual correspondiente a niveles de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 75%, 85% y 97% (Anexo 4).

TABLA 11. Ritmo de mejora de eficiencia de riego.

Eficiencias en riego	A ñ o s				
	1	2	3	4	5
(1) Eficiencia de conduc <u>ci</u> ón %	80	85	85	85	85
(2) Eficiencia de aplica <u>ci</u> ón %	30	35	40	42	42
(3) Eficiencia de riego (%) , (1) x (2)	24	30	34	36	36
Incremento de la eficien <u>ci</u> a de riego (%)	0	6	4	2	0

5.4. Determinación del Area para cada Cultivo.

Para la determinación de las áreas para cada cultivo se formuló un modelo de programación lineal el cual se describe en forma matricial (Tabla 12) y tiene los siguientes componentes.

- a) Las actividades. Comprende las diferentes alternativas agrícolas:
- Arroz en el primer, segundo y tercer cuatrimestre correspondiente a la primera, segunda y tercera campaña (ARROZ1, ARROZ2, ARROZ3), bajo la modalidad de siembra continua; sorgo es el primer y segundo cuatrimestre, correspondiente a la primera campaña (SORGO1); sorgo en el tercer cuatrimestre, segunda campaña (SORGO2); algodón en el primer y segundo cuatrimestre, primera campaña (ALGODO1). Las épocas de siembra del sorgo se hicieron coincidir con las épocas de lluvia. El algodón se siembra en febrero y por una sólo campaña, de confor-

TABLA 12. Matriz modelo. Probabilidad de lluvia 85% y eficiencia de riego 36%.

A c t i v i d a d e s

Actividades	Arroz1	Arroz2	Arroz3	Sorgo1	Sorgo2	Algodón 1	Disponibilidades
Recursos	14198	14198	13971	4502	4392	2946	
BENEFIT	1	-	-	1	-	1	10,022
TIERRA1	-	1	-	1	-	1	10,022
TIERRA2	-	-	1	-	1	-	10,022
TIERRA3	-	-	-	-	-	-	21,427,200
ENERO	4945.0	-	-	-	-	1041.4	19,353,600
FEBRERO	4867.5	-	-	-	-	2740.8	21,427,200
MARZO	4533.1	-	-	-	-	1881.7	20,736,000
ABRIL	2612.2	-	-	-	-	1412.8	21,427,200
MAYO	-	2531.9	-	1819.7	-	1946.4	20,736,000
JUNIO	-	4649.4	-	3157.2	-	-	21,427,200
JULIO	-	6557.5	-	2638.9	-	-	21,427,200
AGOSTO	-	5915.6	-	-	-	-	21,427,200
SEPTIEMBRE	-	-	3425.8	-	279.4	-	20,736,000
OCTUBRE	-	-	2060.0	-	1309.4	-	21,427,200
NOVIEMBRE	-	-	2867.8	-	1562.5	-	20,736,000
DICIEMBRE	-	-	4780.6	-	1956.7	-	21,427,200
Límite Inferior	-	-	-	800	1500	500	
Límite Superior	4950	4950	4950	-	-	1500	

Restricciones

Límites de las actividades

midad con las disposiciones del ICA.

- b) Los coeficientes técnicos. Representan el requerimiento de riego mensual por cultivo, para cada campaña. Estos coeficientes fueron calculados para expectativas de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 97%, 85% y 75%.
- c) Las restricciones. Son los recursos productivos que conllevan limitaciones y se codificaron como sigue: Tierra del primero, segundo y tercer cuatrimestre (TIERRA1, TIERRA2, TIERRA3); volumen de agua mensual (ENERO, FEBRERO, ... DICIEMBRE).
- d) La disponibilidad de los recursos. Para el caso del recurso tierra corresponden al límite máximo del área susceptible de riego; y para el recurso agua, se ha considerado el volumen mensual de agua derivado en la situación actual, el cual ha permanecido constante a través de los años, por lo tanto la oferta de agua es determinística.
- e) Límites de las actividades. Se determinaron con base en la aptitud de los suelos para cada cultivo y los antecedentes agrícolas.
- f) Función objetivo. Está constituida por los beneficios netos por hectárea de cada cultivo y está codificado como BENEFIT, los cuales multiplicados por las áreas respectivas dan el beneficio máximo total. Para expectativas de ocurrencia de lluvia menores del 97% se penalizaron los beneficios en función del riesgo asumido.

Para la solución del modelo se usó el computador IBM/360-145-BS1

del DANE, utilizando el sistema computacional MPS/360 (Mathematical Programming System/360).

5.4.1. Beneficios netos (\$/Ha) en función del riesgo asumido.

Las funciones de producción que se utilizaron corresponden a los cultivos de algodón y maíz (se asumió de igual comportamiento al sorgo) obtenidas en el Perú (6) y el arroz determinada en las Filipinas (18), Figuras 4, 5 y 6. Las funciones de producción se expresaron en valores relativos con el fin de poder utilizar estas funciones con el valor de la evapotranspiración y el rendimiento para las condiciones de la zona en estudio.

Para el cálculo del beneficio neto se determinó previamente el rendimiento esperado de los cultivos para expectativas de lluvia mínima mensual correspondiente a niveles de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 97%, 85% y 75%, Tabla 13, donde se puede apreciar que los rendimientos de un mismo cultivo difieren dependiendo de la campaña en la cual se siembra, siendo más afectados los que se programaron en las épocas de lluvia como consecuencia de arriesgar una mayor lámina de agua. El cultivo del algodón es el más sensible, debido a que una pequeña lámina de menos en el uso consuntivo afecta grandemente el rendimiento. Con estos rendimientos esperados se calcularon los beneficios netos, los cuales resultaron penalizados por el riesgo asumido (Tabla 14).

Con la información sobre los beneficios netos penalizados y los requerimientos de riego (para eficiencia del 30%) correspondientes se plan

FIGURA 4. Función de producción del algodón Tanguis obtenida en La Molina, Lima en 1961.

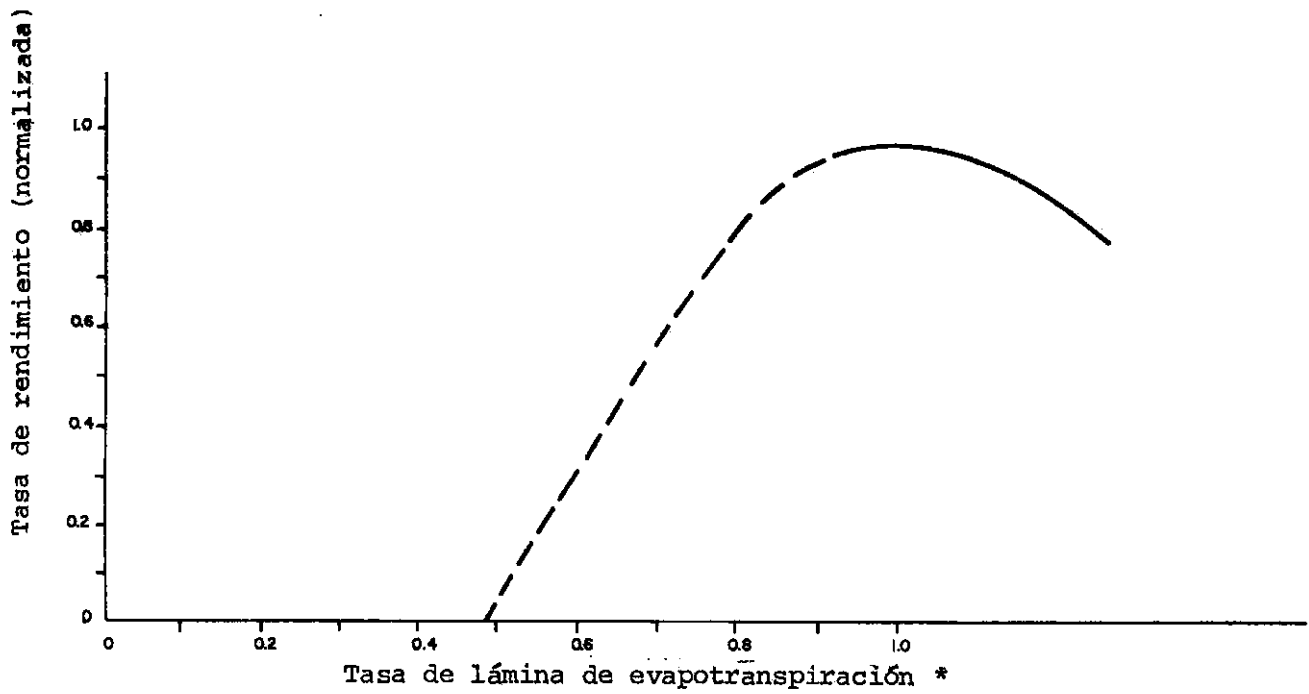
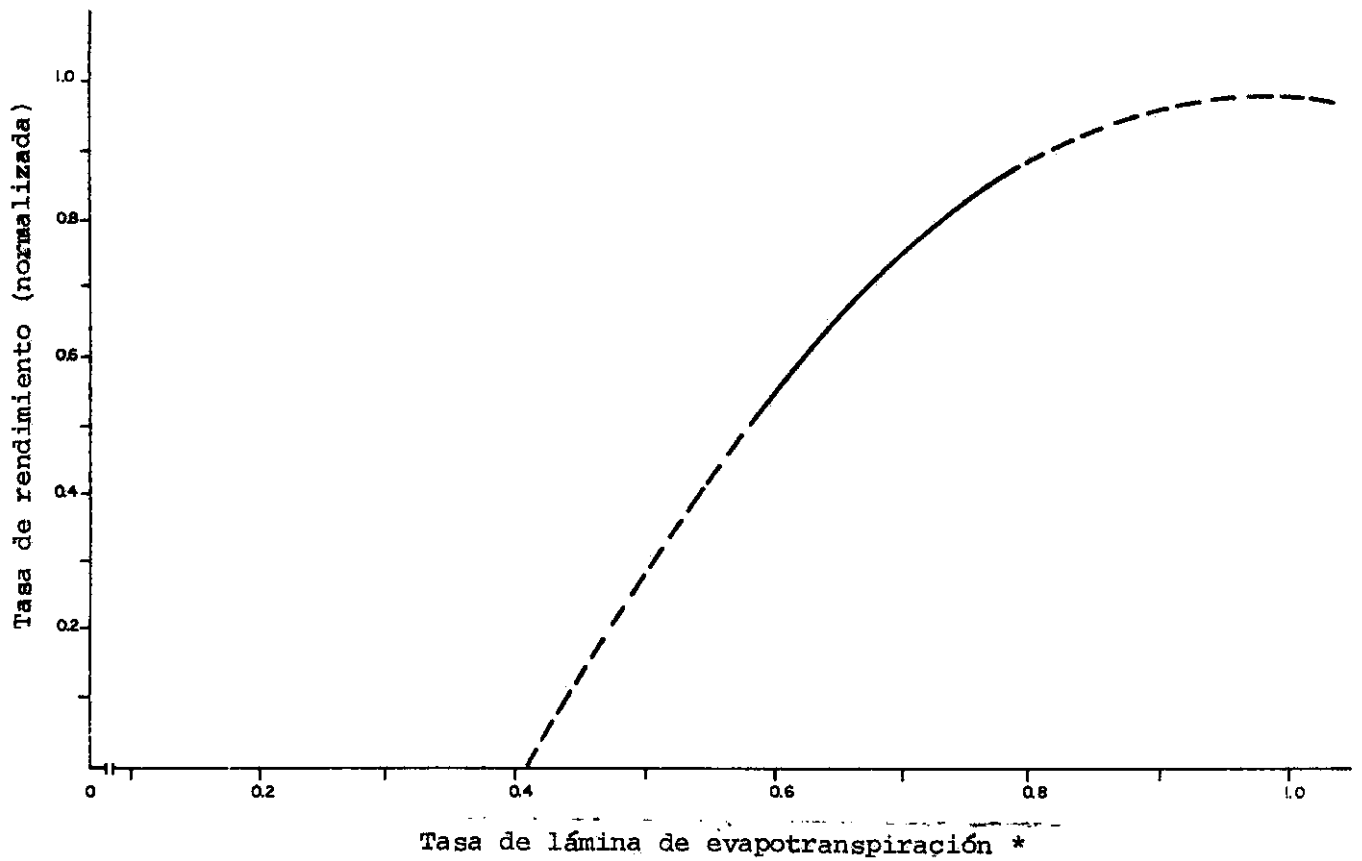
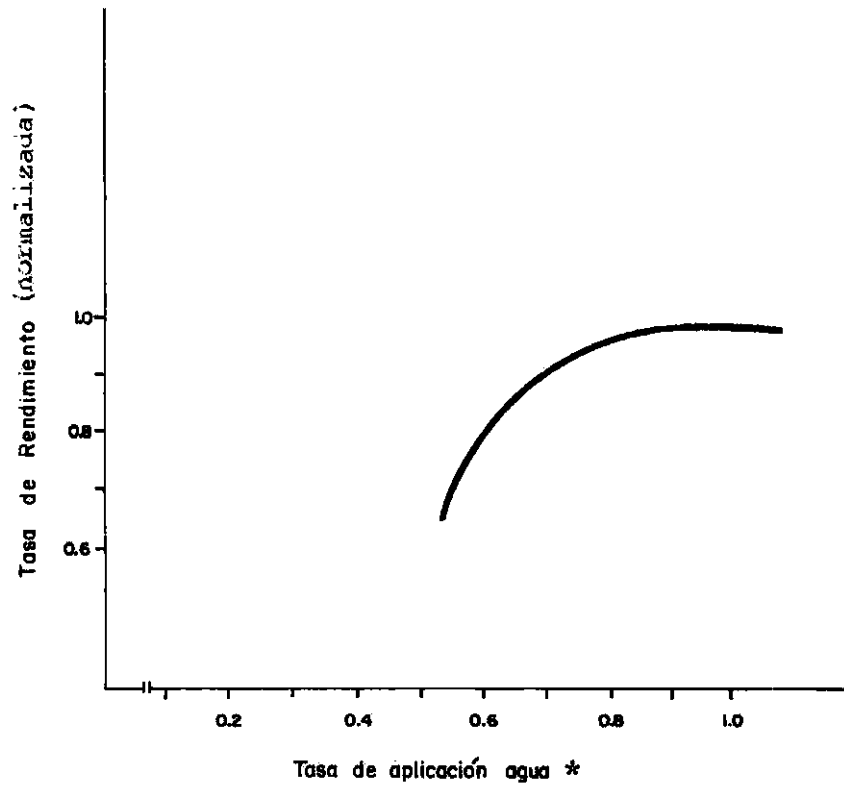


FIGURA 5. Función de producción del maíz híbrido PM-211, obtenido en La Molina, Lima, 1962.



* El valor 1.0 corresponde a la cantidad de agua de evapotranspiración (cm) asociado al rendimiento máximo (1.0)

FIGURA 6 . Función de producción del arroz obtenida en las Filipinas, 1970



* El valor 1.0 corresponde a la intensidad de aplicación de agua (mm/día) asociado al rendimiento máximo (1.0) .

TABLA 13. Rendimiento esperado de los cultivos bajo condiciones de riesgo.

Cultivos por campana	Confiabilidad de ocurrencia de lluvia %	Rr*-campana m ³ /Ha	Rr.arriegado m ³ /Ha (cm/Ha)**	Rendimiento esperado (%) en el 15% y 25%	Rendimiento esperado (Kg/Ha)
SORGOL	97	8980.8	-	-	3000
	85	7615.8	1365 (14)	66	2847
	75	7081.1	1899 (19)	40	2550
SORGO2	97	6769.5	-	-	3000
	85	5108.0	1662 (17)	42	2739
	75	4038.1	2731 (27)	0	2250
ALGODOL	97	10593.9	-	-	1500
	85	9023.1	1571 (16)	49	1385
	75	7068.9	3525 (35)	0	1125
ARROZ1	97	17852.5	-	-	5500
	85	16957.8	895 (0.75)	100	5500
	75	15538.4	2314 (1.93)	90	5363
ARROZ2	97	20497.2	-	-	5500
	85	19654.4	843 (0.70)	100	5500
	75	19119.7	1378 (1.75)	90	5489
ARROZ3	97	14795.6	-	-	5500
	85	13134.2	1661 (1.40)	95	5459
	75	12041.5	2754 (2.30)	78	5198

* Requerimiento de riego. Eficiencia de riego 36%.

** Para el caso del arroz está dado en mm/dfa.

TABLA 14. Beneficios netos (\$/Ha) esperados bajo condiciones de riesgo.

Cultivos	Expectativa de confiabilidad de ocurrencia de lluvia		
	97%	85%	75%
ARROZ1	14198	14198	13308
ARROZ2	14198	14198	14127
ARROZ3	14198	13932	12235
SORGO1	4502	3798	2164
SORGO2	4502	3204	514
ALGODO1	4690	2391	-2809

tearon tres matrices, Anexo 5, y se determinaron los beneficios máximos respectivos. En base a éstos se decidió cuál es el área económicamente recomendable e indirectamente a qué nivel de expectativa de confiabilidad de ocurrencia de lluvia corresponde. Los resultados se muestran en la Tabla 15 donde se puede apreciar que a medida que se disminuye la expectativa en la confiabilidad de ocurrencia de lluvia disminuye el área total por intercambio entre el arroz y el algodón. En general, se podría esperar a medida que se aumenta el riesgo se incrementan los beneficios netos totales hasta un límite donde éstos empiezan a decrecer (20). En el presente caso, debido a que los niveles de confiabilidad de ocurrencia de lluvia no afectan el requerimiento de los cultivos en los meses críticos de agua de riego para los cuales la precipitación efectiva es nula, no se logra incrementar los beneficios netos totales. Para los cálculos

posteriores se ha considerado un nivel de expectativa de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 85% por cuanto los beneficios netos totales no difieren notoriamente de los beneficios esperados al 97% en contraste con el 75% donde la diferencia es grande, por la sensibilidad de los cultivos a la falta de agua, especialmente el algodón.

TABLA 15. Areas y beneficios máximos para expectativas de lluvia mínima mensual.

Cultivo	Expectativas de confiabilidad de ocurrencia de lluvia		
	97%	85%	75%
ARROZ1	2992 (Ha)	3206 (Ha)	3206 (Ha)
ARROZ2	2395 "	2395 "	2395 "
ARROZ3	3121 "	3121 "	3121 "
SORGO1	800 "	800 "	800 "
SORGO2	1500 "	1500 "	1500 "
ALGODO1	1500 "	500 "	500 "
TOTAL	12308 Ha	11522 Ha	11522 Ha
Beneficio neto total máximo	\$ 138'	\$ 135'	\$ 127'

5.4.2. Ritmo de crecimiento del proyecto.

Con el nivel de expectativa de confiabilidad de ocurrencia de lluvia del 85% se formularon matrices para eficiencias de riego del 24%, 30%, 34% y 36%, para cada una de las alternativas, Anexo 6. Los resultados se mues

tran en la Tabla 16, evidenciándose incrementos sólo en las áreas para arroz explicada por su alta rentabilidad. Para el caso de las alternativas II y III que comprenden 2.5 m³/seg adicionales, en el cuarto año se cubre toda el área apta para arroz, por lo tanto se incrementan áreas para sorgo en 2a. campaña y áreas para algodón. Para todos los años, de acuerdo al plan de cultivos propuesto, los meses críticos de agua de riego corresponden a los meses de Febrero, Julio y Diciembre.

5.4.3. Intensidad de uso de la tierra "con" proyecto.

Para el caso de la Alternativa I se ha considerado intensificar el uso de la tierra en la situación actual (7527 Ha), sin incorporar nuevas áreas bajo riego. En las alternativas II y III se ha contemplado intensificar el uso de la tierra e incorporar nuevas áreas bajo riego por tener agua adicional para riego. La incorporación de nuevas áreas se realizó teniendo en cuenta la capacidad administrativa para la construcción de las obras y la capacitación de los usuarios respecto a las técnicas de riego.

Como se puede apreciar en la Tabla 17, la máxima intensidad de uso de la tierra es de 1.8 para el año de estabilización del proyecto. Este valor es razonable por cuanto en las zonas más tecnificadas del Distrito se logran intensidades hasta de 2.

5.5. Evaluación Económica.

La evaluación económica se ha efectuado con base en los precios promedios de mercado correspondiente al año 1977 los cuales reflejan su pre-

TABLA 16. Ritmo de incremento de áreas bajo riego.

Alternativas	Cultivos	Año1 = Efic 24%	Año2 = Efic 30%	Año 3 = Efic 34%	Año 4 = Efic 36%
I	Arroz1	2540 Ha.	3200 Ha.	3650 Ha.	3870 Ha.
	Arroz2	1850 Ha.	2400 Ha.	2760 Ha.	2950 Ha.
	Arroz3	2370 Ha.	3120 Ha.	3620 Ha.	3870 Ha.
	Sorgo1	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.
	Sorgo2	1500 Ha.	1500 Ha.	1500 Ha.	1500 Ha.
	Algodol	500 Ha.	500 Ha.	500 Ha.	500 Ha.
	Total	9560 Ha.	11520 Ha.	12830 Ha.	13490 Ha.
II	Arroz1	3370 Ha.	4240 Ha.	4820 Ha.	4950 Ha.
	Arroz2	2530 Ha.	3250 Ha.	3720 Ha.	3970 Ha.
	Arroz3	3310 Ha.	4290 Ha.	4940 Ha.	4950 Ha.
	Sorgo1	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.
	Sorgo2	1500 Ha.	1500 Ha.	1500 Ha.	2280 Ha.
	Algodol	500 Ha.	500 Ha.	500 Ha.	1260 Ha.
	Total	12010 Ha.	14580 Ha.	16280 Ha.	18210 Ha.
III	Arroz1	2540 Ha.	4240 Ha.	4820 Ha.	4950 Ha.
	Arroz2	1850 Ha.	3250 Ha.	3720 Ha.	3970 Ha.
	Arroz3	2370 Ha.	4290 Ha.	4930 Ha.	4950 Ha.
	Sorgo1	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.	800 Ha.
	Sorgo2	1500 Ha.	1500 Ha.	1500 Ha.	2280 Ha.
	Algodol	500 Ha.	500 Ha.	500 Ha.	1260 Ha.
	Total	9560 Ha.	14580 Ha.	16280 Ha.	18210 Ha.

TABLA 17. Intensidad de uso de la tierra "con" proyecto.

Alternativa	Año	Area Física	Area Año	Intensidad
I	1	7527	9560	1.27
	2	7527	11520	1.53
	3	7527	12830	1.70
	4*	7527	13490	1.79
II	1	7527	12010	1.60
	2	9027	14580	1.62
	3	10027	16280	1.62
	4*	10027	18210	1.82
III	1	7527	9560	1.27
	2	9027	14580	1.62
	3	10027	16280	1.62
	4*	10027	18210	1.82

* Año de estabilización del proyecto.

NOTA: En las alternativas II y III se incorporan nuevas áreas bajo riego: 1.500 en el segundo año y 1000 en el tercer año.

cio social y se han supuesto constantes durante toda la vida útil del proyecto, tanto para los costos de las obras como para los de producción agrícola; así mismo los rendimientos de los cultivos se suponen constantes debido a que la situación "sin" y "con" proyecto es bajo riego. El detalle de los costos de producción se presentan en los Anexos 7, 8 y 9.

A continuación se presenta el análisis de los factores considerados en la evaluación del proyecto y los resultados obtenidos con base en el modelo de evaluación cuantitativa.

5.5.1. Superficie adicional "con" proyecto.

Estas áreas son el resultado de comparar la situación "sin" proyecto: eficiencia de riego 24%, área física 7527 Ha y una intensidad de uso de la tierra de 1.27; con la situación "con" proyecto.

En la Tabla 18 se aprecia que para las alternativas I y II, se ha mantenido la situación actual por cuanto es el año de ejecución de las obras. En la alternativa II hay incremento de área en el primer año, resultante de una mayor intensidad de uso de la tierra al tener disponibilidad inmediata de $2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Para el año de estabilización del proyecto, en las alternativas II y III se evidencia incremento de áreas para Sorgo2 y Algodón debido a que el área de Arroz1 y Arroz3 han logrado su máximo.

5.5.2. Beneficios del proyecto.

Para estimar los valores de los beneficios, se siguió el procedimien-

TABLA 18. Superficie adicional "con" proyecto (Ha).

Alternativas	Cultivos	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4 *
I	Arroz 1	-	660	1110	1330
	Arroz 2	-	550	910	1100
	Arroz 3	-	750	1250	1500
II	Arroz 1	830	1700	2280	2410
	Arroz 2	680	1400	1870	2120
	Arroz 3	940	1920	2570	2580
	Sorgo 2	-	-	-	780
	Algodón 1	-	-	-	760
III	Arroz 1	-	1700	2280	2410
	Arroz 2	-	1400	1870	2120
	Arroz 3	-	1920	2570	2580
	Sorgo 2	-	-	-	780
	Algodón 1	-	-	-	760

* Año de estabilización del proyecto.

to de precisar el beneficio neto de la producción a partir del valor bruto de la producción agrícola, deducidos los costos de producción. Este análisis se realizó para la situación "sin" y "con" proyecto a fin de obtener los beneficios netos diferenciales, a lo largo de la vida útil del proyecto. Los resultados para las diferentes alternativas se presentan en la Tabla 19.

TABLA 19. Valor neto adicional de la producción "con" proyecto, en millones de pesos.

Alternativas	Valor neto de la producción	Valor actualizado neto de la producción
I	2.680.27	382.23
II	5.183.59	780.69
III	5.149.02	749.80

De esta tabla se desprende que el mayor valor neto de la producción corresponde a la alternativa II, como consecuencia de intensificar el uso de la tierra desde el primer año, al tener disponible de inmediato 2.5 m³/seg. adicionales.

5.5.3. Costos del proyecto.

Los egresos totales consisten en los desembolsos en que se incurre,

como consecuencia de las inversiones propuestas en obras de adecuación predial e infraestructura de riego necesaria para el buen funcionamiento del Distrito. Se incluye además el costo de operación, mantenimiento y organización; los costos de extensión en riego a través de las actividades tendientes a lograr un mejor uso del agua en explotaciones agrícolas y comprenden: conferencias, cursos cortos de entrenamiento, tanto para profesionales de asistencia técnica como regadores, establecimientos de parcelas demostrativas, etc.

En la Tabla 20 se muestran los principales rubros de las inversiones, cuyos detalles se presentan en el Anexo 10. La construcción de las obras se ha programado de la siguiente manera: Mejoramiento de riego en 2 años, \$ 19'000.000 por cada año; adecuación predial en dos años, 1500 Ha en el primer año y 1000 Ha en el segundo año que corresponden a \$ 42'000.000 y \$ 28'000.000 respectivamente; la construcción del canal de recuperación en el primer año, \$ 39.000.000. El resumen se muestra en la Tabla 21.

5.5.4. Indicadores económicos.

Los indicadores utilizados para la evaluación, hacen referencia al Valor Presente Neto (VPN), a la relación Beneficio-Costo (B/C) y a la Tasa Interna de Retorno (TIR), obtenidos mediante la confrontación de los beneficios netos y de los costos del proyecto, actualizados a una tasa del 12%. Los valores de estos indicadores se presentan en la Tabla 22, y la decisión sobre la mejor alternativa se realizó con el criterio del VPN.

TABLA 20. Costos del proyecto en miles de pesos.

Alternativa	Actividades	"sin" proyecto	"con" proyecto	Incremento
I	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)	-	38,000	38,000
	. Operación, mantenimiento y organización (anual)	6,000	6,000	-
	. Extensión en riego (anual)	-	1,000	1,000
II	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)	-	38,000	38,000
	. Operación, mantenimiento y organización (anual). Riego y drenaje.	6,000	8,000	2,000
	. Operación, mantenimiento y organización (anual). Energía Eléctrica.	1,500	-	-1,500
	. Extensión en riego (anual)	-	1,300	1,300
	. Adecuación predial*	-	70,000	70,000
	. Suplir energía eléctrica (anual)**	-	6,500	6,500
III	. Mejorar la eficiencia de riego (anual)	-	38,000	38,000
	. Operación, mantenimiento y organización (anual)	6,000	9,000	3,000
	. Extensión en riego (anual)	-	1,300	1,300
	. Adecuación predial*	-	70,000	70,000
	. Construcción del canal de recuperación (en el 1er.año)	-	39,000	39,000

* Adecuación predial de 2500 Ha a \$ 28.000/Ha.
1500 Ha en el primer año; 1000 Ha en el segundo año.

** 2500 Kw/hr x 24 hr/día x 30 día/mes x 12 meses/año x \$0.30/Kw= 6'500.000 .

TABLA 21. Costos adicionales en la situación "con" proyecto, en miles de pesos.

Alternativas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
I	20,000	20,000	1,000	1,000
II	67,300	56,300	8,300	8,300
III	101,300	52,300	4,300	4,300

TABLA 22. Indicadores económicos de las alternativas propuestas.

Alternativas	Beneficio neto actualizado	Costo proyecto actualizado	VPN	B/C	TIR
I	382.230.553	40.413.465	341.817.088	9.46	128
II	771.883.453	159.810.237	612.073.216	4.83	141
III	741.198.392	162.187.832	579.010.560	4.57	63

Los resultados indican lo siguiente:

1. Que todas las alternativas propuestas tienen una alta rentabilidad social, debido a que las obras a realizarse constituyen ajustes marginales bajo una situación de infraestructura de riego establecida. La razón principal del impacto de este ajuste marginal es la ineficiencia con que se está operando el sistema de riego.
2. La alternativa I, es la que presenta los menores costos de inversión con la mayor retribución a las mismas. Esta alternativa no es excluyente de las otras, por lo tanto sería posible considerarla como una primera etapa de cualesquiera de las otras dos alternativas.
3. La alternativa II, es la más rentable socialmente; sin embargo su realización implica un acuerdo entre la Junta de Usuarios de Riego y la Central Hidroeléctrica del Tolima.
4. La alternativa III, es menos rentable socialmente que la alternativa II; pero tiene la ventaja de que su ejecución depende directamente de la Junta de Usuarios de Riego, haciéndolo muy atrayente.

El análisis de sensibilidad se realizó para estimar la viabilidad del proyecto aún cuando se usan valores "pesimistas".

Para determinar las variaciones de los precios y los costos de producción se estimaron las variaciones cíclicas a través del método llamado deflación sucesiva (20). Para aplicar este método, se procedió en primer lugar a deflactar los precios y los costos de producción por el índice del

producto interno bruto, Anexos 11, 12 y 13. Es recomendable deflactar los precios por el índice de precios al productor y los costos de producción por el índice de precios a los insumos; sin embargo esta información no está disponible. Una vez deflactados se estimaron las variaciones cíclicas, Anexos 14 y 15, donde se puede apreciar:

- a) La variación máxima de menos en los precios es del 11.2% para el arroz y 10.4 para el algodón. Para los cálculos se tomó 11%.
- b) La variación máxima de los costos de producción es de 6.3% para el arroz y 3.8% para el algodón. Para los cálculos se tomó 7%.

En el caso de resultar variaciones muy altas de un cultivo con respecto a otro, es recomendable ponderar con los beneficios respectivos, para el año de estabilización del proyecto.

La variación de los rendimientos se estimó con base en la serie histórica 1962-1977, Anexo 16, analizando períodos más o menos estables con el fin de evitar el efecto tecnológico. Se observa que la máxima baja en el rendimiento del arroz es del 4% mientras que en el algodón del 50%, los cuales al ponderar por sus respectivos beneficios nos da un promedio del 8%. El porcentaje de variación máxima para los costos del proyecto se ha estimado en 10%.

Los resultados sobre el análisis de sensibilidad se muestra en la Tabla 23, donde se puede apreciar que aún en situaciones "pesimistas" las alternativas propuestas siguen siendo altamente rentables.

No se justificó hacer el análisis de sensibilidad para situaciones en que ocurre una baja simultánea en rendimientos y precios o rendimientos, precios y costos de producción, dada la alta rentabilidad social.

TABLA 23. Análisis de sensibilidad.

Alternativas	Sensibilidad	%	VPN (\$)	B/C	TIR (%)
I	Rendimiento	- 8	264.535.952	7.55	103
	Precios	- 11	235.555.728	6.83	93
	Costo Producción	+ 7	300.951.296	8.45	116
	Costo Proyecto	+ 10	337.775.104	8.60	117
II	Rendimiento	- 8	445.586.944	3.79	92
	Precios	- 11	383.154.176	3.40	77
	Costo Producción	+ 7	520.433.664	4.26	112
	Costo Proyecto	+ 10	596.085.504	4.39	117
III	Rendimiento	- 8	418.762.496	3.58	52
	Precios	- 11	358.669.568	3.21	42
	Costo Producción	+ 7	490.671.360	4.02	57
	Costo Proyecto	+ 10	562.799.616	4.16	58

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

Las principales conclusiones a que se llegó en el presente estudio fueron las siguientes:

1. En general todas las alternativas propuestas tienen una alta rentabilidad social con relaciones de beneficio-costos y tasas internas de retorno mayores que 4.6 y 62% respectivamente, debido a que las inversiones a realizarse constituyen ajustes marginales bajo una situación de infraestructura de riego establecida. La razón principal del impacto de este ajuste marginal es la ineficiencia con que se está operando el sistema de riego.
2. La alternativa I, mejorar la eficiencia de riego actual, es la que presenta los menores costos de inversión con la mayor retribución a las mismas. Esta alternativa no es excluyente de las otras, por lo tanto sería posible considerarla como una primera etapa de cualesquiera de las otras dos alternativas.
3. La alternativa II, dejar fuera de uso las turbinas generadoras de energía eléctrica y suplir dicha energía a través de la Central Hidroeléctrica de Caldas a fin de recuperar $2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ para riego, es la más rentable socialmente con un valor presente neto de \$ 612.073.216, un beneficio-costos de 4.83 y una tasa interna de retorno de 14.1%, la

más alta; sin embargo su realización implica un acuerdo entre la Junta de Usuarios de Riego y la Central Hidroeléctrica de Caldas.

4. La alternativa III, recuperar aguas bajo los caudales que se pierden al generar energía eléctrica ($2.5 \text{ m}^3/\text{seg}$), es menos rentable socialmente que la alternativa II con un Valor Presente Neto de \$579.010.560, un Beneficio-Costo de 4.57 y una Tasa Interna de Retorno de 63%; pero tiene la ventaja de que su ejecución depende directamente de la Junta de Usuarios de Riego, ésto lo hace muy atractivo.
5. La sensibilidad de las alternativas propuestas respecto a los rendimientos de los cultivos, precios de los productos, costos de producción y costos de las obras; demuestran la viabilidad económica aún en situaciones pesimistas.
6. El plan de cultivos, de las alternativas II y III, para el año de estabilización del proyecto comprenden los cultivos de arroz, sorgo y algodón con superficies anuales de 13.870 Ha., 3.080 Ha y 1.260 Ha respectivamente. En esta situación, la intensidad de uso de la tierra es de 1.82, con una área física de 10.027 Ha.
7. El plan de cultivos, de la alternativa I, para el año de estabilización del proyecto comprende los cultivos de arroz, sorgo y algodón con superficies anuales de 10.698 Ha, 2.300 Ha y 500 Ha. respectivamente. La intensidad de uso de la tierra es de 1.79, con una área física de 7.527 Ha.

6.2. Recomendaciones.

1. Dado la alta rentabilidad de las alternativas propuestas, para las cuales se han considerado tan sólo un costo en extensión de riego de aproximadamente \$1'000.000 pesos anuales, sería recomendable una mayor inversión en actividades de extensión por cuanto es un aspecto determinante para el logro de los objetivos.
2. La evaluación de proyectos de esta naturaleza requiere de información y análisis hidrometeorológico. Sería conveniente, por lo tanto, intensificar las actividades en esta materia por las entidades responsables.
3. Es necesario que se realicen estudios de la influencia del insumo agua en los rendimientos de los cultivos, por cuanto constituyen la información básica indispensable para buscar las alternativas que permitan obtener el mayor beneficio económico de los volúmenes de agua disponible para el riego.

7. RESUMEN

El Distrito de Riego Río Recio, situado al norte del Departamento del Tolima - Colombia, tiene una área susceptible de riego de 10.000 Ha de las cuales se encuentran bajo riego 7.500 Ha.

El Distrito, ha visto frenado su pleno desarrollo debido al mal uso y a la escasez relativa del recurso agua. En la actualidad se tienen la bocatoma, los canales principales y parte de las obras a nivel predial: estructuras de control de agua y adecuación de tierras; sin embargo el recurso agua se dedica en un 25% a la generación de electricidad. Por otra parte los usuarios hacen un uso irracional del agua disponible para riego: actualmente la eficiencia de riego corresponde a un 24% aproximadamente.

El objetivo principal del presente estudio consiste en determinar la viabilidad técnica-económica de las alternativas tendientes a aumentar la disponibilidad de agua para riego, en las cuales se consideran la intensificación del uso de la tierra y/o la incorporación de nuevas áreas bajo riego:

- I. Mejorar la eficiencia de riego actual. Esta alternativa no es excluyente de las demás.

- II. Dejar fuera de uso las turbinas generadoras de energía eléctrica y suplir dicha energía por intermedio de la Central Hidroeléctrica de Caldas. Permite recuperar 2.5 m³/seg para riego.

III. Recuperar, aguas abajo, los caudales que se pierden al generar energía eléctrica.

La metodología usada comprende el análisis de las consideraciones técnicas y económicas para determinar en las tres alternativas el modo económicamente más eficiente de ampliación del Distrito de Riego y/o intensificación del uso de la tierra. Se formuló un modelo matemático de asignación de áreas para los cultivos el cual requirió haberlos seleccionado previamente teniendo en cuenta la aptitud de los suelos, el uso actual de la tierra y el comportamiento de los agricultores a través del tiempo.

Con la información anterior se aplicó un modelo de evaluación cuantitativa para determinar el valor de los indicadores económicos. El análisis del flujo de los beneficios y los costos se realizó bajo el criterio de la situación "sin" y "con" proyectos.

Los principales resultados obtenidos fueron:

1. En general todas las alternativas propuestas tienen una alta rentabilidad social con Beneficios-Costos y Tasas Internas de Retorno mayores que 4.6 y 62% respectivamente.
2. La alternativa I, es la que presenta los menores costos de inversión con la mayor retribución a las mismas.
3. La alternativa II, es la más rentable socialmente con un Valor Presente Neto de \$612.073.216, un Beneficio-Costo de 4.83 y una Tasa Interna de Retorno de 141%. Sin embargo, su realización implica un acuer-

do entre la Junta de Usuarios de Riego y la Central Hidroeléctrica de Caldas.

4. La alternativa III es menos rentable socialmente que la II con un Valor Presente Neto de \$579.010.560, un Beneficio-Costo de 4.57 y una Tasa Interna de Retorno de 63%; pero tiene la ventaja de que su ejecución depende directamente de la Junta de Usuarios de Riego.

8. SUMMARY

The irrigation of the Recio River, situated in the northern part of the Department of Tolima, in Colombia, contains 10,000 hectares of potentially irrigatable land, of which only 7,500 hectares are presently irrigated.

The economic development of the district has evidently been held back owing to the misuse and relative scarcity of water. At the present time there exists an intake dam in the river to divert the water into the irrigation system, a number of canals, and part of the necessary infrastructure for water control and reclamation of the land.

Currently, however, 25% of the water resource in the district is dedicated to the generation of electricity. This necessitates the diversion of the water to a topographical level unsuitable for irrigation. Further, the farmers have badly misused the water that is available for irrigation, resulting in a level of efficiency of approximately only 24%.

The principal objective of the present study is to determine the technical and economic viability of alternatives which could increase the availability of water for irrigation, with the goal of increasing the intensity of the use of the land and/or bringing more area under irrigation. These alternatives are:

- I. To increase the efficiency of the current irrigation system. This option is not excluded by the adoption of the other alternatives.
- II. To stop the use of the water resource for the creation of electric energy and to supply this energy, for the interim, through the Central Hidroeléctrica de Caldas (a public utility providing electricity to other districts in the region). This would permit the recovery of $2.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ for irrigation purposes.
- III. To recover, downstream, by diverting the water back to the irrigation district, the irrigation potential that is lost through the generation of electricity.

The methodology used includes the analysis of technological and economic considerations to determine, from among these three alternatives, the method that is economically most efficient for increasing the area under irrigation and/or towards intensifying the use of the land. A mathematical model is formulated to determine the optimal area for each crop. This model takes into account the suitability of the soils, the current use of the land, and the behavior of the farmers over a period of time.

With this information a quantitative evaluation model is applied to determine the value of the certain economic indicators. A Benefit-Cost Analysis is performed to analyse these various alternatives.

The principal results obtained are:

1. In general, all of the proposed alternatives have a high social return. The results of the Benefit-Cost analysis and Internal Rates of Return for all projects are greater than 4.6 and 62% respectively.
2. Alternative I entails the least investment and presents the highest returns to investment.
3. Alternative II, has the highest social returns with a Net Present Value of \$612.073.216 pesos, a Benefit-Cost ratio of 4.83 and an Internal Rate of Return of 141%. However, its realization implies an agreement between the Junta de Usuarios de Riego (an organization of farmers in the district who participate in the irrigation scheme) and the Central Hidroeléctrica de Caldas.
4. Alternative III has less social returns than Alternative II, with a Net Present Value of \$ 579.010.560 pesos, a Benefit-Cost ratio of 4.57 and an Internal Rate of Return of 63%. It does, however, have an advantage in that its execution depends only upon the Junta de Usuarios de Riego.

LITERATURA CITADA

1. ARAUJO C. M., A. Evaluación económica de un proyecto de riego-drenaje. Cuenca Bajo Río Grande. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 102 p.
2. BANCO INTERAMERICANO DE RECONSTRUCCION Y FOMENTO Y AGENCIA INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO. La evaluación de proyectos agrícolas; estudio de algunos aspectos económicos y financieros. Washington, D.C., Reporte No. EC-128. 1964. Mimeo.
3. CAMPO U., O. Asignación de recursos en la explotación agropecuaria y las fluctuaciones del mercado (metodología). Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1977. 79 p.
4. CARRILLO, L. y CASAS D., E. Predicción de lluvia y su aplicación a la agricultura. México, Escuela Nacional de Agricultura, 1974. 170 p.
5. CURSO INTERNACIONAL DE INGENIERIA DE REGADIO. Madrid, s.e., 1974. 36 h. Mimeo.
6. CHANG-NAVARRO, L. y CORNEJO T., A. Funciones de producción del agua de riego de los principales cultivos de la costa peruana. Lima, Fundación para el Desarrollo Nacional. Instituto para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Tierras, 1972. 31 p.
7. DORFMAN, R. Basic economic and technologic concepts; a general statement. In Design of water-resource systems. Cambridge, Harvard University, 1967. pp. 129-158.
8. DOWNEY LL., A. Water-yield relations for nonforage crops. Journal of the Irrigation and Drainage Division. 98:107-115, 1972.
9. ECKSTEIN, O. Explotación de recursos hidráulicos. México, Compañía General de Ediciones, 1964. 324 p.
10. ESCOBAR P., G. Metodología para un análisis comparativo de los patrones de producción utilizados por el pequeño agricultor. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1977. pp. 18-45.
11. GARCES R, C. Requerimiento de riego del algodónero (Gossypium hirsutum), en la zona del Espinal (Tolima). Bogotá, UN-ICA, 1975. 20 h. Mecano.

12. GITTINGER, J. PRICE. Análisis económico de proyectos agrícolas. Madrid, Tecnos 1973. 241 p.
13. GUILLEN D., P. y ESPINOSA, R. El beneficio-costo en la evaluación económica de los proyectos de rehabilitación en los distritos de riego de México. Ingeniería Hidráulica (México) 20(4):9-26. 1966.
14. HAWKINS C., J. y PEARCE D., W. Evaluación de las inversiones. Madrid, Vicens Vives, 1971. 95 p.
15. INFANTE VILLARREAL, ARTURO. Evaluación de proyectos de inversión. 3a. ed. Cali, Biblioteca Banco Popular, 1977. 236 p.
16. INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS. Evaluación de proyectos agropecuarios. Bogotá, 1977. 32 p.
17. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. SUBDIRECCION DE AGROLOGIA. Estudio detallado de suelos y clasificación para riegos del sector Ambalema-Lérida-La Sierra (Departamento del Tolima). Bogotá, 1974. 318 p.
18. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Annual report for 1970. Laguna Philipines, 1971. 265 p.
19. JAMES D., L. y LEE R., R. Economics of water resources planning. New York, McGraw-Hill, 1971. 593 p.
20. KUIPER, E. Water resources project economics. London, Butterworths, 1971. 447 p.
21. NAVA S., S. Conceptos de lluvia efectiva y su aplicación en la programación de los riegos. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Estadística y Estudios Económicos, 1972. 77 p. (Memorandum Técnico No. 307).
22. OROZCO, R. Algunas técnicas en análisis de precios y pruebas estadísticas relacionadas. Temas Didácticos. Instituto Colombiano Agropecuario. 3(9-10):3-20, 1975.
23. PEARCE D., W. Análisis costo-beneficio. Madrid, Vicens Vives, 1971. 100 p.
24. PENICHE C., A. Tecnificación del riego-Flamepa-aplicado al cultivo de La caña de azúcar. México, Secretaría de Recursos Hidráulicos. Dirección de Estadística y Estudios Económicos, 1973. 66 p. (Memorandum Técnico No. 324).

A N E X O S

ANEXO 1. Datos de precipitación mensual en mm. Estación Pajomasles.

ÑO	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTI.	OCTUB.	NOVI.	DICIE.	TOTALES	PROMEDIO M.
1931	65.60*	72.50*	54.90*	165.60*	176.00*	89.00*	35.70*	52.70*	104.30*	110.20*	233.40*	76.90*	1236.8	103.1
1932	42.70*	44.90*	46.40*	227.10*	147.30*	59.80*	88.00*	106.90*	191.80*	207.90*	146.00*	41.40*	1350.2	112.5
1933	203.80*	36.30*	108.50*	158.90*	169.00*	86.50*	80.50*	97.10*	166.00*	204.80*	169.70*	59.70*	1534.9	127.9
1934	56.60*	96.90*	86.80*	116.30*	175.30*	117.10*	60.90*	82.40*	97.10*	199.40*	111.60*	88.70*	1289.1	107.4
1935	65.60*	85.40*	229.70*	159.90*	132.70*	117.80*	127.40*	97.10*	128.10*	204.40*	138.00*	93.00*	1579.5	131.6
1936	29.40*	28.30*	39.30*	128.70*	180.30*	52.90*	36.80*	71.70*	57.30*	97.70*	182.00*	134.30*	1038.7	86.6
1937	27.40*	79.00*	99.10*	113.20*	269.30*	68.90*	65.30*	88.10*	186.50*	259.10*	132.50*	94.50*	1483.2	123.6
1938	31.30*	94.40*	153.50*	131.50*	241.60*	70.60*	89.40*	163.90*	93.10*	206.0*	219.40*	81.50*	1576.6	131
1939	38.80*	26.20*	197.90*	55.30*	73.90*	80.30*	46.90*	120.30*	137.80*	116.20*	148.60*	114.50*	1366.2	97.2
1940	65.10*	75.60*	46.20*	200.00*	180.00*	63.70*	37.40*	172.80*	116.10*	370.80*	68.80*	61.50*	1293.5	107.8
1941	104.00	146.00	43.00	152.00	107.00	11.00	32.00	5.00	128.30*	113.40*	71.00*	80.50*	1293.1	82.8
1942	73.20*	78.50*	114.10*	272.80*	77.00	32.00	20.00	123.00	150.00	205.00	130.00	63.40	1428.6	119.1
1943	70.00	106.00	80.00	292.00	146.00	72.00	31.00	57.00	168.00	219.00	56.00	160.00	1457.0	121.4
1944	27.40*	145.50*	61.50*	198.80*	192.10*	99.00*	67.20*	98.00*	120.10*	221.00*	142.80*	109.30*	1482.7	123.6
1945	36.00	0.0	26.00	130.00	338.00	93.00	48.00	111.00	86.00	230.00	168.00	74.00	1340.0	111.7
1946	52.00	84.00	102.00	244.00	120.00	2.00	70.00	22.00	27.00	174.00	138.00	22.00	1057.0	88.1
1947	59.00*	144.00*	56.60*	111.00*	69.80*	135.20*	174.90*	93.40*	194.50*	179.40*	30.70*	29.50*	1278.4	106.5
1948	0.0	26.00	48.00	133.10*	18.00	12.00	21.00	6.00	54.00	106.00	32.00	52.00	508.1	42.3
1949	0.0	6.00	12.00	26.00	74.00	35.00	11.00	45.00	72.00	77.00	35.00	3.00	396.0	33.0
1950	15.00	47.00	65.00	76.00	538.00	188.00	64.00	140.00	47.00	172.00	64.00	26.00	1442.0	120.2
1951	26.00	198.00	16.00	129.00	263.00	28.00	17.00	63.00	115.00	106.00	112.00	129.00	1202.0	100.2
1952	43.00	0.0	38.00	334.00	292.00	34.00	51.00	20.00	128.00	387.00	152.00	80.00	1559.0	129.5
1953	48.00	4.00	110.00	86.00	178.00	54.00	14.00	22.00	136.00	188.00	131.00	75.00	1044.0	87.0
1954	78.00	78.00	106.00	146.00	114.00	266.00	172.00	102.00	161.00	331.00	262.00	18.00	1834.0	152.8
1955	8.00	44.00	265.00	238.00	209.00	71.00	170.00	167.00	129.00	104.00	51.00	80.00	1536.0	123.0
1956	53.00	138.00	78.00	157.00	185.00	154.00	32.00	13.00	113.00	194.00	45.00	306.00	1448.0	120.7
1957	25.00	133.00	46.00	271.00	211.00	11.00	35.00	28.00	174.00	234.00	48.00	14.00	1230.0	102.5
1958	41.00	40.00	40.00	83.00	96.00	4.00	34.00	88.00	75.00	95.00	123.00	79.00	789.0	65.8
1959	8.00	72.00	116.00	90.00	308.00	78.00	20.00	64.00	162.00	192.00	61.00	95.00	1266.0	105.5

* Valores calculados por correlación con la Estación del IPA.

ANEXO 2. Prueba de bondad de ajuste de la distribución Gamma.

Meses	χ^2 calculado	GL	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.01}$
Enero	16	24	36.4	43.0
Febrero	30	24	36.4	43.0
Marzo	26	26	38.9	45.6
Abril	24	26	38.9	45.6
Mayo	32	26	38.9	45.6
Junio	28	26	38.9	45.6
Julio	36	26	38.9	45.6
Agosto	26	26	38.9	45.6
Septiembre	32	26	38.9	45.6
Octubre	38	26	38.9	45.6
Noviembre	26	26	38.9	45.6
Diciembre	30	26	38.9	45.6

NOTA. Hipótesis

H_0 : Las precipitaciones se ajustan a la distribución GAMMA.

H_1 : Las precipitaciones no se ajustan a la distribución GAMMA.

Criterio de decisión:

Rechazar H_0 si $\chi^2_c \geq \chi^2_{\alpha, GL}$

ANEXO 3. Evaporación mensual en mm., tanque clase A - Estación El Salto.

Meses	1968	1969	1970	1971	1972	1974	1975	1976	Pro- medio
Enero	-	179.1	225.8	140.2	164.5	136.5	-	147.6	165.6
Febrero	-	186.1	203.1	133.7	181.8	130.5	-	142.9	163.0
Marzo	-	167.7	218.2	120.9	155.3	161.4	117.0	122.4	151.8
Abril	-	133.2	175.0	115.1	155.2	149.1	143.5	180.8	150.3
Mayo	-	166.4	182.4	147.0	130.6	140.3	112.0	-	146.5
Junio	-	-	199.0	154.3	148.1	128.5	148.7	-	155.7
Julio	-	310.9	116.6	213.3	210.8	207.5	-	258.7	219.6
Agosto	-	-	190.4	162.9	224.3	137.7	-	275.0	198.1
Septiembre	-	135.0	196.8	174.2	194.0	175.5	131.4	-	167.8
Octubre	-	149.3	170.4	160.5	176.5	146.0	123.6	-	154.4
Noviembre	89.9	-	160.2	154.9	153.4	118.2	133.2	143.3	136.2
Diciembre	187.5	197.6	147.7	156.3	154.5	139.6	127.2	170.4	160.1

NOTA: No existe información del año 1973.

ANEXO 4. Requerimiento de riego mensual (m³/ha), para probabilidades de lluvia de 75, 85, 97% y eficiencias de riego de 24%, 30%, 34% y 36%.

Meses	Efic. Riego	Arroz			Sorgo			Algodón		
		75	85	97	75	85	97	75	85	97
Enero	24	7417.5	7417.5	7417.5	-	-	-	-	-	-
	30	5934.0	5934.0	5934.0	-	-	-	-	-	-
	34	5235.9	5235.9	5235.9	-	-	-	-	-	-
	36	4945.0	4945.0	4945.0	-	-	-	-	-	-
Febrero	24	7301.3	7301.3	7301.3	-	-	-	1562.1	1562.1	1562.1
	30	5841.0	5841.0	5841.0	-	-	-	1249.7	1249.7	1249.7
	34	5153.8	5153.8	5153.8	-	-	-	1102.6	1102.6	1102.6
	36	4867.5	4867.5	4867.5	-	-	-	1041.4	1041.4	1041.4
Marzo	24	5323.8	6799.6	6799.6	-	-	-	2635.4	4111.3	4111.3
	30	4259.0	5439.7	5439.7	-	-	-	2108.3	3289.0	3289.0
	34	3757.9	4799.7	4799.7	-	-	-	1860.3	2902.1	2902.1
	36	3549.2	4533.1	4533.1	-	-	-	1756.9	2740.8	2740.8
Abril	24	3265.0	3918.3	5260.4	-	-	783.3	2169.2	2822.5	3914.3
	30	2612.0	3134.7	4208.3	-	-	626.7	1735.3	2258.0	3131.7
	34	2304.7	2765.9	3713.2	-	-	552.9	1531.2	1992.4	2763.2
	36	2176.7	2612.2	3506.9	-	-	522.2	1446.1	1881.7	2609.7
Mayo	24	2995.8	3797.9	5062.1	1927.5	2729.6	3993.8	1317.1	2119.2	3383.3
	30	2396.7	3038.3	4049.7	1542.0	2183.7	3195.0	1053.7	1695.3	2706.7
	34	2114.7	2680.9	3573.2	1360.6	1926.8	2819.1	929.7	1495.9	2388.2
	36	1997.2	2531.9	3374.7	1285.0	1819.7	2662.5	878.1	1412.8	2255.6

ANEXO 4. Continuación.

Meses	Efic. Riego	Arroz		Sorgo		Algodón	
		75	85	75	85	75	85
Junio	24	6974.2	6974.2	4735.8	4735.8	2919.6	2919.6
	30	5579.3	5579.3	3788.7	3788.7	2335.7	2335.7
	34	4922.9	4922.9	3342.9	3342.9	2060.9	2060.9
	36	4649.4	4649.4	3157.2	3157.2	1946.4	1946.4
Julio	24	9836.3	9836.3	4025.8	4025.8	-	-
	30	7869.0	7869.0	3320.7	3220.7	-	-
	34	6943.2	6943.2	2841.8	2841.8	-	-
	36	6557.5	6557.5	2638.9	2638.9	-	-
Agosto	24	8873.3	8873.3	-	-	-	-
	30	7098.7	7098.7	-	-	-	-
	34	6263.5	6263.5	-	-	-	-
	36	5915.6	5915.6	-	-	-	-
Septiembre	24	4685.4	5138.8	-	419.2	-	-
	30	3748.3	4111.0	-	335.3	-	-
	34	3307.4	3627.4	-	295.9	-	-
	36	3123.6	3425.8	-	279.4	-	-
Octubre	24	2417.5	3090.0	1291.7	1964.2	-	-
	30	1934.0	2472.0	1033.3	1571.3	-	-
	34	1706.5	2181.2	911.8	1386.5	-	-
	36	1611.7	2060.0	861.1	1309.4	-	-

ANEXO 4. Continuación.

Meses	Efic. riego	Arroz		Sorgo		Algodón	
		75	85	75	85	75	85
Noviembre	24	3788.3	4301.7	1830.4	2343.8	2855.0	-
	30	3030.7	3441.3	1464.3	1875.0	2284.0	-
	34	2674.1	3036.5	1592.1	1654.4	2015.3	-
	36	2525.6	2867.8	1220.3	1562.5	1903.3	-
Diciembre	24	7170.8	7170.8	2935.0	2935.0	2935.0	-
	30	5736.7	5736.7	2348.0	2348.0	2348.0	-
	34	5061.8	5061.8	2071.8	2071.8	2071.8	-
	36	4780.6	4780.6	1956.7	1956.7	1956.7	-

ANEXO 5 Matrices para probabilidades de lluvia del 97%, 85% y 75%. Eficiencia riego 36%.

Actividades	Probabilidad	ARROZ1	ARROZ2	ARROZ3	SORGO1	SORGO2	ALGODO1	DISPONIBILIDADES
BENEFIT	97	14198	14198	14198	4502	4502	4690	
	85	14198	14198	13971	4502	4392	2946	
	75	13797	14127	13711	4090	3356	-2809	
TIERRA1	1	-	-	-	1	-	1	≤ 10,022
TIERRA2	-	1	-	-	1	-	1	≤ 10,022
TIERRA3	-	-	-	1	-	1	-	≤ 10,022
ENERO	97	4945.0						≤ 21.427.200
	85	4445.0						
	75	4945.0						
FEBRERO	97	4867.5					1041.4	≤ 19.353.600
	85	4867.5					1041.4	
	75	4867.5					1041.4	
MARZO	97	4533.1					2740.8	≤ 21.427.200
	85	4533.1					2740.8	
	75	3549.2					1756.9	
ABRIL	97	3506.9			522.2		2609.7	≤ 20.736.000
	85	2612.2			-		1881.7	
	75	2176.7			-		1446.1	
MAYO	97		3374.7				2255.6	≤ 21.427.200
	85		2531.9				1412.8	
	75		1997.2				878.1	
JUNIO	97		4649.4				1946.4	≤ 20.736.000
	85		4649.4				1946.4	
	75		4649.4				1946.2	

ANEXO 5 Continuación.

Actividades Recursos	Pró- bili- dad	ARROZI	ARROZ2	ARROZ3	SORGO1	SORGO2	ALGODO1	DISPONIBILIDADES
JULIO	97		6557.5		2638.9			≤ 21.427.200
	85		6557.5		2638.9			
	75		6557.5		2638.9			
AGOSTO	97		5915.6					≤ 21.427.200
	85		5915.6					
	75		5915.6					
SEPTIEMBRE	97			3953.1		806.7		≤ 20.736.000
	85			3425.8		279.4		
	75			3123.6		-		
OCTUBRE	97			2853.3		2102.8		≤ 21.427.200
	85			2060.0		1309.4		
	75			1611.7		861.1		
NOVIEMBRE	97			3208.6		1903.3		≤ 20.736.000
	85			2867.8		1562.5		
	75			2525.6		1220.3		
DICIEMBRE	97			4780.6		1956.7		≤ 21.427.200
	85			4780.6		1956.7		
	75			4780.6		1956.7		
LIMITE INFERIOR		-	-	-	800	1500	500	
LIMITE SUPERIOR		4950	4950	4950	-	-	1500	

ANEXO 6 . Continuación.

	Eficiencia riego	ARROZ1	ARROZ2	ARROZ3	SORG01	SORG02	AGODO1	DISPONIBILIDADES ALTERNATIVA I	DISPONIBILIDADES ALTERNATIVAS II y III
JUNIO	24		6974.2		4735.8		2919.6	< 20.736.000	< 27.216.000
	30		5579.3		3788.7		2335.7	<	
	34		49922.9		3342.9		2060.9		
	36		4649.4		3157.2		1946.4		
JULIO	24		9836.3		4025.8			< 21.427.200	< 28.123.200
	30		7869.0		3280.7				
	34		6943.2		2841.8				
	36		6557.5		2638.9				
AGOSTO	24		8873.3					< 21.427.200	< 28.123.200
	30		7098.7						
	34		6263.5						
	36		5915.6						
SEPTIEMBRE	24			5138.8		419.2		< 20.736.000	< 27.216.000
	30			4111.0		335.3			
	34			3627.4		295.9			
	36			3425.8		279.4			
OCTUBRE	24		3090.0			1964.2			
	30		2472.0			1571.3			
	34		2181.2			1386.5		< 21.427.200	< 28.123.200
	36		2060.0			1309.4			
NOVIEMBRE	24		4301.7			2343.8			
	30		3441.3			1875.0		< 20.736.000	< 27.216.000
	34		3036.5			1654.4			
	36		2867.8			1562.5			

ANEXO 6. Continuación.

	Eficiencia riego	ARROZ1	ARROZ2	ARROZ3	SORGO1	SORGO2	ALGODO1	DISPONIBILIDADES ALTERNATIVA I	DISPONIBILIDADES ALTERNATIVAS II y III
	24			7170.8		2935.0		<=	<=
	30			5736.7		2348.0		21.427.200	28.123.200
	34			5061.8		2071.8			
	36			4780.6		1956.7			
LIMITE INFERIOR		-	-	-	800	1500	500		
LIMITE SUPERIOR		4950	4950	4950	-	-	1500		

ANEXO 7. Costos de producción por hectárea de arroz.

Jornales, 19 a \$100	\$	1.900
Tractor e implementos, 8 hr a \$3.75		3.000
Abonar		360
Fumigar		750
Recolectar		2.880
Transporte interno		1.163
Semillas, 187 Kg a \$10.7		2.000
Abonos (Urea y compuesto)		2.940
Insecticidas		1.473
Fungicidas		1.302
Herbicidas		136
Empaque		640
Asistencia Técnica		250
Transporte		1.162
Intereses sobre costos variables e imprevistos (8%)		1.596
		<hr/>
TOTAL	\$	21.552

NOTA. El valor neto de la producción corresponde a:

5500 Kg/Ha x \$6.5/Kg	=	\$ 35.750
- Costos de producción	=	<u>21.552</u>
TOTAL		\$ 14.198

ANEXO 8. Costos de producción por hectárea de sorgo.

Jornales 20 a \$ 100	\$	2.000
Tractor e implementos, 6 hr a \$350		2.100
Recolectar		625
Transporte interno		150
Semillas, 20 Kg a \$20		400
Abonos (compuesto) 150 Kg a \$9.20		1.380
Insecticidas		2.500
Fungicidas		539
Empaques, 6l costales a \$29		589
Asistencia Técnica		250
Transporte		450
Interés sobre costos variables e imprevistos (8%)		878
TOTAL	\$	<u>11.861</u>

NOTA. El valor neto de la producción corresponde a:

3000 Kg/Ha x \$ 5.5/Kg	= \$ 16500
-Costos de producción	<u>11861</u>
TOTAL	\$ 4.639

ANEXO 9. Costos de producción por hectárea de algodón.

Jornales, 21 a \$100	\$	2.100
Tractor e implementos 14.7 hr a \$ 263.6		3.875
Fumigar (9 vuelos a \$100)		900
Recolectar		3.000
Empaques y cordeles		805
Transporte interno		700
Semillas, 30 Kg a \$12		360
Abonos (Urea y compuesto)		1.613
Insecticidas		4.692
Fungicidas		1.308
Herbicidas		1.000
Imprevistos (5%)		486
Asistencia técnica		400
Transporte		1.770
Interés sobre costos variables e imprevistos (10%)		2.300
TOTAL	\$	<u>25.309</u>

NOTA. El valor neto de la producción corresponde a:

1500 Kg/Ha	x	\$ 20/Kg	=	\$	30.000
-Costos de producción			=		<u>25.309</u>
TOTAL				\$	4.690

ANEXO 10. Costos del Proyecto en miles de pesos. Alternativa I.

A. Costo de mejorar la eficiencia de riego

<u>Mejorar la eficiencia de conducción</u>	21.400
1) Revestimiento de canales secundarios 16 Km. \$ 1000/Km.	16.000
2) Reconstrucción de derivaciones secundarias 6 # \$ 200	1.200
3) Canales secundarios de drenaje 6 Km 700/Km.	4.200
<u>Mejorar la eficiencia de aplicación</u>	10.000
1. Obras complementarias de adecuación predial	9.000
2. Estructuras adicionales de control de agua	1.000
20% diseño, interventoría e imprevistos	<u>6.600</u>
Sub-total	38.000
B. Costo de operación, mantenimiento y organización	6.000
C. Costo de extensión en riego	<u>1.000</u>
Total	<u><u>45.000</u></u>

* Los items A, B y C es igual para las alternativas II y III.

ANEXO 11. Precios implícitos en el PIB a precios de mercado.

Año	En base 1958	En base 1962
1962	113.5	100.00
1963	164.5	144.93
1964	191.4	168.63
1965	208.9	184.05
1966	240.1	211.54
1967	261.4	230.31
1968	284.4	250.57
1969	307.7	271.10
1970	339.3	298.94
1971	378.7	333.66
1972	427.4	376.56
1973	518.5	456.03
1974	659.6	581.15
1975	817.8	720.53
1976		
1977		

FUENTE: Cuentas Nacionales. Banco de la República.

ANEXO 12. Precios corrientes y deflactados para la zona del interior
(\$/Kg.).

Año	Arroz		Algodón	
	Precios corrientes*	Precios deflactados	Precios corrientes*	Precios deflactados
1962	0.767	0.767	2.009	2.009
1963	0.872	0.602	2.895	1.998
1964	1.123	0.666	2.866	1.700
1965	1.448	0.787	3.435	1.866
1966	1.501	0.710	3.703	1.750
1967	1.914	0.831	3.808	1.653
1968	1.830	0.730	4.004	1.598
1969	1.867	0.689	3.992	1.473
1970	1.830	0.612	4.481	1.499
1971	1.772	0.531	5.133	1.538
1972	1.857	0.493	5.531	1.469
1973	2.182	0.478	8.741	1.913
1974	3.654	0.629	12.185	2.097
1975	4.141	0.575	13.600	1.887
1976	4.471		22.684	
1977			20.347	

* FUENTE: Federación Nacional de Arroceros y Algodoneros.

ANEXO 13. Costos de producción agrícola deflactados para la zona del interior (\$/Ha.).

Año	Arroz		Algodón	
	Costo de producción *	Costos de producción deflactados	Costo de producción	Costos de producción deflactados
1962	3049	3049	2640	2640
1963	3680	2539	3432	2368
1964	4436	2635	3870	2295
1965	5440	2956	3936	2139
1966	5820	2751	4067	2112
1967	6320	2744	5045	2191
1968	7385	2947	5847	2333
1969	7790	2873	6649	2453
1970	8104	2711	6882	2302
1971	8986	2693	7858	2355
1972	10680	2836	8592	2282
1973	12098	2648	12246	2681
1974	18380	3163	17847	3071
1975	21750	3019	23021	3195

FUENTE: Federación Nacional de Arroceros y Algodoneros.

ANEXO 14. Variaciones cíclicas de los precios deflactados del arroz y algodón.

Año	Y_A	Y_{AL}	Y_A	Y_{AL}	e_A	e_{AL}
1962	0.767	2.009				
1963	0.602	1.998	0.678	1.902	88.8	105.1
1964	0.666	1.700	0.685	1.855	97.2	91.6
1965	0.787	1.866	0.721	1.772	109.2	105.3
1966	0.710	1.750	0.776	1.756	91.5	99.7
1967	0.831	1.653	0.757	1.677	109.8	98.6
1968	0.730	1.598	0.750	1.575	97.3	101.5
1969	0.689	1.473	0.677	1.523	101.8	96.7
1970	0.612	1.499	0.611	1.503	100.2	99.7
1971	0.531	1.538	0.545	1.502	97.4	102.4
1972	0.493	1.469	0.501	1.640	98.4	89.6
1973	0.478	1.913	0.533	1.826	89.7	104.8
1974	0.629	2.097	0.561	1.966	112.1	106.7
1975	0.575	1.887				

Y_A , Y_{AL} = Precios deflactados de arroz y algodón.

Y_A , Y_{AL} = Promedio móvil de 3 años para el arroz y algodón.

$$e_A = Y_A - Y_A$$

$$e_{AL} = Y_{AL} - Y_{AL}$$

ANEXO 15. Variaciones cíclicas de los costos de producción deflactadas
de arroz y algodón.

Año	YA	YAL	YA	YAL	ea	eAL
1962	3049	2640				
1963	2539	2368	2741	2434	92.6	97.3
1964	2635	2295	2710	2267	97.2	101.2
1965	2956	2139	2781	2182	106.3	98.2
1966	2751	2112	2817	2147	97.7	98.4
1967	2744	2191	2814	2212	97.5	99.1
1968	2947	2333	2855	2326	103.2	100.3
1969	2873	2453	2844	2363	101.0	103.8
1970	2711	2302	2759	2370	98.3	97.2
1971	2693	2355	2747	2313	98.0	101.8
1972	2836	2282	2816	2439	100.7	93.6
1973	2648	2681	2882	2678	91.9	100.1
1974	3163	3071	2943	2982	107.5	103.0
1975	3019	3195				

YA , YAL = Costos de producción deflactados de arroz y algodón.

YA , YAL = Promedio móvil de 3 años para el arroz y algodón.

$$ea = YA - YA$$

$$eAL = YAL - YAL$$

ANEXO 16. Serie de rendimientos (Kg./ha.) para la zona del interior.

Año	Arroz	Algodón
1962	2822	1508
1963	2981	1451
1964	3100	1464
1965	3049	1444
1966	2994	1605
1967	3468	2040
1968	4220	2188
1969	4092	1812
1970	4945	1887
1971	5060	2621
1972	5174	2100
1973	5320	1881
1974	5200	2338
1975	5145	2333
1976	5116	2405
1977	5100	1176

FUENTE: Federación Nacional de Arroceros y Algodoneros.