

75-3.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA

DEL ALTO CAUCA: UN PROGRAMA DE LA CVC

FEBRERO 1975

4/11/75 12:15

XII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA

Paipa, Boyacá 20 de Febrero de 1975

CORPORACION INTEGRAL REGIONAL DEL CAUCA
BIBLIOTECA

DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL ALTO CAUCA:

UN PROGRAMA DE LA CVC

Informe CVC 75-3

Febrero de 1975

Copia No Controlada CVC

INTRODUCCION

Dentro de los programas que ha establecido la CVC para lograr el objetivo fundamental que le asigna su estatuto orgánico - promover el desarrollo integral, económico y social de la zona geográfica bajo su jurisdicción - ocupan lugar de privilegio los programas y labores orientados a buscar el desarrollo integral de la Cuenca del Alto Cauca.

La Cuenca del Alto Cauca está localizada en los Departamentos del Cauca y del Valle del Cauca en el sur-occidente de Colombia. El valle geográfico de la cuenca tiene un área aproximada de 420.000 hectáreas, pertenecientes en su gran mayoría al Departamento del Valle del Cauca.

La población del Departamento del Valle del Cauca, según el censo de 1973, era de 2.204.722 de los cuales 1.703.626 vivían en las cabeceras municipales y 501.096 en las áreas rurales, o sea que el 22.7% de la población del Departamento del Valle del Cauca habita en las áreas rurales. Mientras que la población urbana del Valle crece a muy altas tasas, por encima del 6%, la población rural decrece, fenómeno que se explica, en buena parte, por la migración de gentes del campo a la ciudad. El excesivo crecimiento de las áreas urbanas donde se acumula una población sin trabajo o con muy bajos ingresos y la presión que esa población ejerce sobre el presupuesto público para el suministro de servicios a las ciudades es una entre varias e importantes razones para que se le dé, por parte de las entidades oficiales competentes, alta prioridad al desarrollo económico y social de las áreas rurales y regular así el flujo de gentes del campo a la ciudad. Además, y como es de todos conocidos, el sector rural debe producir excedentes suficientes para alimentar la creciente población urbana, abastecer de materias primas la industria nacional y contribuir favorablemente a la balanza de pagos del país.

El desarrollo de las áreas rurales, solo se logra mediante el eficiente aprovechamiento de sus recursos naturales. No se trata simplemente de aprovechar los recursos naturales al máximo para satisfacer las necesidades apremiantes actuales sino de asegurar para el futuro una buena disponibilidad de recursos naturales. Se debe entender, pues, como eficiente aprovechamiento de los recursos naturales, su manejo racional y la conservación de los mismos y no el máximo de producción a costa de extinguir o disminuir la calidad de los recursos como la fertilidad natural de las tierras, el caudal de las aguas y la pureza del ambiente.

El esfuerzo de desarrollarse es un esfuerzo conjunto de los sectores privado y público. Los programas de la CVC así lo entienden y buscan como meta final el automanejo de la Cuenca por parte de sus habitantes dejando a la entidad el control y cumplimiento de las regulaciones en el uso de los recursos materiales y la construcción de obras de beneficio social que las comunidades soliciten.

El Concepto de Desarrollo Integral.

Lo expuesto anteriormente nos lleva al concepto de desarrollo integral que no es otra cosa que un desarrollo armónico de todos los componentes, económicos y sociales, de una comunidad, de tal forma que la acción sobre uno de los componentes, complementa y facilite el desarrollo de los otros componentes de la comunidad. Por ello, y dentro del marco de esta concepción, es indispensable además de las obras necesarias, los programas de educación de los habitantes de la Cuenca para elevar la productividad, mejorar el manejo y asegurar la conservación de los recursos naturales y, además, buscar elevar el nivel de vida de los habitantes, llevándolos a niveles de vida menos desfavorables de los existentes en las ciudades.

Actividades en la Cuenca.

De acuerdo al concepto de desarrollo integral aceptado por la CVC para orientar sus actividades en la Cuenca del Alto Cauca, son varias y de diversa índole las labores que la Corporación viene desarrollando o se propone emprender en el futuro. Los programas que desarrolla la CVC, y los cuales se esbozan más adelante, son los de administración de Cuencas, control y aprovechamiento forestal, los de hidroclimatología, distribución y control de las aguas superficiales, control y contaminación de las aguas, evaluación de aguas subterráneas, planeación de los recursos de agua, adecuación de tierras y electrificación.

Organización de la Ponencia.

Una vez explicado el marco conceptual de las labores de la CVC en la Cuenca del Alto Cauca, tal como se acaba de hacer, se describe brevemente las principales labores de la CVC con respecto a la administración de Cuencas, control y aprovechamiento forestal, el manejo de las aguas y la adecuación de tierras. La ponencia incluye dos anexos. El primero presenta un modelo que tiene como objetivo planificar el aprovechamiento integral y óptimo de los recursos hídricos de la región. El segundo anexo presenta una descripción detallada del Proyecto de Regulación del Río Cauca, proyecto de primordial importancia para el Alto Cauca, cuyo propósito fundamental es el regular el caudal del Río para prevenir las inundaciones y como objetivos secundarios el aliviar la contaminación del Río Cauca durante las épocas de sequía y la generación de energía eléctrica.

PROGRAMA DE ADMINISTRACION

DE CUENCAS

El área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del

Cauca-CVC, presenta cuatro (4) sectores característicos los cuales deben ser atendidos para lograr los fines asignados a la Corporación, los cuales son:

1.	Flanco occidental de la cordillera central	976.056 Has.
2.	Valle geográfico	420.000 Has.
3.	Flanco oriental de la cordillera occidental	458.344 Has.
4.	Vertiente del Pacífico	<u>347.060 Has.</u>
		2.201.460 Has.

De la zonificación anterior se encontró que para conservar e incrementar el desarrollo del valle geográfico, era imprescindible iniciar una acción inmediata en las zonas de cordillera para evitar que en un lapso relativamente corto, la Cuenca del Alto Cauca se viera fuertemente afectada por el uso irracional al cual se han sometido, a través del tiempo, los recursos naturales de la vertiente del Cauca, lo cual ya se deja sentir en forma alarmante durante el invierno con un fuerte proceso erosivo y grandes inundaciones y durante el verano, con una fuerte escasez de agua para usos agrícola, pecuario, humano e industrial.

El programa de Administración de Cuencas tiene el doble propósito de regularizar las aguas y mejorar el nivel de vida de los habitantes de las Cuencas hidrográficas de la región, mediante la promoción del manejo integral de los recursos naturales de las mismas.

El programa se inició en el año 1969 con la Administración de las Cuencas: Cali, Nima, Calima y Anchicayá. Posteriormente entraron en administración de las de los Ríos Tuluá-Morales, por su importancia para el suministro de agua a la ciudad y riego para cultivos; Roldanillo-La Unión-Toro por su influencia sobre el distrito de riego; Jamundí-Claro-Timba por comprender una gran porción del Parque Nacional de los Farallones de Cali y Yumbo-Arroyohondo para suministro de agua a la población de Yumbo y buscar soluciones al proceso de degradación a que está siendo sometido este sector.

Para la administración de Cuencas hidrográficas se ha definido una metodología en tres etapas que debe realizarse en la siguiente forma:

1. La etapa de Estudios Básicos y acercamiento a la comunidad con duración de 1 a 2 años según el tamaño y problemas existentes en la Cuenca la cual culmina con la elaboración de un Plan de Desarrollo y Manejo de la Cuenca.
2. La etapa de Manejo Técnico que se inicia con la ejecución de los planes previstos en la etapa anterior y que en términos generales incluye actividades de reestructuración del Uso y Tenencia de la Tierra, control de la erosión y desarrollo de las infraestructuras social y física dentro de la Cuenca. Su duración se prevé entre 5 y 10 años dependiendo del área y su financiación.
3. La etapa del Auto Manejo a la cual entra progresivamente la Cuenca en la medida que sus moradores se capaciten en el adecuado manejo de los recursos naturales y sean capacitados para conservar el equilibrio hidroecológico por sus propios medios.

La aplicación de esta metodología demanda un programa de trabajo concreto, definido y ordenado, de acuerdo a las necesidades de la región y a los escasos recursos financieros con que se cuenta, estableciendo prioridades y zonificando el área ya que no es posible atender eficientemente todos los frentes.

El área atendida hasta el presente, cubre una extensión de 200.000 Has. aproximadamente, previéndose la integración a este programa de las Cuencas que por orden de prioridades se han establecido, durante los próximos 5 años.

Para 1980 se espera tener en administración las 18 Cuencas del Departamento del Valle del Cauca y 5 Cuencas del Departamento del Cauca.

Para lograr lo anterior, se ha establecido una legislación realista y aplicable al medio, dirigida por una organización administrativa encargada de darle una correcta aplicación.

CONTROL Y DESARROLLO FORESTAL

El programa de control y aprovechamiento forestal tiene como propósito mejorar la utilización del recurso maderero, controlando el aprovechamiento y movilización de los productos forestales.

Simultáneamente se promueve la reforestación con las especies más promisorias en el plan de repoblación forestal. Mediante ensayos agroforestales la CVC busca definir estas especies y las técnicas que permitan incrementar la producción agroforestal en el área montañosa de la Cuenca del Alto Cauca. Actualmente se hacen ensayos de adaptación de sus especies nativas y cinco exóticas, las más promisorias en los diferentes pisos altitudinales.

PROGRAMAS DE RACIONALIZACION DEL USO

DEL AGUA

Los estudios hidrológicos de las aguas superficiales adelantados por la Corporación desde su creación, y los de aguas subterráneas a partir de 1967, indican que el potencial de aguas disponibles es suficiente para abastecer adecuadamente todo el Valle geográfico del Alto Cauca para usos domésticos, industriales o de riego, y si en el momento existen algunas zonas carentes de ellas es debido a su mala distribución.

El caudal de aguas superficiales actualmente adjudicado mediante licencia en la zona de control de la CVC, incluyendo la extracción

del Río Cauca, es aproximadamente 94.000 lts/seg. y hay disponibles para asignar alrededor de 20.000 lts/seg. sin afectar los caudales bases necesarios en cada cauce. De acuerdo con los estudios adelantados en el programa de evaluación de aguas subterráneas para la zona plana comprendida entre Santander de Quilichao y Sonso, se ha estimado que el volumen de agua almacenada entre 0 y 100 mts. de profundidad es del orden de 22.220 millones de m³. Para finales del primer semestre de 1975 se terminará la evaluación de la zona norte del Valle del Cauca (Sonso-Cartago), área en la cual, debido a la formación geológica, se calcula una disminución notable respecto a la zona antes anotada.

Durante los períodos secos, de los 916 pozos profundos existentes en la zona de estudio, se bombean aproximadamente 45.000 lts/seg. de agua, cantidad que fácilmente se recupera con las recargas superficiales. De este volumen de agua, actualmente cerca del 75% tiene aplicación en agricultura.

Los programas que en la actualidad adelanta la Corporación con el propósito de racionalizar el uso de las aguas de la región y estimar el desarrollo de este recurso se detallan a continuación. En el anexo A de esta ponencia se presenta en detalle el modelo desarrollado por la CVC cuyo objetivo es planificar el aprovechamiento integral y óptimo de los recursos hídricos de la región.

Programa de Hidroclimatología.

Los estudios hidroclimatológicos son indispensables para la planeación y realización de los proyectos tendientes al aprovechamiento y control de los recursos hidráulicos en la forma más técnica y económica.

La CVC desde su creación ha venido operando sus redes hidrológicas y meteorológicas y hoy dispone de los datos básicos para continuar los estudios tendientes a establecer un balance hidrológico de la

hoya del Alto Cauca comprendida entre la Balsa y Anacaro y para determinar igualmente la demanda general de agua.

En el momento la CVC tiene terminadas sus redes básicas para observaciones hidrológicas, lluvias y otros fenómenos meteorológicos, las cuales cuentan con los siguientes instrumentos:

Pluviómetros	175
Pluviógrafos	13
Limnígrafos	27
Limnímetros	29
Est. Meteorológicos	28

Este dato incluye las redes del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología que están localizados en la zona de su jurisdicción y que por convenio especial opera la CVC.

El programa de desarrollo de los estudios hidroclimatológicos implica el refinamiento en las observaciones y la intensificación de observaciones de vientos, humedades y temperaturas en los vértices de las cordilleras y en el Valle, con el objeto de estudiar la genética de las lluvias y poder predecir en un futuro su ocurrencia y consecuencias.

Distribución y control de las aguas superficiales.

Con este subprograma se buscan distribuir y controlar las aguas superficiales para fines agrícolas, industriales, de abastecimiento público y generación de energía, dentro del territorio que la CVC tiene asignado al efecto. Dada la necesidad de revisar las reglamentaciones de distribución de aguas superficiales existentes, se continuará en los próximos años con esta tarea hasta que se conozcan en firme los resultados del balance hidrológico y la planeación del recurso agua que permitan optimizar su uso.

Por otra parte, se continuará la construcción de las principales obras de toma y distribución, las cuales deben ser diseñadas y ejecutadas con el criterio de que puedan acomodarse al planteamiento general que resulte de los estudios antes anotados. Con esta idea se está ejerciendo a partir de 1971 un estricto control de las obras para que ellas lleven la aprobación y supervisión técnica de la CVC, poniendo especial cuidado en que la inversión económica que en ellas se haga no sea desperdiciada en el futuro.

Control y contaminación de las aguas.

Si algún tema ha despertado interés entre los medios científicos del mundo en los últimos años, ha sido el de los efectos y causas de la contaminación ambiental.

En la década de los 60 aparecieron las primeras reacciones a nivel mundial sobre el deterioro del medio ambiente, lo cual provocó que en 1972 apareciera el documento llamado "Los límites del crecimiento" producido de las conclusiones del denominado "Club de Roma", coordinado por profesores del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Este informe ha provocado los más diversos comentarios tanto a favor como en contra de su marcado pesimismo sobre el futuro de la humanidad.

Los estudios técnicos efectuados por la CVC desde 1969 indican que el estado de contaminación de las aguas del Río Cauca, especialmente en época de caudales mínimos, es alarmante y que progresa cada vez más con el transcurso del tiempo. De allí que sea necesario implantar un reglamento que controle la entrega al Río Cauca de desechos industriales o domésticos. En 1974 se terminó la simulación de calidad, labor que se adelantó desde enero de 1973 mediante la formulación de un modelo matemático, contando para ello con la asesoría de la Organización Mundial de la Salud. El objetivo final del modelo es establecer las bases para formular y poner en vigencia un reglamento para control de vertimiento de desechos industriales y domésticos, de acuerdo con el régimen hidrológico del Río Cauca y la programación de plantas de

tratamiento para la ciudad de Cali y algunas industrias, localizadas especialmente en la zona de Yumbo.

Programa de Aguas Subterráneas.

Tiene como objetivo conocer las condiciones hidrogeológicas del área plana del Valle del Río Cauca, comprendida entre Santander de Quilichao y Cartago, con el objeto de obtener conclusiones que permitan establecer sobre bases sólidas una reglamentación para el uso de las aguas subterráneas. Las actividades de investigación se iniciaron en 1967 y se terminaron a finales de 1973. A partir de 1974 la actividad principal de este grupo de trabajo se concentrará en la supervisión de perforaciones y en el control de explotaciones; para esta última actividad la CVC está participando en la elaboración de un reglamento que tendrá carácter nacional. Los resultados y análisis hechos hasta el momento han revelado que el potencial de aguas subterráneas existentes es extraordinario y será de gran utilidad en el manejo conjunto de los recursos hidráulicos de la región.

Los pozos profundos y aljibes inventariados hasta el momento son:

Pozos profundos (entre Santander de Quilichao y Cartago) 934; aljibes (entre Santander y Cartago) que forman la red para medición de niveles 1.026.

De los 934 pozos profundos investigados entre Santander de Quilichao y Cartago, 149 se utilizan para uso industrial, 418 para fines agrícolas, 219 para uso urbano y doméstico, 108 están fuera de uso y en la mayoría de los casos pueden ser habilitados nuevamente y 40 pozos son de estudio.

A la fecha se encuentran terminados los estudios en la zona comprendida entre Santander de Quilichao y Sonso y se está terminando el informe correspondiente a la zona Sonso-Cartago, el cual se espera publicar en el primer semestre de 1975.

Planeación de los recursos de agua.

La evaluación de las aguas superficiales y subterráneas y la demanda cada día mayor de ellas, implica la obligación de planificar para un futuro su aprovechamiento óptimo.

Con este objetivo se inició desde 1971 la determinación del balance hídrico en la hoya del Río Cauca, comprendida entre Salvajina y La Virginia, el cual implica la determinación en porcentaje y volumen del escurrimiento superficial y subterráneo, evapotranspiración y recarga del amacenaje en el subsuelo. En base a esto, el estudio de calidad del agua del Río Cauca y sus principales afluentes y las demandas actuales y proyectadas para distintos usos, se inició en Enero de 1973 un programa de planificación general, el cual cuenta también con la asesoría de la Organización Mundial de la Salud y comprende la formulación de un modelo económico que optimice beneficios netos del uso del agua y sus costos de suministro.

El refinamiento de este modelo permitirá a finales de 1975 iniciar los estudios y diseños de ingeniería de las obras necesarias para cumplir con el objetivo propuesto. Es importante advertir que dentro de la planificación están involucradas las obras de control de inundaciones y regulación del Río Cauca, lo mismo que los beneficios de generación de energía y complementarios del embalse de Salvajina.

ADECUACION DE TIERRAS

Dentro de este campo se deben mencionar: el proyecto de Regulación del Río Cauca y el Programa de Promoción de Obras de Control de Aguas y Adecuación de Tierras.

Proyecto de Regulación del Río Cauca.

El Proyecto de Regulación del Río Cauca tiene como objetivo básico

recuperar y mejorar las condiciones para la explotación económica en una zona de 122.000 hectáreas de tierra plana del Valle del Cauca sujeta a inundaciones periódicas por desbordamientos del Río Cauca y sus tributarios, que adolece además de alto nivel freático y dificultades de drenaje de escurrimiento de aguas lluvias en la zona.

Otros objetivos del proyecto de Regulación del Río Cauca son la generación de energía eléctrica con una potencia instalada de 290 MW para una generación promedia anual de 890 millones de KWH; y el aliviar la contaminación del Río Cauca durante los meses de verano.

El control de inundaciones hasta para crecidas de frecuencia de una vez en diez años, se logrará mediante la construcción de una presa en el sitio de Salvajina que al crear un embalse útil de 600 Mm³ permitirá la regulación del Río Cauca desde este sitio. Para controlar la Cuenca entre Salvajina y Cartago, se construirán diques a lo largo del Cauca y sus tributarios y, en el futuro se hará regulación laminar de tributarios. Además, para beneficiar las tierras así protegidas se requieren canales interceptores, canales de drenaje y plantas de bombas para el manejo de los escurrimientos de lluvias dentro de la zona protegida durante estados altos del Cauca y sus tributarios.

El costo de las obras en Salvajina, a precios de 1974 es de US\$89 millones. Este es el costo de la presa, la planta eléctrica y las líneas de transmisión.

El costo de obras en la planicie inundable es variable en función de si las obras son acometidas directamente por los interesados, con sus propios recursos; o si es necesario crédito bancario.

Los beneficios del proyecto se determinaron midiendo los mayores ingresos de los agricultores ^{1/} y del sector eléctrico, el empleo de mano de obra que se genere y el volumen de exportaciones agropecuarias que se planean. Actualmente se está cuantificando los beneficios por aliviar la contaminación del Río Cauca durante las épocas de sequía.

^{1/} Los estudios detallados de suelos hechos por la CVC en el Departamento del Valle permitió la cuantificación de estos beneficios.

Los mayores ingresos de los agricultores durante los 50 años de vida útil del proyecto suman US\$ 910 millones, valor presente de 1984, y provienen de producción que no se perderá por efecto de las inundaciones y mayor producción como resultado de la adecuación de las tierras. La generación de energía eléctrica vale US\$ 95.7 millones.

Habrà una mayor utilización de mano de obra al generar más de 30.000 empleos como resultado del proyecto. El valor anual de las exportaciones es de US\$ 46.5 millones.

En cuanto a la ejecución, se ha propuesto acometer como etapa inicial la construcción de la presa, las obras eléctricas y la adecuación primaria de 15.000 hectáreas y dos o tres etapas posteriores para la adecuación primaria del resto de las tierras. De esta manera se espera vincular al proceso de pre-diseño a los beneficiarios a fin de que aporten su interés, su apoyo y su conocimiento detallado de las zonas respectivas.

El anexo B presenta en forma detallada el proyecto de Regulación del Río Cauca.

Promoción de obras de control de Aguas y Adecuación de Tierras.

Este programa tiene como objetivo promover entre los agricultores y ganaderos del Valle del Cauca la ejecución de obras de adecuación de tierras, las cuales se construyen bajo el control técnico de la CVC con el fin de incrementar y tecnificar la producción agropecuaria.

El programa además de buscar involucrar a la economía del Valle del Cauca una vasta zona actualmente no aprovechada, nació de la necesidad de unificar criterios y distribuir costos entre grupos, a veces muy numerosos, de personas que en otras circunstancias, sin un organismo coordinador, difícilmente hubieran llegado a acuerdos concretos.

Si se considera que el proyecto de Regulación del Río Cauca requiere de un cierto número de años para su cabal realización, y teniendo en cuenta que los costos de capital que demandan las obras hechas a través del programa de promoción de obras intermedias son relativamente bajos, se concluye que estas obras se deben continuar durante los próximos años.

ELECTRIFICACION RURAL

Este programa es uno de los de mayor incidencia en el mejoramiento de las condiciones de vida y el impulsar actividades productivas en las zonas rurales.

Actualmente el Departamento del Valle del Cauca cuenta con la red de electrificación rural más extensa en el país. Durante el período 1974-1978 se planea servir 6.600 nuevos clientes con una inversión de \$26 millones.

La CVC está llevando a cabo una evaluación de las inversiones realizadas en este sector que sirva para definir criterios sobre los nuevos programas de expansión porque desafortunadamente la electrificación de las zonas rurales implica inversiones de gran magnitud. A esto contribuye en forma decisiva el hecho de que las cargas eléctricas rurales son de muy baja magnitud y se hayan usualmente muy dispersas, lo cual afecta muy desfavorablemente la economía de los sistemas.

A N E X O A

XII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA

Paipa, Boyacá 20 de febrero de 1975

DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL ALTO CAUCA.

UN PROGRAMA DE LA CVC

ANEXO A: APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRICOS

El presente trabajo es un resumen de las actividades que el Departamento de Aguas de la CVC, con la asesoría de la Organización Panamericana de la Salud, está realizando con el objeto de planificar el aprovechamiento integral y óptimo de los recursos hídricos de la región. Para el logro de este objetivo contribuye el CEPIS con su grupo de Consultores Internacionales y el grupo multidisciplinario de técnicos de la Corporación adscritos al programa.

1. ANTECEDENTES.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC tiene a su cargo, entre otras funciones, la conservación y administración de los recursos hídricos del Alto Cauca (Fig.1.). Este cometido que le asigna la Ley ha sido objeto de preocupación de la entidad, habiendo realizado y/o apoyado diversos estudios que se han intensificado desde hace una década.

Una de las conclusiones más importantes y reveladoras de la importancia del problema de la contaminación de aguas del Río Cauca superior es la que indica que, después de recibir el aporte de la ciudad de Cali, el Río no consigue alcanzar un nivel de oxígeno disuelto superior a 4 mgr/lt. en una extensión de más de 250 km. aguas abajo (y considerando caudales 50% por encima de los llamados de estiaje). Se vió claro, desde principios de esta década, que el combate a la contaminación de aguas involucraba su interacción con otros usos del agua y el aprovechamiento de ciertas estructuras con fines múltiples. Fue así que la CVC formalizó un convenio con la Organización Panamericana de la Salud (OPS-OMS) de modo que sus expertos trabajaran conjuntamente en la solución del complejo problema, aprovechando las modernas técnicas analíticas y de computación disponibles.

2. CONCEPCION DEL ESTUDIO

La CVC a través de la labor de sus técnicos y contando con facilidades apropiadas de laboratorio, caracterizó en el último lustro el estado de la contaminación del Río en el tramo Salvajina - La Virginia (ver plano 1) así como las cargas contaminantes procedentes de diversos oxígenos. Así mismo, por el aporte que significaron varios estudios procedentes de sus diversos departamentos y de contratos específicos, se obtuvieron informes valiosos sobre hidrología superficial y subterránea, valores económicos de riesgos, cultivos y de aprovechamientos hidroeléctricos.

Faltaba sin embargo el nexo que ligara apropiadamente las diversas utilizaciones del agua actuales o potenciales. Existiendo usos aparentemente complementarios y competitivos del recurso hídrico, no se contaba empero con la herramienta de adjudicación de los volúmenes de agua disponibles. Más aún, era evidente que había características de aguas que debían incorporarse al juego de las variables de cantidad de aguas de modo que el óptimo manejo de los recursos hídricos reflejara la influencia de ambos tipos de parámetros.

El Grupo de Estudio creado por la CVC, con el asesoramiento de los técnicos de la OPS-OMS, encaró el problema así planteado en los siguientes términos:

- I La herramienta de adjudicación del recurso hídrico sería una función de beneficios netos (función objetivo).
- II Expresiones del mínimo deseable en aspectos de calidad de aguas la constituiría, aparte de limitaciones en parámetros con concentraciones inaceptables 1/, una curva de valores de oxígeno disuelto (O.D) por debajo de los cuales no sería admisible el estado del Río en ciertas condiciones.
- III La metodología debería establecer la interacción entre las variables que afectarán la calidad de aguas y las que tuvieran incidencias en la función objetivo, de modo que los modelos respectivos fueran progresando hacia una convergencia.

Con el auxilio de ciertos desarrollos que los técnicos de OPS lograron en los últimos años en diversas aplicaciones, fue posible llevar a cabo el estudio en la forma anteriormente planteada. Cabe al respecto indicar una secuencia que se cree explicativa en sí misma:

a. Con la aplicación del modelo SIMOX 2/ y un trabajo de

1/ Estas concentraciones se refieren a parámetros que afectan la salud o que provocan ofensas a los sentidos.

2/ Modelo de computación generalizado SIMOX-Manual para usuarios. C Bartone y W Castagnino-CEPIS/OPS.

campo apropiado, se pudo calibrar el trecho del Río entre Salvajina y La Virginia. Esta calibración permitió conocer la respuesta del Río a cargas futuras.

- b. Se determinó una curva límite de O.D. de acuerdo a los valores que interesaba proteger.
- c. La repetida aplicación del SIMOX permitió conocer los caudales mínimos de dilución necesarios con diferentes configuraciones de plantas de tratamiento en los lugares claves.
- d. Se confeccionó un modelo económico primario (MEP) compuesto de una función de beneficios netos sujeta a restricciones de carácter hidráulico, topográfico, energético y de dilución (provenientes estos últimos de la aplicación del modelo SIMOX).
- e. Paramétricamente se consideró al volumen útil de la presa de Salvajina, obteniéndose en cada volumen útil una respuesta del MEP con sus costos, beneficios y valores del caudal de dilución aconsejable.
- f. Por extensión estocástica de datos hidrológicos se establecieron las probabilidades de ocurrencia de diversos caudales de crecida y su impacto como daños con varias configuraciones de diques de ribera. Conociendo valores esperados de daños y costos correspondientes se pudo lograr el valor óptimo de control de crecientes para cada valor del embalse de Salvajina.
- g. Actualmente se trabaja en la elaboración de una tabla con cada solución analizada en la que conste:

V - Volumen útil de la presa de Salvajina.

B_N - Beneficios netos del modelo económico primario.

- C_S - Costos de la presa de Salvajina.
- C_{TAR} - Costos de tratamiento de aguas residuales (en función de la curva límite de O.D.).
- W - Beneficios por eliminación de daños de crecientes.
- C_D - Costo de diques de ribera.

Las diversas combinaciones de esos resultados permitirán a los ejecutivos de CVC tomar decisiones. Estas decisiones, a su vez, indicarán al Grupo de Estudio la forma de ajustar los modelos hasta llegar al definitivo, el cual será usado para manejar el recurso hídrico en el futuro.

3. MODELO DE CALIDAD DE AGUA

Simula las variaciones en la concentración de oxígeno disuelto únicamente debidas a contaminación de tipo orgánico, mediante la utilización de la ecuación de Streeter Phelps, sin incluir la influencia de cargas bentales y de ribera.

El ajuste de los parámetros básicos del modelo se consiguió mediante simulación de las condiciones actuales teniendo como patrón de comparación las concentraciones de O.D. reales. En particular la determinación de la constante de desoxigenación de la etapa carbonácea presentó alguna dificultad debido a que en un momento dado, en cualquier tramo del Río, se combina la etapa carbonácea con la nitrogenada y el modelo no considera esta última fase de la descomposición. Debido a descargas procedentes de minas con demanda química de oxígeno, la curva experimental de los tramos superiores no se ajustaba a la del modelo ya que este es de naturaleza biológica. En la figura 2 se comparan los resultados de la simulación con los datos reales.

Con la proyección de las cargas contaminantes para diferentes años, con una política de calidad definida y diversos porcentajes de tratamiento se determinaron las concentraciones de oxígeno disuelto en el futuro para diferentes volúmenes de embalse. En la figura 3 se consignan los resultados para uno de estos casos.

4. MODELO ECONOMICO PRIMARIO

El Modelo Económico Primario está basado en la configuración actual del uso del recurso hídrico y de proyección de obras hidráulicas a desarrollarse en el futuro hasta el año 2.020. En esta etapa inicial ha sido necesario simplificar el sistema y hacer una serie de suposiciones de todo tipo, sin salirse de lo real, para poder usar las técnicas de programación lineal y representar en expresiones matemáticas todas las interacciones del uso del agua en la región.

La figura 4 define el sistema hidráulico simplificado en base al cual se ha elaborado el Modelo Económico Primario.

Los siguientes puntos deben clarificarse antes de proceder a su análisis:

1. La viabilidad técnica de las obras allí indicada ha sido estudiada en parte; la configuración del Modelo Primario puede cambiar por completo a medida que se adelanten los estudios y se refine el modelo.
2. El esquema es una representación del sistema en el futuro y esto puede o no corresponder a la situación actual.
3. En este tipo de modelos es imposible trabajar con extrema precisión debido a la simplificación del sistema y de las expresiones que definen las interacciones.

Esto no quiere decir que los resultados vayan a ser inexactos sino que al contrario, nos van a ayudar a disminuir el porcentaje de error o de ignorancia que tenemos del sistema.

Información básica.

Como información básica para la implantación de todas las variables que intervienen en la definición matemática de las ecuaciones del Modelo se tiene la siguiente:

- a. Hidrología superficial.
 - b. Hidrología subterránea.
 - c. Proyecciones de demanda hidroeléctrica.
 - d. Proyecciones de demanda de aguas.
 - e. Proyecciones de cargas contaminantes y porcentajes de tratamiento necesario.
 - f. Proyecciones de obras hidráulicas.
 - g. Control de secciones existentes de Ríos.
- a. Hidrología Superficial.

Dentro de este aspecto se estudiaron en primera instancia los volúmenes de flujo de aguas de los principales cauces, mediante registros históricos existentes, evaluándose además la factibilidad hidrológica de las estructuras de embalses a proyectar.

Para la obtención de los primeros resultados se calcularon volúmenes de verano e invierno en períodos de tres meses consecutivos, períodos que se disminuirán a medida que se logra un refinamiento más técnico del Modelo Económico.

Igualmente se evaluaron trimestralmente los volúmenes de caudales de asignación legal en cada cauce reglamentado para uso de aguas en irrigación.

Basados en el balance hidroclimatológico de la región, se obtuvieron datos básicos para el Modelo, con los cuales se cuantificaron los fenómenos de evapotranspiración, infiltración, escorrentía y precipitación.

b. Hidrología Subterránea.

La evaluación de los acuíferos en la zona, ha cuantificado los volúmenes de almacenamiento de aguas subterráneas, los cuales son alternativas de los algoritmos que intervienen en el Modelo. El potencial de almacenaje de los suelos, así como los ensayos de infiltración realizados, fueron informaciones que se consignaron dentro de la factibilidad técnica de las variables del sistema.

c. Proyecciones de demanda eléctrica.

El aumento y necesidades de la producción fue el principal objetivo de proyección de la demanda de energía eléctrica. La generación por medio de dos plantas hidroeléctricas es factor alternativo dentro de una ecuación de restricción, en la cual se limita a un mínimo, en base a la demanda, el valor de número de kilovatios hora de producción.

d. Proyecciones de demanda de aguas.

Geográficamente se han ubicado las zonas de demanda de

agua para riego, haciendo suposiciones técnica tales como:

1. No se entra en diferencias explícitas respecto a calidades de suelos para su uso agropecuario.
2. Los datos involucrados al modelo, en cuanto a precipitación, infiltración, evapotranspiración y escorrentía, son tomados individualmente para cada área a regar en base a estudios realizados en dicha zona.
3. De acuerdo a los estudios de infiltración de los suelos, se toma para cada área un factor de retorno de flujo.
4. En base al uso consuntivo global de las tierras, se tomó un mismo tipo de cultivo, para determinar el valor de la tasa de riego.
5. Conocidos los volúmenes de flujo de los Ríos, los volúmenes de asignación y el incremento de la producción, así como factores de suelos y otros, se deduce el valor de la proyección de la demanda de agua para riego.

e. Proyecciones de cargas contaminantes y porcentaje de tratamiento necesario.

Como alternativa de solución a los problemas de la contaminación del Río, se estudian en forma antepreliminar procesos primarios o secundarios de tratamiento de aguas residuales, los cuales son variables de decisión del Modelo Económico.

f. Proyecciones de obras hidráulicas.

Lo constituyen las obras hidráulicas que presentan factibilidad técnica, pero que son variables de decisión en cuanto

a volúmenes de almacenamiento o caudales de conducción o bombeo, así como también los diseños hidráulicos de plantas o procesos de tratamiento de aguas residuales. Canales, vertederos, túneles, presa y obras civiles de las hidroeléctricas son evaluadas antepreliminarmente con el objeto de encontrar costos, los cuales entrarían a definir la función objetivo.

g. Control de secciones existentes de Ríos.

Con el fin de medir un beneficio por control de inundaciones provocadas por el desbordamiento del Río Cauca, se introduce una ecuación de restricción, la cual nos mide la capacidad máxima sin desbordamiento del Río; así mismo, indirectamente, el volumen necesario exigido por el programa de calidad de aguas (SIMOX), es factor de capacidad para determinada sección del cauce mencionado.

Función Objetivo:

Con el Modelo Económico se busca maximizar una función de beneficios netos, es decir la maximización de beneficios menos costos.

La función objetivo se expresa como sigue:

$$u = B_{H1} + B_{H2} + B_R - C_{TAR} - C_{H1} - C_{H2} - C_R - C_E - C_C - C_{BC}$$

Donde:

B_{H1} : Beneficios Hidroeléctricos por generación en Salvajina.

B_{H2} : Beneficios Hidroeléctricos por generación en Ovejas.

B_R : Beneficios de Riego.

C_{TAR} : Costo tratamiento de Aguas Residuales.

C_{H1} : Costos Hidroeléctricos por generación en Salvajina.

- C_{H2} : Costos Hidroeléctricos por generación en Ovejas.
 C_R : Costos de Riego.
 C_E : Costos de Embalses.
 C_{Qg} : Costos de Agua Subterránea.
 C_C : Costos de Conducción.
 C_{BC} : Costo de Bombeo de Aguas del Cauca.

Cada uno de estos componentes de la ecuación se evalúan independientemente, trayendo todos los costos a valor presente, en un período de años que va desde 1980 hasta 2020.

La solución de este sistema, simultáneamente con la combinación de una serie de ecuaciones de restricción impuestas por requerimientos o condiciones físicas, mediante el uso de un modelo simplex de programación lineal, ha permitido llegar a los primeros resultados, los cuales, como se dijo, representan al momento aproximaciones muy generales, pero que el refinamiento continuo permitirá su acercamiento a realidades más objetivas.

5. INCORPORACION DEL CONTROL DE CRECIENTES S'

En base al criterio de minimización de costos se determinó la altura óptima de diques necesarios a lo largo del Río Cauca, para diferentes volúmenes de un embalse localizado en la parte superior del sistema.

El estudio se adelantó tomando como punto de referencia una sección de control en el Río, cuyas características hidrológicas se conocían y podían asociarse con las correspondientes para otras secciones en el curso del mismo.

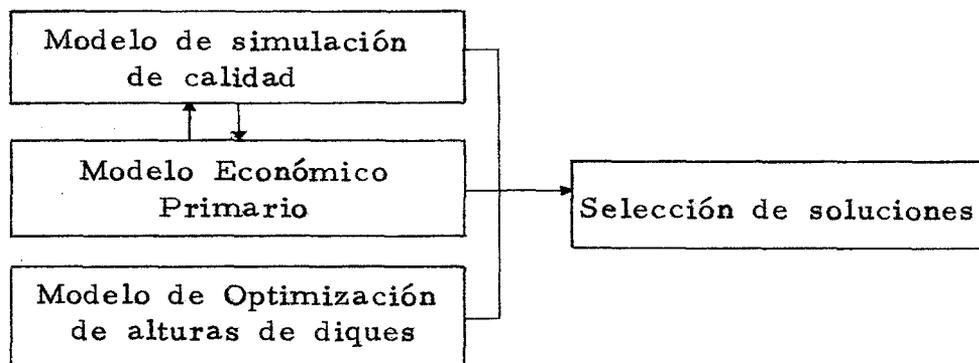
Los pasos seguidos en el estudio fueron:

1. Dado un volumen de embalse y una política de operación del mismo, se modificó la curva de probabilidad de ocurrencia-vs-caudales picos.
2. Se elaboró una curva de probabilidad de ocurrencia de caudales-vs-daños ocasionados por ellos.
3. Se modificó la curva anterior según las limitaciones que imponía cada volumen de embalse considerado.
4. La curva resultante del paso 3 se afectó por acción de diferentes alturas de diques.
5. Se evaluó el valor esperado de daños ocasionados por caudales que sobrepasan la protección considerada y se calculó su valor presente.
6. Se construyeron las siguientes curvas:
 - a. costo de diques-vs-caudal máximo controlado por ellos.
 - b. valor presente de daños-vs-caudal máximo controlado
 - c. costo total-vs-caudal máximo controlado.
7. Se analizó la curva de costos totales para determinación de la altura óptima de diques.

Los resultados revelaron que la situación óptima se presenta con dique nulo y volumen de embalse grande. Esta conclusión, aunque lógica desde el punto de vista de evaluación económica del sistema planteado, será modificada en parte, ya que el efecto de los Ríos tributarios del Cauca, aguas abajo del sitio de embalse, determinan fenómenos de creciente que solamente es controlada por diques, siendo necesario un dique mínimo en un trecho considerable del cauce.

ITERACION DE MODELOS Y VARIABLES.

Para cada volumen de embalse (V_i), la iteración entre modelos y variables de modelos, se realiza según el esquema siguiente:



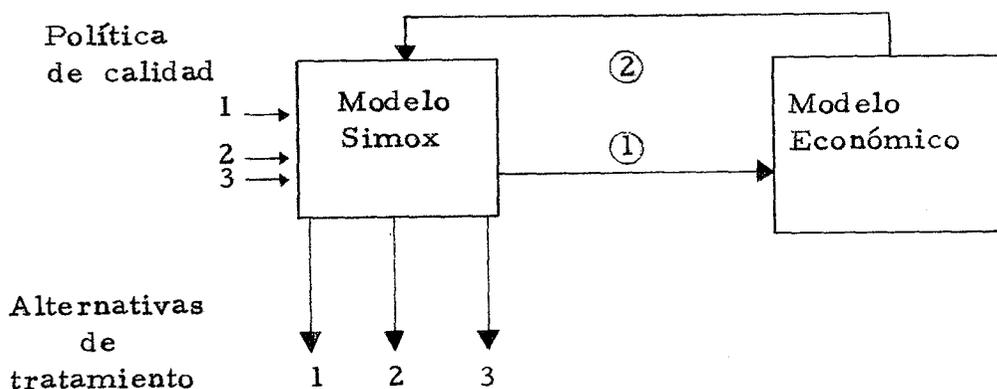
El Modelo Económico Primario tiene como restricción un caudal mínimo necesario para dilución con el fin de cumplir con la política de calidad definida en el Modelo de simulación de oxígeno; por lo tanto se hizo necesario encontrar dicho caudal en una primera etapa, mediante simulación en condiciones futuras de las concentraciones de oxígeno disuelto.

Los caudales resultantes del M.E! P. se utilizaron a su vez para chequear que las condiciones de calidad preestablecidas se cumplieran, es decir, se corrieron los siguientes Simox:

Años 1980 - 1985 - 1990 - 1995 - 2000 para tratamiento primario (40% de reducción de DBO) en las plantas de Cali y zona industrial de Yumbo. En el caso que las condiciones no se cumplan en un determinado año, debe aumentarse el porcentaje de tratamiento.

Es importante recalcar que todo lo anterior esté sujeto a una política de calidad que bien podría variarse, dando como resultado

un nuevo conjunto de soluciones en cuanto a tratamiento y caudales de dilución requeridos se refiere, lo cual puede representarse en el siguiente esquema:



Debido a que el Modelo Económico utiliza caudales promedios para los diferentes tramos, no sería correcto incluir en él los aspectos relativos al control de crecientes pues estos deben analizarse en condiciones de máximas avenidas. Se hace entonces necesario utilizar un modelo de optimización de altura de diques, bajo el criterio de mínimo costo total (costo de construcción de diques + costo de los daños no controlados) en los 40 años considerados en el estudio, para cada volumen del embalse de Salvajina.

La conjugación de los resultados de los Modelos Simox, MEP y control de crecientes permite tomar una decisión integrada, ya que aglutina todos los aspectos de importancia en la planeación del recurso.

7. IMPACTO DE LOS LIMITES DE CALIDAD.

Como hemos anotado anteriormente, los límites de calidad de

agua son susceptibles de modificación. La determinación de estos cambios estará sujeta a los siguientes criterios:

- a. Tipo de vida piscícola que se desea permitir en las diferentes zonas del Río.
- b. Concentración de zonas urbanas e industriales.
- c. Costos de tratamiento de aguas residuales.
- d. Usos del agua en los distintos tramos y costos de tratamiento necesarios para su utilización.

Claramente puede verse que una política exigente (concentraciones altas de O.D.) permitirá una mayor variedad de peces en el Río, y mayor diversidad de usos, pero también incrementará los costos de tratamiento de las descargas. Por el contrario, con una política menos exigente podremos disminuir los altos costos que implica el tratamiento de residuos, pero sacrificaremos la existencia de algunas variedades de peces.

Para una política dada, mediante corridas del Simox, año tras año, puede determinarse cual será el año en que se requiere incrementar el grado de tratamiento de primario a secundario, situación que permite un ahorro de capital, postergando la construcción de plantas de alto porcentaje de tratamiento.

8. SELECCION DE SOLUCIONES.

Para cada volumen del embalse de Salvajina se tienen los siguientes resultados:

- a. Beneficios netos del M.E.P. que se denominan Bn. Estos beneficios no incluyen: los beneficios del control de

crecientes, el costo de embalse de Salvajina, ni el costo de las plantas de tratamiento.

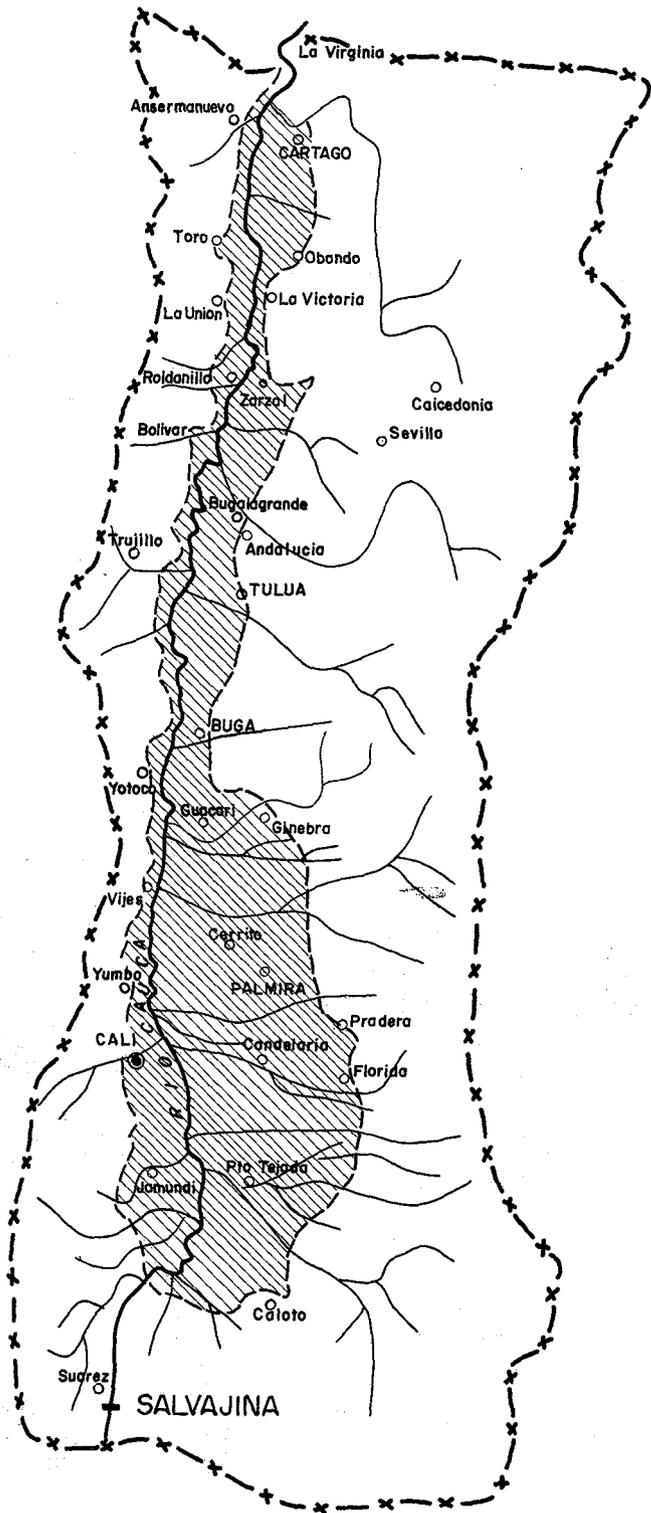
- b. Costo de tratamiento de aguas residuales, correspondientes a varias políticas de calidad, C_{TAR} .
- c. Beneficios del control de crecientes, W .
- d. Costo de los diques, C_D .
- e. Costo de los daños por avenidas no controladas, C_c .
- f. Costo del embalse de Salvajina, C_s .

En atención a que el criterio de selección de alternativas o indicador de efectividad, es el máximo de beneficios netos en valor presente, podemos construir una tabla de decisión, actualmente en elaboración, de la siguiente manera:

V_1	$C_{S1}^{3/}$	B_{N1}	$C_{TAR1}^{4/}$	W_1	C_{D1}	C_{c1}
V_2	C_{S2}	B_{N2}	C_{TAR2}	W_2	C_{D2}	C_{c2}
V_3	C_{S3}	B_{N3}	C_{TAR3}	W_3	C_{D3}	C_{c3}
V_4	C_{S4}	B_{N4}	C_{TAR4}	W_4	C_{D4}	C_{c4}
V_5	C_{S5}	B_{N5}	C_{TAR5}	W_5	C_{D5}	C_{c5}

3/ C_s es el costo de Salvajina (actualizado a 1972) excluyendo obras para hidroeléctrica.

4/ Los valores C_{TARi} serán varias columnas, c/u corresponderá a una curva límite de O.D.



CONVENCIONES

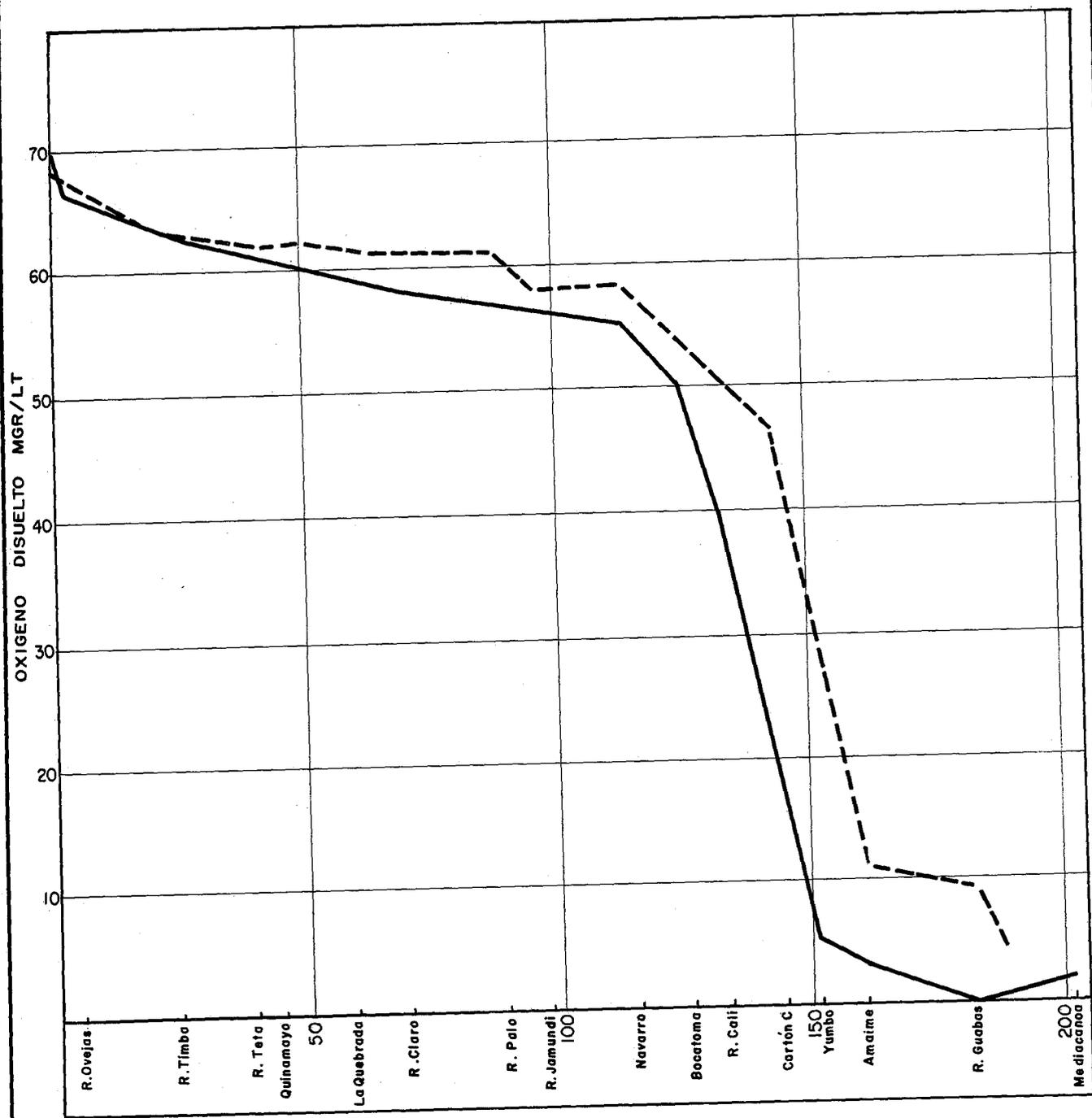


Zona plana

CVC CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA
DEPARTAMENTO DE AGUAS

PLANO GEOGRAFICO DEL ALTO CAUCA
DESDE SALVAJINA HASTA LA VIRGINIA

FECHA Feb /75	PRESENTADO	APROB.	APROB CVC	FIG -
------------------	------------	--------	-----------	-------

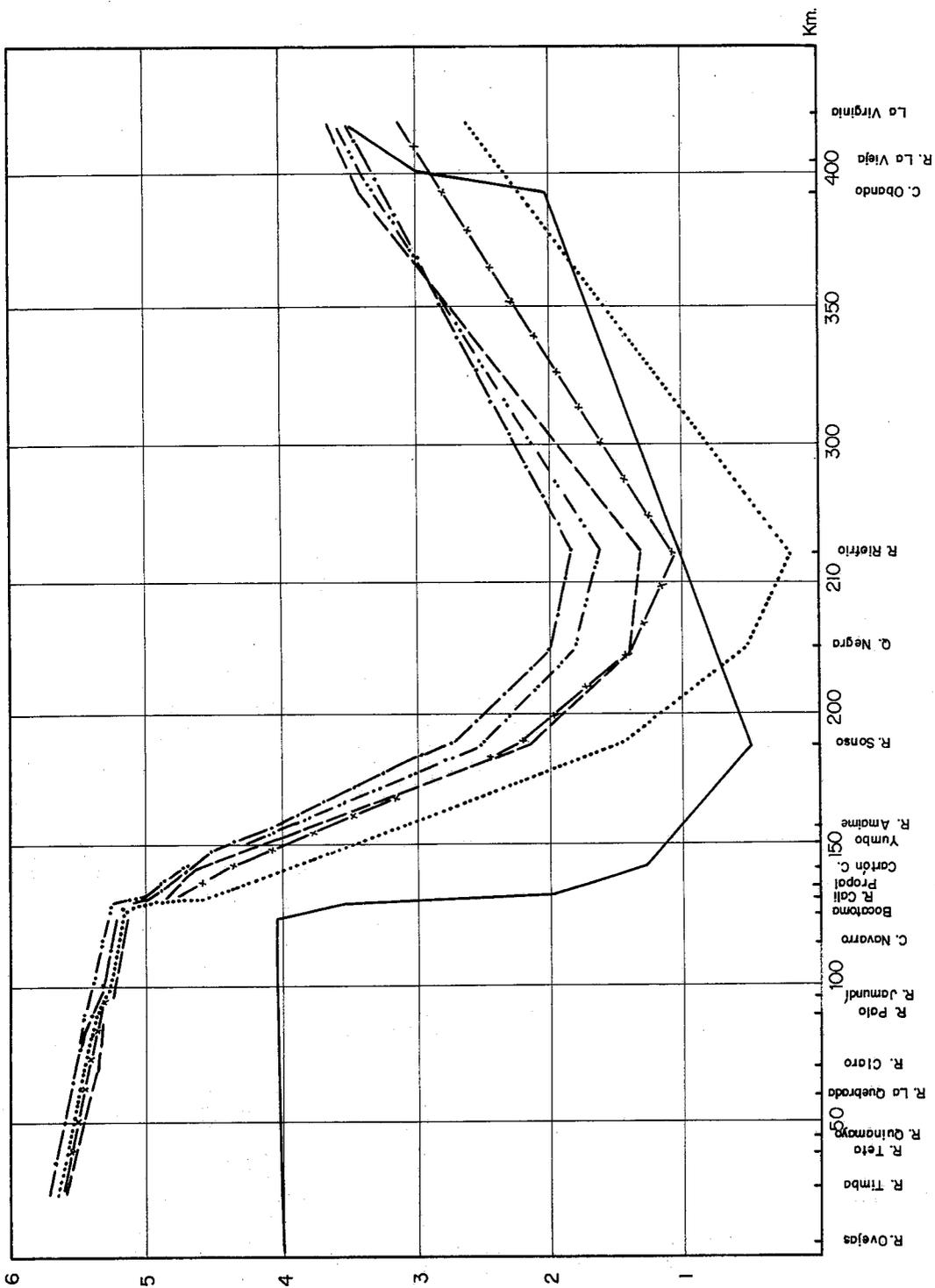


CONVENCIONES

SIMOX. ACTUAL 1972
 REAL 1972

CVC	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA			
	DEPARTAMENTO DE AGUAS			
RIO CAUCA				
CURVAS DE OXIGENO DISUELTO				
FECHA	PRESENTADO	APROB	APROB CVC	FIG
Feb./75				2

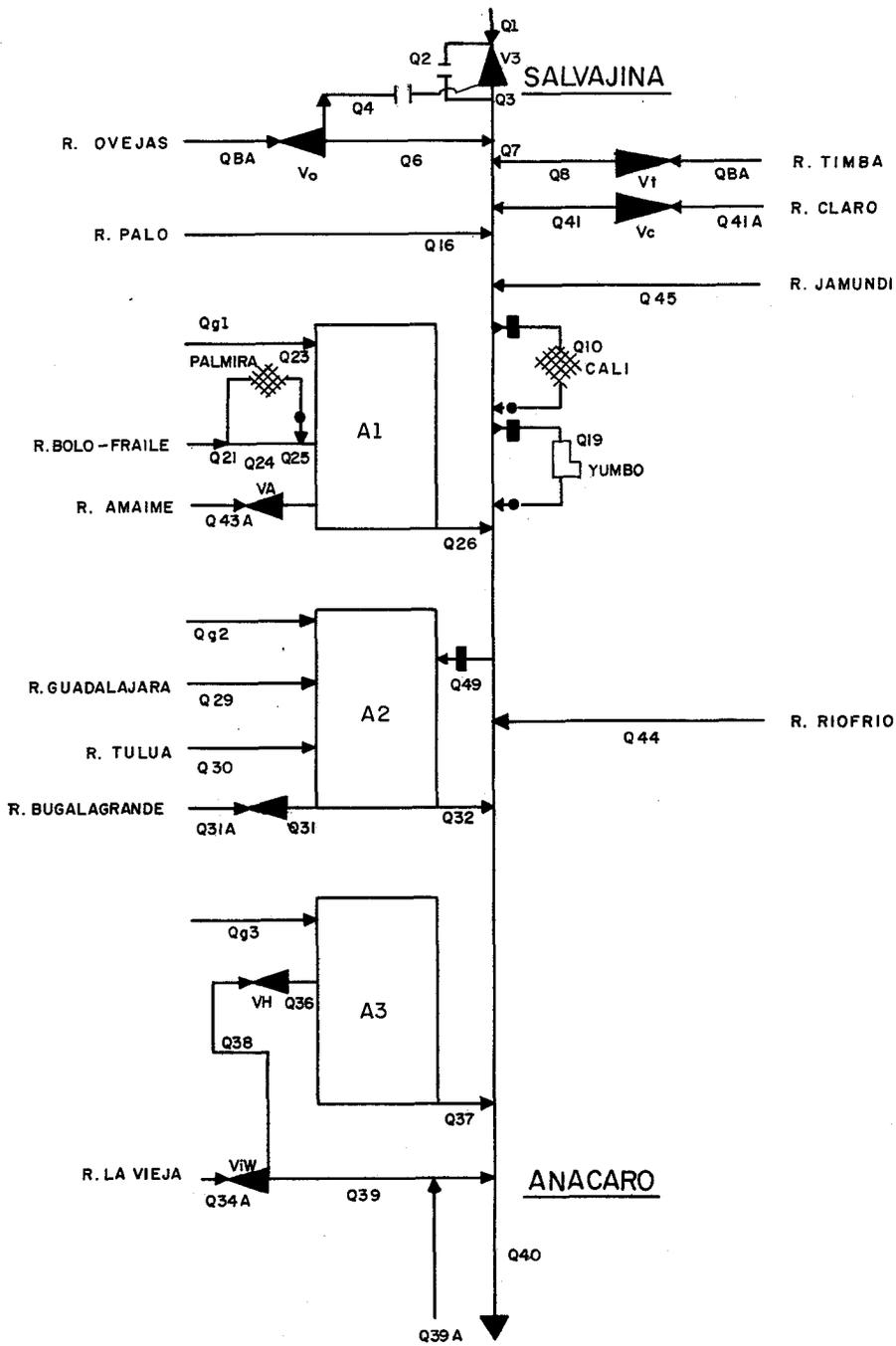
Copia No Co



CONVENCIONES

CURVAS LIMITE ADOPTADA	SIMOX	
1.900	1.900	—————
" 1.995	1.995	- - - - -
" 1.990	1.990	- · - · -
" 1.995	1.995	- - - - -
" 2.000	2.000	·····

CVC	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA			
	DEPARTAMENTO DE AGUAS			
RIO CAUCA				
CURVAS DE OXIGENO DISUELTOS CON 40% DE TRATAMIENTO				
FECHA Feb./75	PRESENTADO	APROB	APROB CVC	FIG 3



CONVENCIONES

- ▲ EMBALSES
- ESTACION DE BOMBEO
- |— HIDROELECTRICAS
- PLANTA TTO. DE AGUAS RESIDUALES
- AREA DE RIEGO

CVC	CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA			
DEPARTAMENTO DE AGUAS				
RIO CAUCA				
MODELO ECONOMICO				
FECHA	PRESENTADO:	APROB	APROB CVC	FIG 4
Feb./75				

A N E X O B

XII CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA

Paipa, Boyacá

20 de febrero de 1975

DESARROLLO INTEGRAL DE LA CUENCA DEL ALTO CAUCA

UN PROGRAMA DE LA CVC

ANEXO B: PROYECTO DE REGULACION DEL RIO CAUCA

PROYECTO DE REGULACION DEL RIO CAUCA

I- INTRODUCCION

a. Objetivo principal del proyecto

El proyecto de regulación del río Cauca, en la terminología de la CVC, consiste en la identificación, diseño y construcción del complejo de obras de óptima bondad técnica y de menor costo global que aseguren el control de anegamientos de la zona agrícola adyacente al río Cauca y a lo largo del mismo, entre las localidades de La Balsa y La Virginia, ocasionados por desbordamientos de dicho río, y de sus tributarios en la zona de influencia del mismo, en crecidas de frecuencia de una vez en 10 años. El proyecto comprende, además, obras de drenaje primario de la zona a protegerse, cuya extensión alcanza una superficie ligeramente superior a las 100.000 hectáreas.

El complejo de obras de protección contra inundaciones consiste en una presa y estructuras complementarias en el sitio de Salvajina, para regular el río Cauca hasta ese lugar; diques a lo largo del mismo río y de sus tributarios en la zona de influencia de tal río; canales interceptores; canales de drenaje primario y plantas de bombas.

Si bien la disposición general del proyecto actual es similar a la estudiada en diferentes épocas anteriores por diversas firmas consultoras, la diferencia fundamental entre los proyectos anteriores y al actual consiste en que, mientras en aquellos el propósito primordial era la generación de energía eléctrica, y la finalidad secundaria era el control de crecidas, en el proyecto actual la meta principal buscada consiste en dar solución al problema de inundaciones, para desarrollo agrícola de la zona dicha.

b. Otros objetivos del proyecto

Control de contaminación del río Cauca

De los 620 Mm³ de embalse útil en Salvajina, 250 Mm³ permiten mantener caudales mínimos en el río durante los períodos de

estiaje de modo de mejorar el potencial de dilución y mantener un mínimo de 5 p.p.m. de DBO que haría posible posponer 5 años la instalación de las unidades de tratamiento de aguas de albañal y desechos industriales.

Generación de energía eléctrica

En atención a que para el control de inundaciones y contaminación se dispondría de un embalse de 620 millones de m³, que será preciso evacuar totalmente en los dos períodos anuales de estiaje, se buscó luego optimizar la generación de energía hidroeléctrica que podría obtenerse de la operación de tal embalse.

Queda dicho que la altura de la presa se optimizó teniendo en cuenta los volúmenes y caudales de crecida de frecuencia de una vez en 10 años; y fijado el nivel aguas abajo de la presa, todo en función del control de inundaciones como objetivo principal del proyecto, todos los parámetros que definen el proyecto de generación hidroeléctrica quedan determinados a saber: caídas bruta y neta, generación de energía promedia y anual en función del caudal medio del río, y energía firme en función del volumen de la crecida, como reserva en estiaje.

La potencia instalada es de 180 MW en dos unidades de 90 MW/c/u., con provisiones para una futura unidad de igual capacidad. La instalación resulta del proceso de optimización de costos y beneficios del desarrollo total, independientemente del caudal mínimo regulado para control de contaminación. La generación anual promedia es de 890 millones de KWH, y se tendrá una línea de transmisión de doble circuito desde Salvajina hasta Pance, en Cali, a 115 KV.

c. Necesidad del proyecto

Más adelante en la Sección B, literal a) de este anexo, se anota que, del área total de la planicie agrícola laborable del Alto Cauca, una cuarta parte sufre de frecuentes inundaciones por desbordamientos del río Cauca; y se destaca también, cómo parte de las tierras restantes, ubicadas a elevaciones por encima de la influencia del río Cauca son inundables por tributarios, cuyo control se hace difícil sino imposible, en razón de que con ello se empeoraría la situación de la zona anegable por el Cauca, al arrojarle

caudales instantáneos mayores que los que tradicionalmente ha recibido.

Así la parte plana del Valle del Alto Cauca libre de inundaciones se halla hoy bajo utilización intensiva en agricultura y ganadería.

La creciente demanda por productos agropecuarios debida al rápido incremento de la población, a los mayores ingresos disponibles de las gentes de la región y del resto del país y a la necesidad de obtener divisas mediante exportación; han hecho que la necesidad de nuevas tierras aptas para la explotación agropecuaria se venga sintiendo en la comarca desde hace ya varios años. Así, debido a la presión de los mercados agropecuarios, las tierras sujetas a inundaciones periódicas están siendo sembradas, a pesar del alto riesgo que se corre y de las pérdidas en que en ocasiones se incurre.

Existe pues, gran urgencia de incorporar nuevas tierras a la explotación agropecuaria, especialmente aquellas que por sus suelos y topografía aseguren altos rendimientos y donde la capacidad empresarial y técnica de los agricultores auguren mayor desarrollo agropecuario.

d. Obras principales del proyecto para control de inundaciones

Estas son como sigue:

- i) Una presa sobre el río Cauca en el sitio de Salvajina, construída de gravas, con cara de concreto aguas arriba, de 154 m. de altura desde el fondo de la excavación. El embalse creado por la presa tendrá una capacidad de almacenamiento útil de 620 millones de metros cúbicos y total de 770 Mm³.
- ii) Diques de 1.50 a 2.50 m. de altura por ambas márgenes del río Cauca y de sus principales afluentes, entre La Balsa y La Virginia, para un caudal de 760 m³/s. en Juanchito y 1.200 m³/s. en La Victoria.
- iii) Canales interceptores, canales de drenaje primario y plantas de bombas para manejar los escurrimientos hacia y dentro de la zona protegida durante estados altos del río Cauca y de sus tributarios.
- iv) Se contará con lagunas de regulación mediante la construcción de diques alrededor de la laguna de Sonso y la ciénaga Burrigá, las cuales servirán para almacenar caudales picos y servirán también para la protección de recursos naturales.

e. Costos del proyecto

Los costos de obras en Salvajina, a precios corrientes de 1974, sin incluir intereses durante la construcción, se discriminan así:

Presa y Embalse	US\$	59,0 millones
Planta eléctrica	US\$	30,5 millones
Líneas de transmisión	US\$	<u>2,1</u> millones
TOTAL	US\$	91,6 millones

El costo de obras en la planicie inundable es variable en función de si las obras son acometidas directamente por los interesados, con sus propios recursos; o si es necesario crédito bancario.

f. Beneficios del proyecto

1. Por control de inundaciones US\$ 231 millones, valor presente de 1984. Representa el valor de las pérdidas que se evitan con el patrón actual de uso del suelo.
2. Por cambio en el uso del suelo US\$ 510 millones, valor presente de 1984, representados en mayor producción agropecuaria debida al cambio en el uso de los suelos. Estos beneficios se doblarán una vez se ejecuten las obras de riego que completan la adecuación de las tierras para su explotación intensiva. Los beneficios indicados corresponden a aquellos que son directamente atribuibles al proyecto, que para el caso de adecuación de tierras incluye la presa, los diques y las obras de drenaje.
3. Por generación hidroeléctrica US\$ 95,7 millones, valor presente de 1984.
4. Mayor utilización de mano de obra al crearse cerca de 30.000 empleos nuevos en la actividad económica regional.
5. Mayores ingresos para los agricultores y las personas dedicadas a actividades complementarias, por valor de US\$ 31,0 millones, de los cuales casi la mitad irán a manos de los trabajadores rurales.
6. Aumento en las exportaciones agropecuarias. El proyecto podrá producir unos US\$46,5 millones anuales, según los actuales precios en los mercados internacionales de los productos

que se propone exportar.

La relación beneficio-costo estimada para el proyecto es de 3,01 lo cual indica su viabilidad económica. Esta relación es bastante alta y da pie, lo mismo que los otros indicadores anotados, para pensar que el proyecto debe estar entre las inversiones prioritarias del país. Vale la pena anotar que siendo conscientes de las limitaciones del análisis beneficio-costo, se consideró el impacto del proyecto sobre las economías regional y nacional, analizando aquellos aspectos sobre los cuales parece haber un consenso general en la nación sobre su importancia económica y social. Son básicamente los efectos del proyecto sobre la actividad económica nacional sobre aspectos tales como la generación de empleo y de nuevos ingresos y su distribución y el aumento de las exportaciones.

II- CONCEPCION DEL PROYECTO

a. Problemas de la cuenca

La cuenca total del río Cauca tiene una extensión superficial aproximada de 69.600 kms. de los cuales el Alto Cauca, la parte de la cuenca aguas arriba de La Virginia, contiene 22.400 kms. (32%). La quinta parte de esta superficie, equivalente a 443.000 hectáreas, constituye la zona plana del Valle, de la cual alrededor de 37.000 hectáreas están ocupadas por ríos, canales, pantanos, carreteras, caminos, ferrocarriles, ciudades y poblados, quedando un área de 406.000 hectáreas, laborable agrícola. La cuarta parte de tales tierras (100.000 hectáreas aproximadamente), vecinas de uno a otro lado del río Cauca, son periódicamente inundables por desbordamientos de dicho río, con una frecuencia aproximada de una vez en 10 años. No sólo el río Cauca es desbordable sino también sus tributarios los cuales, a su turno, inundan no sólo las tierras en la zona de influencia del río Cauca sino también buena parte de tierras ubicadas a elevaciones por encima de tal límite de influencia.

Las erosiones de las tierras altas, afectadas por tala de bosques, mal manejo de laderas, caminos de penetración, etc., hacen que los afluentes muevan altos volúmenes de carga hacia la parte plana, colmatando los cauces, ocasionando inundaciones más frecuentes y arrojando carga a las tierras agrícolas vecinas.

Aún la parte urbana de algunas ciudades sufre las consecuencias de tales fenómenos; y las obras de captación de agua para usos domésticos y de riego se ven inutilizadas parcial o totalmente por dicha causa.

No sólo la zona bajo la influencia del río Cauca se ve limitada en aprovechamientos agrícolas, sino también las tierras inundables por los tributarios en razón de que, de controlar los desbordamientos en estas últimas, se empeoraría la situación de las inundables por el Cauca al arrojarles caudales mayores que los que históricamente han recibido.

El proyecto de regulación del río Cauca busca pues no sólo el control de las inundaciones de la zona bajo la influencia del Cauca, sino también facilitar el proteger las tierras inundables por los tributarios, en una etapa posterior.

b. Estudios e informes anteriores

Como se presenta más adelante en el literal c) de esta Sección II, de las 443.000 has. de la zona plana del Valle geográfico del Alto Cauca (incluido Risaralda), aproximadamente 78.000 has. son directamente inundadas a causa de las crecidas del río Cauca de frecuencia de una vez en 10 años; 27.000 has. más se ven adicionalmente afectadas de niveles freáticos altos a causa de tales inundaciones; y 17.000 has. más tienen dificultad en evacuar sus aguas de drenaje porque empeorarían las condiciones de las otras dos zonas antes mencionadas.

Varios son los estudios hechos en diversas épocas sobre este problema de inundaciones causado por desbordamientos del río Cauca.

En todos ellos la estructura básica de regulación ha consistido en presas sobre el río Cauca en los sitios de Salvajina y/o Timba; y el beneficio principal ha sido el de generación de energía eléctrica.

Con el fin de ilustrar acerca de cual ha sido la línea de pensamiento al respecto, se presenta en seguida una relación de los estudios hechos hasta la fecha.

1. Los primeros estudios de presa sobre el río Cauca se remontan al año de 1943, cuando el ingeniero Espíritu Santo Potes elaboró un esquema inicial de presa en Salvajina.
2. Luego, un primer estudio de conjunto fué hecho para la entonces Secretaría de Agricultura y Fomento del Departamento del Valle por la firma de ingenieros consultores Parsons-Brinckerhoff-Hogan and MacDonald, de Nueva York. Sus resultados se consignaron en el informe intitulado "Proyecto A-987 y B-1006.5 para regadío en el Valle Central", publicado en 1947. Estos estudios contemplaban control de inundaciones,

drenaje, riego y generación de energía eléctrica, particularmente aprovechando el sitio de Salvajina, con presas de 70, 87 y 112 m. de altura, de las cuales la primera se consideraba como la más aconsejable en dicha época. Se estudió también el sitio de Timba y se recomendaron levantamientos topográficos y estudios geológicos en el sitio de San Francisco que se juzgaba promisorio en ese entonces.

3. Posteriormente la firma de Ingeniería OLAP (hoy Ingetec) de Bogotá, realizó para la Secretaría de Obras Públicas del Departamento un estudio cuyo informe se intituló "Proyecto General de Electrificación". En él se analizaron varios tipos de presa en Salvajina con altura de 114 m. Además incluía un proyecto preliminar de riego y drenaje en el Valle del Cauca.
4. Estos estudios fueron ampliados por OLAP, bajo un contrato con el Departamento del Valle, y rendidos en un informe que se llamó "Plan General de Irrigación, 1950", el cual contiene consideraciones sobre los aspectos físicos, sociales, y agrícolas del Valle, y sobre proyectos de riego y regulación del río Cauca, con especial atención a los embalses de Salvajina y Timba.
5. Otros trabajos hechos por OLAP, que complementan los anteriores, son el "Proyecto Preliminar de Irrigación por el río Timba", que contempla el riego de una zona de 17.350 has. entre Robles y la carretera a Puerto Tejada; el "Proyecto de Aguablanca" (ya construido por la CVC con modificaciones) para la recuperación de 5.500 hectáreas sobre la margen izquierda del río Cauca, entre Navarro y Cali, que comprende control de avenidas y drenaje; y el denominado "Control de Avenidas en el Valle del Cauca", que versa sobre el problema de las inundaciones causadas por el río Cauca, y su control mediante los embalses de Salvajina y Timba.
6. Una misión del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), en 1955, en un informe intitolado "La Corporación Autónoma Regional del Cauca y el Desarrollo del Alto Cauca", trató en forma preliminar los problemas de energía, control de avenidas y avenamiento. Consideró dos alturas de presa en Timba; una baja con corona a elevación 1027 y otra alta con corona a elevación 1037, así como también dos alturas de presa en Salvajina; una baja de 112.50 m. de altura y otra de

150 m. de altura. En ese momento no halló justificable la construcción de Salvajina porque en cuanto a energía la rata de crecimiento de la demanda no justificaba la instalación y en cuanto al control de inundaciones, los beneficios no justificaban los costos. Recomendó, sin embargo, que no se consideraba la presa baja porque se sacrificaría el sitio que topográfica y geológicamente justificaba una presa alta. En cuanto a Timba recomendó continuar los estudios para la presa alta de corona a elevación 1037.

7. El estudio siguiente de conjunto es el contenido en el informe intitulado "El Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hídricos en el Valle del río Cauca", fechado en enero de 1956, preparado para la CVC por el consorcio de firmas de ingenieros consultores OLAP, de Bogotá, Gibbs & Hill (G. & H.) de Nueva York, y Knappen Tippetts-Abbet -McCarthy (KTAM), también de Nueva York. El informe trata sobre el desarrollo general del Valle, y contiene informaciones y recomendaciones sobre proyectos de generación de energía, control de avenidas, riego y drenaje del Valle. Buena parte de la información que contiene es aún válida. El informe llega a la conclusión de que el proyecto de Salvajina puede aprovecharse para energía y control de avenidas y que el de Timba puede proveer beneficios en riego, adicionales a los de generación hidroeléctrica y control de inundaciones. Se concluye que Timba debería construirse primero, a causa de sus grandes ventajas para control de avenidas, irrigación y avenamiento, aún cuando Salvajina podría generar energía más barata. El proyecto de Salvajina, según el informe en referencia, prevé una presa de concreto de gravedad de 150 m. de altura, un vertedero de canal en el estribo derecho y una casa de máquinas al pie de la presa con una capacidad inicial de 180 mw y final de 270 mw. El volumen activo del embalse se lo fija en 1.050 millones de m³ con 250 millones para control de avenidas. Sin embargo, los detalles del proyecto se basaban en el supuesto de que Timba se construyera primero.
8. En 1958 se produjo, por el mismo consorcio de firmas consultoras, un informe de viabilidad intitulado "Proyecto de Timba", que propone la construcción de un proyecto de múltiple aprovechamiento en este sitio, con un embalse de 675 millones de m³, siendo el volumen útil de 430 millones de m³ para control de avenidas y generación, de los cuales 305 millones de m³ se utilizarían para el control de crecidas durante los meses de noviembre, diciembre y enero. Adicionalmente, un sistema de diques y rectificaciones del río aumentaría la capacidad de conducción del mismo para evitar inundaciones. El 70% del costo del pro-

yecto correspondía a generación eléctrica con una capacidad instalada de 60 mw, la cual eventualmente podría aumentarse a 90 mw al construir Salvajina. En el canal de fuga se proponían compuertas para desviar agua a dos canales de riego, uno de cada lado del río. El proyecto proveía además la regulación necesaria para hacer posible la desviación parcial al Pacífico. El informe, fechado en abril de 1958, que estaba destinado a sustentar una solicitud de crédito al BIRF, contiene importantes informaciones sobre control de avenidas, riego y beneficios de energía, así como las exploraciones geológicas y del subsuelo de la región de Timba. Por ese entonces, no se consideraba factible la construcción de Salvajina, debido a la elevada inversión.

9. La inclusión de las presas de Salvajina y Timba fué igualmente considerada en el informe "Desviación del Cauca al Pacífico" de 1957, de OLAP, G. & H. y TAMS (antes KTAM), y en el "Plan Nacional de Electrificación 1964-1975" preparado por Electricité de France en 1961-1962.
10. En 1962 se programó la construcción de Timba como proyecto siguiente a la terminación de Calima I, que se había iniciado en 1961. Sin embargo, debido a la pequeña capacidad instalable, se vió que Timba no podía satisfacer adecuadamente el incremento de la demanda de energía en la zona de la CVC, pues se habría requerido la construcción simultánea de otra planta. Se tomó entonces la decisión de posponer a Timba, y se propuso la construcción de Calima II, para cuyo proyecto se preparó un informe de viabilidad en junio de 1963.
11. En 1963, por sugerencia del BIRF, se iniciaron estudios para la interconexión de los sistemas CVC-CHEC, Bogotá y Medellín. Estos estudios fueron hechos por Ingetec Ltda. de Bogotá e Integral Ltda. de Medellín que culminaron en un borrador titulado "Memorandum: Estudios de Interconexión de los sistemas de energía de Bogotá, Cali y Medellín, informe de avance sobre los resultados preliminares", fechado en noviembre 30 de 1963. Este informe recomienda la construcción inmediata de líneas de transmisión para enlazar los sistemas mencionados, que deberían estar terminados a mediados de 1967, constituyendo la base para la decisión de interconectar los sistemas. Como resultado de lo anterior y con el objeto de reducir a un minimum el endeudamiento de Colombia durante los 5 a 6 años subsiguientes, se resolvió posponer la construcción de Calima II. Para solucionar la deficiencia de energía en el sistema CVC-CHEC hasta la terminación de las líneas de interconexión en 1967, se propuso la construcción de una cuarta unidad térmica de 33 mw,

en la planta de Yumbo. Posteriormente, la energía sería suministrada a CVC -CHEC por los sistemas de Medellín y Bogotá. Una consecuencia significativa de la interconexión es la de que las plantas para el sistema interconectado pueden ser de mucha mayor capacidad que las requeridas para los sistemas independientes. Fué entonces cuando la CVC decidió que Salvajina debería ser la próxima planta a estudiarse, ya que no solamente tendría el tamaño requerido para atender la demanda de los sistemas combinados, sino que además proveería la regulación del río para control de inundaciones.

12. A fines de 1963 la CVC, con la asistencia de la firma de consultores Acres International Limited de Canadá, inició los estudios del proyecto de múltiple aprovechamiento de Salvajina. El objetivo principal de los estudios era el de terminar la viabilidad del aprovechamiento de Salvajina y preparar un programa para su construcción como próximo proyecto de la CVC. El informe se rindió en febrero de 1965 y recomendaba la construcción de una presa de enrocado de 152 m. de altura, en el sitio de Salvajina, y una de tierra, de 22 m. de altura, en el sitio de Timba. En Salvajina habría una casa de máquinas al pie de la presa, con capacidad para generar 430 mw. El embalse útil de 425 millones de m³ se usaría en forma combinada tanto para generación de energía como para control de inundaciones. El beneficio del control de inundaciones requería además la construcción de diques, canales y plantas de bombas en la planicie del Valle.
13. Entretanto se afirmaba la nueva empresa de Interconexión Eléctrica S. A. (ISA) que integraría los sistemas CVC-CHEC, Bogotá y Medellín. El proyecto de Salvajina resultó costoso en comparación con proyectos de los otros socios de ISA. La CVC se orientó entonces a buscar un aprovechamiento hidroeléctrico que en volumen de generación de energía y costo pudiera competir con otros proyectos de ISA. El proyecto hidroeléctrico de Alto Anchicayá resultó ser la alternativa ideal; y Salvajina, como proyecto de generación hidroeléctrica, se pospuso indefinidamente.
14. Llegó diciembre de 1966 y el Valle del Cauca sufrió una de las más severas inundaciones de los últimos años. En diciembre de 1967 la CVC sabedora de que el Gobierno del Japón, a través de su organismo de Cooperación Técnica de Ultramar (Overseas Technical Cooperation Agency, OTCA), adelantaba un programa de colaboración técnica con países en vía de desarrollo, elevó solicitud formal ante el Gobierno del Japón para obtener su asesoría en el estudio de inundaciones del Valle causadas por desbordamientos del río Cauca. El Gobierno del Japón aceptó la

petición de la CVC y, a través de la OTCA, encomendó el estudio planteado a la firma de ingeniería japonesa llamada Compañía de Desarrollo de Energía Eléctrica Ltda. (Electric Power Development Co. Ltd.-EPDC). En abril de 1968 una misión de cuatro ingenieros de la EPDC comenzó a trabajar en el estudio del problema, revisando información existente y complementando datos de inundaciones, geología y topografía.

En junio de 1969 vino un grupo de 5 ingenieros más que permaneció durante 50 días evaluando las conclusiones del grupo original y afinando datos de costos y facilidades de construcción. El informe de viabilidad correspondiente se elaboró en Tokio y le fué remitido a la CVC en marzo de 1970.

Es importante destacar el hecho de que el estudio de la regulación del río Cauca que esta vez se hizo, tuvo como objetivo primordial, por primera vez, el control de las inundaciones. En los anteriores estudios éste había sido siempre un beneficio secundario, siendo el principal el de generación de energía. Ya se ha dicho antes que en el informe de 1965 quedó afirmado que Salvajina, como proyecto hidroeléctrico, resultaba relativamente costoso en el entonces estado de desarrollo del país y que se lo posponía indefinidamente. El proyecto propuesto por la EPDC consistía en una presa de 116 m. de altura sobre el fondo original del río en el sitio de Salvajina con el cual se crearía un embalse de 500 millones de m³ de capacidad total y un volumen útil de 350 millones de m³. Era necesario además construir diques por ambos márgenes del río, desde La Balsa hasta Cartago, y en los principales tributarios, así como también canales interceptores, drenajes y plantas de bombas. Tal esquema protegería las tierras contra inundaciones de frecuencia de una vez en 10 años, y el embalse de Salvajina permitiría, además, la instalación de 3 unidades de generación de energía eléctrica de 70 mw cada una, para generación promedia de 813 millones de kw-hora anuales. El costo total del proyecto, incluidos intereses durante la construcción, fué estimado por la EPDC en 91 millones de dólares a precios de 1969.

La EPDC llegó a tal recomendación, de estudios de varias alternativas con presas en los sitios de Timba, San Francisco

y Salvajina. Por primera vez se estudió San Francisco del cual sólo se había hablado en el informe de la Parsons-Brinckerhoff-Hogan and MacDonald.

15. Recibido por la CVC el anterior informe, se procedió a su revisión, fruto de la cual se produjo el informe CVC 72-10 que consiste, fundamentalmente, en un cuidadoso y detallado estudio de los beneficios socioeconómicos del proyecto.
16. Posteriormente la CVC contrató con las firmas de consulta de Ingeniería Ingetec, de Bogotá, e Inesco, de Cali, la definición del proyecto, y más específicamente lo relativo a las obras en el sitio de Salvajina, por cuanto el informe de la EPDC era un estudio de viabilidad.
17. En la Sección III, más adelante, se da una descripción general del proyecto actual.

c. Area a beneficiar

1. Consideraciones generales

Se ha dicho que el proyecto de regulación del río Cauca tiene como finalidad principal la protección contra inundaciones de las tierras del Valle geográfico del Cauca sujetas a anegamientos por desbordamientos del río Cauca de una frecuencia de una vez en 10 años.

La obra principal del proyecto consiste en una presa sobre el río Cauca en el sitio de Salvajina. Tal presa, al controlar el río hasta ese lugar, hará que se alteren las actuales frecuencias de caudales, niveles y volúmenes del río y, en consecuencia, de áreas inundables.

Las obras complementarias de diques, canales interceptores, drenajes, plantas de bombas, etc., tendrían que diseñarse conforme a un criterio ajustado a las nuevas características del río modificadas por la presa.

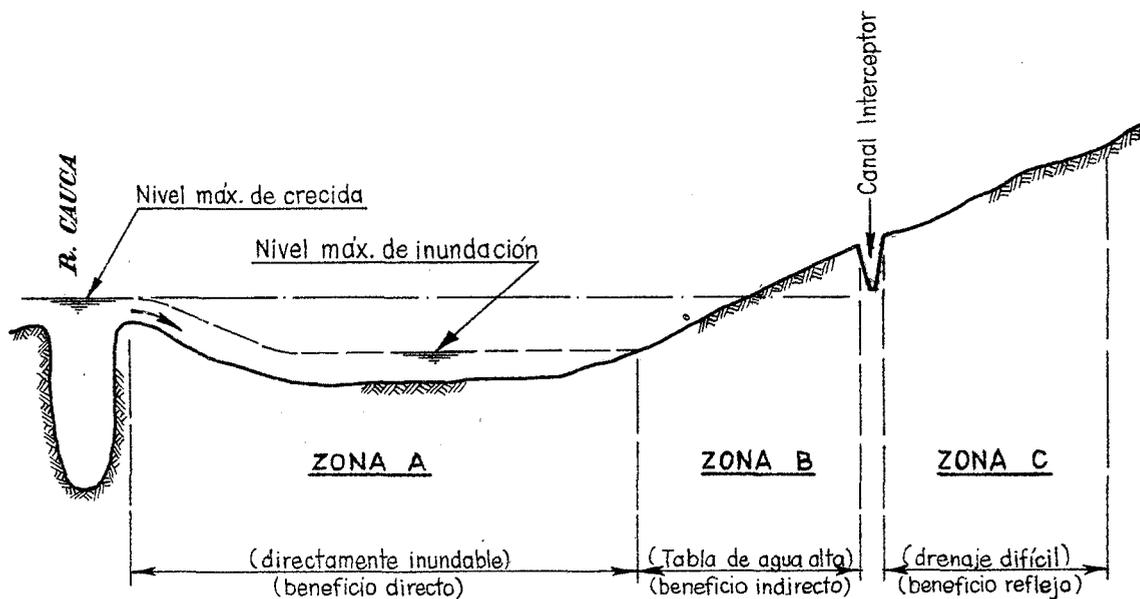
Si embargo aunque el trazo de los canales interceptores resultare más próximo al río Cauca y, en consecuencia, la superficie del área afectada fuere menor que en las circunstancias actuales, el beneficio lo recibe el área total inundable antes de la regulación dada por la presa propuesta.

Esa área de beneficio del proyecto es, sin duda invariable e independiente de las obras que se hagan y de cómo el efecto de tales obras altere las condiciones actuales de inundación.

Es sobre esa tierra sobre la que debe hacerse la evaluación de los beneficios.

2. Grados de beneficio

En razón de las características físicas del río y su zona inundable, en el sentido de que el río tiene diques naturales, y la zona inundable es un ancho bajío paralelo al curso del río, con niveles de terreno más bajos que los niveles de agua del río durante buena parte de tiempo, se presenta el fenómeno que se ilustra mejor en el corte transversal del Valle que se muestra enseguida.



CORTE TRANSVERSAL DEL VALLE.

Es evidente que las aguas del río, al desbordarse, fluyen por sobre sus diques como por sobre un vertedero lateral.

Las aguas llegan a la parte inferior del bajío y, a la vez que empiezan a fluir paralelamente al río, empiezan también a subir de nivel mientras el río siga desbordándose.

Como la capacidad del bajío (en volumen) es apreciablemente más alta que el caudal que lo alimenta durante el tiempo de desbordamiento, el nivel máximo de inundación en el lado del bajío opuesto al río, nunca llega al nivel máximo de aguas del río (ver corte transversal del Valle).

El canal interceptor de protección de una determinada zona no podrá pues trazarse por la "línea de máxima inundación", sino por encima del influjo del nivel del río en el sitio de entrega del interceptor.

O sea, que entre el "nivel de máxima inundación" y el trazo del interceptor, habrá un área que no ha sido directamente afectada por las inundaciones pero sí indirectamente perjudicada por niveles freáticos altos, y por escurrimiento de aguas lluvias de la zona más alta.

Adyacente al interceptor, y del lado más alto, existe una zona más o menos amplia, no afectada por las inundaciones, pero en la que antes de la construcción de las obras de adecuación no se podían construir drenajes adecuados, en razón de que estos irían a evacuar a la zona inundable, empeorando su situación.

Construidos los interceptores aquellas zonas vecinas al interceptor, del lado superior, quedarán dotadas de colectores adecuados a sus drenajes, lo cual es un innegable beneficio.

En resumen, hay 3 zonas de beneficio así (ver corte transversal):

Zona A. La directamente inundable (frecuencia 1:10 años)

Zona B. La afectada de niveles freáticos altos (entre la línea de inundación y el interceptor); y

Zona C. La beneficiada por la facilidad de drenaje dada por los interceptores.

En el punto 3 de este literal c se define la extensión de las tres

zonas, los factores de beneficio reflejo de las zonas B y C; y el área ponderada de tales zonas.

3. Areas de beneficio

En el punto anterior se han definido tres zonas con distinto grado de beneficio del proyecto cuya extensión y factor reflejo de beneficio se determinaron del modo siguiente:

En las planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000, se indicó la línea de inundación de frecuencia de una vez en 10 años. Se dió igualmente un trazo aproximado de canales interceptores; y se indicó una línea límite de la extensión del beneficio vecina y paralela a los canales interceptores, por encima de los mismos, basada en el supuesto de que la anchura de tal faja debe corresponder a una diferencia de niveles del terreno de 3.0 m. que se estiman adecuados para un racional control de la tabla de agua.

Con base en los anteriores planos la sección de suelos de la CVC procedió a elaborar un informe de clasificación de suelos de las tres zonas antes dichas.

En dicho estudio de suelos se explica cómo esa clasificación se hizo de acuerdo al concepto de valor potencial, el cual es un índice que mide en forma ponderada el potencial agropecuario del suelo atendiendo a sus características agronómicas, topográficas y climatológicas. El área de beneficio directo mejora su valor potencial en 101 puntos; el área de beneficio indirecto en 62 puntos y el área de beneficio reflejo en 60 puntos. Este puntaje puede utilizarse para estimar los coeficientes de ponderación del grado de beneficio de las tres zonas.

Así las tierras inundables de la Zona A, o sea las que se definen como áreas que reciben beneficio directo, tienen un coeficiente de ponderación igual a 1.0. El coeficiente de ponderación del área de la Zona B, que recibe un beneficio indirecto, será la relación entre los 62 puntos en que aumenta su valor potencial y los 101 puntos de ganancia en valor potencial del área que recibe beneficio directo, lo cual da 0.61. El beneficio llamado reflejo de la Zona C es consecuencia del control de inundaciones, de la baja del nivel freático y de la disponibilidad de canales interceptores; y, por tanto, su coeficiente de ponderación para medir su beneficio está relacionado con lo que ocurre en las áreas de beneficio directo A e indirecto

B. Entonces el coeficiente de ponderación será la relación entre el aumento del valor potencial del área de beneficio reflejo y la suma de los aumentos de éstos índices en las otras dos áreas. El coeficiente es pues $60 \div (101 + 62) = 0.37$

De todo lo anterior resulta el siguiente cuadro resumen:

	<u>Superficie real (has)</u>	<u>Factor de beneficio</u>	<u>Area ponderada (has)</u>
A. Zona de beneficio directo (inundable aproximadamente 1 vez en 10 años)	78.000	1.00	78.000
B. Zona de beneficio indirecto (entre la línea de inundación y el interceptor)	27.100	0.61	16.500
C. Zona de beneficio reflejo (por encima del interceptor)	<u>17.200</u>	0.37	<u>6.400</u>
	122.300 =====		100.900 =====

Es pues sobre esta área sobre la que se medirá el beneficio económico del componente agrícola del proyecto.

d. Alternativas posibles de protección

En todos los informes de estudios hechos sobre control de inundaciones del río Cauca se propone la regulación de su caudal mediante embalse en Timba o Salvajina; o ambos, y diques para control de los tributarios y crecidas del Cauca debidas a los mismos, aguas abajo de Timba.

En el Informe de OLAP-G&H-KTAM de enero de 1956, sobre "El Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del río Cauca", se discute además, en el Capítulo VII Sección 8, el efecto de rectificaciones del cauce del río cortando algunas curvas.

En el mismo capítulo de ese informe, Sección 3, se dice que los únicos métodos viables de protección contra las inundaciones del río Cauca son:

1. Regulación mediante los embalses de Timba o Salvajina o ambos.
2. Rectificación del cauce.
3. Construcción de diques.
4. Construcción de pasos directos o "aliviaderos de crecidas".

El hecho de que el Valle sea inundable indica de por sí que las zonas anegadizas sirven de vasos naturales de regulación del río. En una crecida como la de 1949-1950 se inundan 47.800 has. aguas arriba de Buga y 36.000 entre Buga y La Virginia. Si se suprimiera esa regulación aguas arriba de Buga, mediante mejoras del río o diques, se empeoraría la situación aguas abajo de Buga.

En la Sección 5 del mismo capítulo VIII del informe en cuestión se analizan cuatro alternativas consistentes en control mediante sólo diques, y combinaciones de éstos con embalses en Timba; y resulta óptimo el control mediante presa complementada de diques a lo largo del Cauca y sus tributarios.

El informe de la EPDC prácticamente adopta la misma modalidad de hallar la combinación más económica de diques y embalse; y es ese también el criterio adoptado en el presente estudio.

El método de control de inundaciones mediante la construcción de pasos directos o "aliviaderos de crecientes" de que se habla en el informe de "El Desarrollo Coordinado ..." de 1956, como antes se anotó, no constituye propiamente una alternativa de protección contra crecidas, sino un sistema auxiliar de protección de obras en zonas ya protegidas, como puede entenderse mejor de la lectura del párrafo pertinente que se transcribe enseguida: "Las obras de protección serán contra la creciente de 10 años. En el futuro se construirán en la zona protegida obras de drenaje, de riego y vías de comunicación, que también resultarán perjudicadas por las crecientes mayores que la de 10 años. Para proteger la inversión que se haga en estas obras hay dos métodos disponibles: (1) contruirlas "a prueba de

crecidas" localizándolas en sitios altos, donde no puedan ser alcanzadas, protegiéndolas de tal manera que resistan los desbordamientos; y (2) construir aliviaderos de crecientes que descarguen los desbordamientos sin causar daño a las obras, con lo cual se lograría al mismo tiempo un mayor grado de protección para las tierras distantes de los aliviaderos. Como estos se construirán principalmente para proteger las obras de avenamiento y riego y las vías, el costo deberá cargarse propiamente a estas obras, y no al control general de crecidas".

Además de las anteriores, se ha hablado de otras alternativas así:

Presas en los afluentes. Esta consiste en no construir una presa única sobre el río Cauca sino varias presas directamente sobre los mayores tributarios, y aún sobre el río Cauca mismo pero aguas arriba de Salvajina. La alternativa de presas pequeñas sobre el Cauca aguas arriba de Salvajina tiene la desventaja de que en tanto que en Salvajina se tendría un control de 42% del área tributaria hasta Cali y el 17% del área tributaria hasta La Virginia, en las presas pequeñas se perdería el control del área adicional entre las mismas y Salvajina. Las facilidades de generación de energía eléctrica se verían disminuidas. La vida útil de los pequeños embalses seguramente sería menor que en Salvajina; los costos de operación de los embalses se subirían sustancialmente; y muy seguramente no se obtendría el mismo grado de regulación deseado.

Cabe anotar, sin embargo, que existen tributarios de cierta consideración aguas abajo de Salvajina, tales como el río Ovejas, el Timba, el Palo, el Amaime, Bugalagrande y La vieja; en los cuales hay posibilidad de construir presas reguladoras de crecidas, con salidad de fondo permanente, que permitan reducir el pico de la crecida en forma considerable. Pero su construcción no sería, en ninguna forma, para substituir el embalse de Salvajina, sino para reforzar la regulación de éste en el río Cauca, como regulación adicional de algunos tributarios.

Se ha hablado también de modificar el control natural del río Cauca en La Virginia. Es sabido que en tal sitio el cauce del río es de sección rocosa y que a partir de allí el río adquiere una fuerte pendiente. Se ha pensado que rebajando tal control se lograría profundizar el cauce del río hacia aguas arriba logrando mejoras en su capacidad de conducción. Pero indudablemente cualquier mejora que llegara a obtenerse no pasaría de tener alcance

local, ya que no sería sensato pensar en profundizar demasiado el cauce del río so pena de formar un cañón al cual los tributarios arrastrarían las tierras fértiles mediante erosión de sus cauces por cambio en el régimen de los ríos, con consecuencias desastrosas, difíciles de prever y de corregir en llegado el caso.

Otra solución que se ha propuesto es la de cortes en el río. El mismo informe de "El Desarrollo Coordinado..." de la CVC en 1956 propone esta solución. Sin embargo, lo limita inicialmente al tramo aguas abajo de Vijes y recomienda no empezar tales cortes sino cuando la construcción de la presa sobre el río Cauca esté para terminarse. Insiste, sin embargo en que debe seguirse la recomendación contenida en el Apéndice H del mismo informe, en el sentido de que no deberán hacerse cortes hasta no tener la certeza de sus resultados mediante estudios exhaustivos. Indudablemente el corte del meandro de un río aumenta la pendiente, y en consecuencia la velocidad, deprimiendo la superficie del agua. El resultado, en el tramo alterado, es el de que se mejoran las condiciones de flujo haciendo que el cauce natural lleve un mayor caudal sin desbordamiento, o haciendo que la altura requerida de los diques auxiliares sea menor. Sin embargo, al aumentar la velocidad se incrementa también el poder erosivo del río haciendo que sus aguas empiecen a modificar el curso del alveo aguas arriba con perjuicio para los riberanos. Al mismo tiempo, como aguas abajo del corte las condiciones no se alteraron, la mayor fuerza erosiva que el río adquirió hacia aguas arriba, la pierde al terminarse el corte; y los materiales que erosiona arriba los deposita abajo de la rectificación haciendo que el fondo del lecho se suba, con la consecuencia de que las tierras vecinas en esta zona sufrirán anegamientos con mayor frecuencia que antes.

Otro estudio que se ha propuesto es el del dragado del río Cauca. Si nos imaginamos una sección transversal del río en una curva, es ley conocida de hidráulica fluvial la de que en razón de la fuerza centrífuga del agua, el nivel superficial en el lado externo de la curva es más alto que en el lado interno. Esta diferencia de niveles crea un flujo transversal que moviliza material del lado externo de una curva hacia la otra orilla y, a la vez, hacia aguas abajo. Igualmente ese fenómeno de velocidad helicoidal hace que en el tramo entre dos curvas consecutivas la dirección de la velocidad no sea paralela al eje del cauce y que por tanto, teniendo una sección más ancha que en la curva, la velocidad se reduzca en el tramo

de cambio de curvas, haciendo que allí se deposite material. Es esa la razón por la cual en el perfil longitudinal de un río de régimen, como lo es el Cauca, se alternan zonas profundas (en las curvas) con zonas pandas (en los cambios de curvas). El trabajo de toda draga en un río es el de mantener, en esas zonas pandas, un cauce apropiado para la navegación. Pero esa labor de dragado es inacabable. En el caso del río Cauca, se trata de un río aún en formación que está actualmente recibiendo carga considerable de sus afluentes, aumentada por el mal manejo de las cuencas. La operación de dragado de un tal río sería por consiguiente mucho más onerosa que la de un río ya estabilizado. Por lo demás, suponiendo que se hiciera dragado sustancial del río para mejorar su capacidad y evitar o disminuir la frecuencia de inundaciones, la carga de arena y grava de su lecho tendría que arrojarse sobre las tierras agrícolas que se quieren proteger.

e. Alternativas viables de protección

En el literal precedente se han discutido todas las posibles alternativas del control de inundaciones del río Cauca, y sólo tres de ellas resultan recomendables a saber:

1. Embalses mediante presas en el río Cauca;
2. Diques a ambas márgenes del Cauca y de sus afluentes; y
3. Combinaciones de las dos alternativas anteriores, más presas laminadoras en los tributarios.

Las presas sobre el río Cauca darían una regulación parcial pues controlarían la cuenca tributaria hasta el sitio de la presa; y el control de las crecidas de los tributarios y del Cauca mismo, debido a los aportes de esos tributarios aguas abajo de la presa, habría que hacerlo mediante diques; o mediante presas laminadoras de los tributarios y diques.

La única alternativa que funcionaría por sí sola sería la de diques a ambos lados del Cauca y de sus afluentes.

Sin embargo, independientemente de costos y de relaciones de beneficio/costo, esta alternativa de sólo diques no sería deseable por las siguientes razones:

- i). Los mayores caudales no sólo significan nueva conducta del río de consecuencias difíciles de prever; sino también niveles de agua más altos; y, por tanto, mayores cargas de bombeo para drenaje, mayor infiltración; más graves problemas de niveles freáticos, mayor poder erosivo en el cauce del río, y costos más altos de mantenimiento.
- ii) El río Cauca es una fuente confiable y barata de agua para riego por bombeo. Los diques no dan regulación y, por tanto, se perdería agua preciosa para bombeo en estiaje.
- iii) El problema de contaminación de las aguas del río Cauca es cada vez más serio; y, si bien la sólo regulación de caudales para una mayor dilución de desperdicios no es suficiente para mejorar el río hasta un grado óptimo, sin embargo cualquier regulación significa un beneficio, así fuera intangible, porque de hecho disminuye o pospone las exigencias de plantas de tratamiento de aguas de albañal o de desperdicios industriales.
- iv) Una regulación mediante presa brinda la oportunidad de generación hidroeléctrica; beneficio que, al tomar parte de los costos generales del proyecto y auto-financiar esta parte del proyecto mediante la venta de la energía generada, hace más barato el costo de protección contra inundaciones.

Es innegable que los beneficios del control de inundaciones de una determinada frecuencia son siempre los mismos independientemente de las obras de protección.

Sin embargo, si la obra de control de inundaciones (presa) tiene otros beneficios, sólo una parte del costo de la misma será imputable al beneficio de protección contra inundaciones.

f. Alternativa recomendada

Las anteriores consideraciones hacen aparecer así más deseable la alternativa de controlar el río mediante presa en el río Cauca, combinada con diques a lo largo del Cauca y de sus tributarios, y presas laminadoras de algunos tributarios.

En efecto, de los estudios preliminares de costos, como se anota en la Sección III.a) siguiente, resultó recomendable la alternativa de una presa en el sitio de Salvajina; diques por ambas márgenes del río Cauca y de sus afluentes, canales interceptores, canales de drenaje primario y plantas de bombas

III DESCRIPCION DEL PROYECTO

a. Alternativas consideradas

Ya hemos visto que la solución recomendable para lograr la protección de tierras contra inundaciones, para aprovechamientos agrícolas en la zona inundable por el río Cauca, contra crecidas de frecuencia de una vez en diez años, consiste en la construcción de una presa sobre el río Cauca y diques por ambos márgenes del mismo río y sus tributarios, más presas laminadoras en algunos tributarios.

El primer paso fué el de definir el sitio óptimo de la presa. En todos los informes anteriores se habló de los sitios de Timba y Salvajina. Solamente en el informe de la Parsons-Brinckerhoff-Hogan and McDonald se menciona el sitio de San Francisco.

Los ingenieros de la EPDC estudiaron los tres sitios de Salvajina, San Francisco y Timba y sus resultados se consignan en el Cuadro 6.1 Vol I de su informe. La razón por la cual se estudiaron alternativas de distintas alturas de presa para diferentes volúmenes de embalse correspondientes a distintas frecuencias de crecida (a pesar de que antes se decidió que la protección sería para la "crecida de 10 años"), obedece al hecho de que la magnitud de los diques en la zona inundable depende de la magnitud del embalse en el río Cauca. De ese primer estudio resultó que el sitio de presa más económico es el de Salvajina. En el momento actual, con mayores costos, dicha posición relativa se mantiene y, el sitio de Salvajina sigue siendo el más económico para la presa y estructuras orgánicas de regulación.

El segundo paso fué el de definir la combinación más económica de presa en Salvajina y diques en la zona inundable, variando magnitud de presa y magnitud de diques para un mismo grado de protección.

Existen registros de caudales y cotas de agua del río Cauca en Juanchito desde el año de 1934; en las estaciones de Salvajina y la Balsa desde 1945; en La Virginia desde 1947; y posteriormente, en otras estaciones de aforo a lo largo del río tales como La Bolsa, Hormiguero, Mediacanoa, Ríofrío, Guayabal, La Victoria y Anacaro. La información de tales registros se ha procesado estadísticamente y se ha determinado la frecuencia con que se presentan los distintos caudales y cotas de agua del río en cada estación.

Se conoce asimismo la relación que existe entre caudales en Juanchito y gastos en las otras estaciones de aforo, de modo que un dato de crecida en Juanchito es indicativo de lo que ocurre en todo el valle anegable. Es esta la razón por la cual, en el estudio de inundaciones, se tomó Juanchito como parámetro básico.

Es evidente que los registros de caudales y niveles en períodos de inundación están deformados a causa de los desbordamientos. Por consiguiente fué necesario deducir las hidrógrafas no deformadas, es decir, generar la hidrógrafa que efectivamente se registraría si se evitaran los desbordamientos. Las características de tales hidrógrafas no deformadas son: caudal máximo, volumen y forma. El caudal y el volumen se dedujeron mediante técnicas probabilísticas; y la forma se determinó con base en la familia de hidrógrafas históricas. En cuanto a caudales la estación base fué la de Salvajina en razón de que sus caudales no se hallan afectados de desbordamientos ni en esa estación ni aguas arriba de la misma. Además existe un buen grado de correlación entre los caudales y niveles de esa estación, y los de las estaciones aguas abajo. Para análisis de los caudales se relacionaron series formadas por caudales máximos promedios diarios. Definidas tales series se realizaron represiones lineales de la forma

$$Q (\text{estación}) = A + C Q (\text{Salvajina}).$$

Luego, con las funciones lineales, se generaron caudales máximos anuales no deformados para los años de inundación en cada estación; y así se obtuvo una serie de valores correspondientes a los años de registro. A cada serie se le hizo un análisis probabilístico aplicando el método de Gumbel y se determinaron los caudales de 10 años de período de retorno.

En cuanto a volúmenes, las estaciones piloto fueron Salvajina, La Balsa y Juanchito. El análisis hecho permitió concluir que la deformación de los volúmenes registrados es mínima.

A las series de volúmenes se les aplicó el método de Gumbel y se determinaron las correspondientes frecuencias de una vez en 10 años.

En cuanto a la forma de la hidrógrafa se la determinó usando el caudal máximo, la tendencia de las hidrógrafas históricas y tanteando con las ramas faltantes de la hidrógrafa hasta encerrar el volumen correspondiente.

Obtenidas las hidrógrafas se trabajó con las de Salvajina y Juanchito, transitando la de Salvajina a través de las turbinas y de la salida de fondo de modo de no exceder en Juanchito el caudal regulado que se desea tener en esta estación. Esta operación se hizo para tener caudales regulados en Juanchito de 700; 800 ; 900; 1.000 y 1.100 m³/seg, a cada uno de los cuales corresponde un volumen de embalse en Salvajina. Se determinó, además, que el aporte de los tributarios entre Salvajina y Juanchito, para un período de retorno de 10 años, es del orden de 760 m³/seg lo cual significa que los diques mínimos han de corresponder a este caudal en Juanchito.

Se determinaron costos de obras y se encontró que el costo mínimo del complejo de obras corresponde a la alternativa de diques para caudal de 760 m³/seg en Juanchito.

El embalse útil necesario en Salvajina es de 620 millones de metros cúbicos. Se estimó que el nivel de sedimentos en el embalse, para un período de 100 años, alcanzaría a la cota 1.085. Se adoptó, para la solea de la toma, la cota 1.087. El nivel mínimo del embalse se definió en la cota 1.102 a fin de proveer 15 metros de sumersión para la toma. El nivel máximo controlado del embalse queda a la cota 1.149.

IV- CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO

1. Presa y Embalse de Salvajina

Cuenca Tributaria	3.960 Km ²
Caudal medio	142 m ³ /s
Caudal máximo registrado (1971)	1.143 m ³ /s.
Tipo de presa: de gravas y enrocado con cara de concreto	
Elev. corona de la presa	1.154 m.s.m.
Altura de presa:	
Desde el lecho original del río	126 m.
Desde el punto más bajo de fundación	154 m.

Nivel normal máx. del embalse	1.149 m.s.m.
Nivel min. del embalse	1.102 m.s.m.
Capacidad útil del embalse	620 Mm ³
Capacidad total del embalse	770 Mm ³
Capacidad del rebosadero	3.550 m ³ /seg.
Túneles de desviación:	

2 diam. 8.20 m. long. 910 y 980 m.

2. Generación hidroeléctrica

Capacidad a instalar:

Inicial: 2 unid. a 90 MW c/u	180 MW
Energía promedia anual	890 millones KWH
Salto mínimo	70 m.
Salto máximo	120 m.
Turbina tipo Francés de eje vertical	
Línea de transmisión Salvajina - Pance	50 Km.
(doble circuito a 115 Kv)	

3. Obras en la planicie inundable

Capacidad del río:

en Juanchito:	actual	650 m ³ /seg.
	futura	760 m ³ /seg.
en La Victoria:	actual	750 m ³ /seg.
	futura	1.200 m ³ /seg.
Long. de diques río Cauca		551 Kms.
Long. de diques en afluentes		212 Kms.

Long. de canales interceptores	412
Long. de drenajes principales	61
Estaciones de bombas de drenaje:	
Caudal	53 m ³ /seg.
KW instalado	4.190 KW
No. de estaciones	13

