

1965-2

CVC

ues

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

PROYECTO DE SALVAJINA

VOLUMEN I — INFORME

FEBRERO 15, 1965

DISEÑO:

C. V. C.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

*ues*

PROYECTO DE SALVAJINA

VOLUMEN I — INFORME

FEBRERO 15, 1965

DISEÑO:

DEPARTAMENTO HIDROELECTRICO DE C.V.C.

CONSULTORES:

ACRES INTERNATIONAL LIMITED

CALI

COLOMBIA

## CONTENIDO

### VOLUMEN 1 - INFORME

#### CAPITULOS

1. INTRODUCCION
2. DESCRIPCION DE LA REGION
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO Y RESEÑA DE LOS ESTUDIOS
4. DESARROLLO DE ENERGIA
5. CONTROL DE INUNDACIONES Y AVENAMIENTO EN EL VALLE DEL CAUCA
6. IRRIGACION EN EL VALLE DEL CAUCA
7. ORDENACION DE ALTERNATIVAS PARA EL PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA
8. DESCRIPCION DE LOS ASPECTOS PRINCIPALES DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA
9. COSTOS Y BENEFICIOS
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### APENDICES

- A GEOLOGIA, EXPLORACIONES Y ENSAYOS DE MATERIALES
- B HIDROLOGIA
- C LEVANTAMIENTOS Y CARTOGRAFIA
- D ANALISIS DE LOS BENEFICIOS ATRIBUIBLES AL CONTROL DE INUNDACIONES
- E BIBLIOGRAFIA

### VOLUMEN 2 - PLANOS

## INDICE

CARTA DE PRESENTACION

CARTA DE LOS CONSULTORES

ABREVIATURAS Y EQUIVALENCIAS

DATOS BASICOS DE INGENIERIA

### CAPITULO 1 - INTRODUCCION

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 1.1 | Alcance del informe                           | 1-1 |
| 1.2 | Objetivo del proyecto                         | 1-1 |
| 1.3 | Antecedentes del presente estudio             | 1-1 |
| 1.4 | Proyecto adoptado                             | 1-2 |
| 1.5 | Costos y beneficios                           | 1-3 |
| 1.6 | Resumen de las conclusiones y recomendaciones | 1-3 |

### CAPITULO 2 - DESCRIPCION DE LA REGION

|     |                          |     |
|-----|--------------------------|-----|
| 2.1 | Localización             | 2-1 |
| 2.2 | Geografía y fisiografía  | 2-1 |
| 2.3 | Geología                 | 2-2 |
| 2.4 | Clima e hidrología       | 2-4 |
| 2.5 | Vegetación y agricultura | 2-5 |
| 2.6 | Industria                | 2-5 |
| 2.7 | Transportes              | 2-6 |

### CAPITULO 3 - OBJETIVOS DEL PROYECTO Y RESEÑA DE LOS ESTUDIOS

|     |                                |     |
|-----|--------------------------------|-----|
| 3.1 | Introducción                   | 3-1 |
| 3.2 | Objetivos del proyecto         | 3-1 |
| 3.3 | Informes y estudios anteriores | 3-5 |
| 3.4 | Estudios actuales              | 3-7 |

### CAPITULO 4 - DESARROLLO DE ENERGIA

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 4.1 | Introducción                                 | 4-1  |
| 4.2 | Estudio de interconexión de los sistemas     | 4-2  |
| 4.3 | Crecimiento de la carga                      | 4-3  |
| 4.4 | Capacidad de generación presente y propuesta | 4-4  |
| 4.5 | Costo de generación térmica alternativa      | 4-6  |
| 4.6 | Estudios de energía                          | 4-8  |
| 4.7 | Desviación del Río Ovejas                    | 4-20 |

CAPITULO 5 - CONTROL DE INUNDACIONES Y AVENAMIENTO EN EL VALLE DEL CAUCA

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 5.1 | Introducción                                  | 5-1  |
| 5.2 | Características de las avenidas               | 5-1  |
| 5.3 | Determinación de las zonas inundables         | 5-4  |
| 5.4 | Grado de protección contra avenidas           | 5-7  |
| 5.5 | Avenida de diseño                             | 5-7  |
| 5.6 | Métodos alternativos de control de avenidas   | 5-11 |
| 5.7 | Selección del programa de control de avenidas | 5-15 |

CAPITULO 6 - IRRIGACION EN EL VALLE DEL CAUCA

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 6.1 | Introducción                              | 6-1 |
| 6.2 | Zonas que pueden mejorarse por irrigación | 6-2 |
| 6.3 | Distribución de cultivos                  | 6-3 |
| 6.4 | Consumos de agua por cultivos             | 6-4 |
| 6.5 | Demanda total de agua para irrigación     | 6-5 |
| 6.6 | Conclusiones                              | 6-8 |

CAPITULO 7 - ORDENACION DE ALTERNATIVAS PARA EL PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 7.1 | Introducción   | 7-1  |
| 7.2 | Esquemas alternativos considerados para la formulación del proyecto    | 7-2  |
| 7.3 | Esquemas alternativos considerados para la presa adoptada en Salvajina | 7-11 |

CAPITULO 8 - DESCRIPCION DE LOS ASPECTOS PRINCIPALES DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 8.1 | Información general                       | 8-1  |
| 8.2 | Presa de Salvajina                        | 8-2  |
| 8.3 | Presa de Timba                            | 8-14 |
| 8.4 | Mejoramiento de los tributarios del Cauca | 8-17 |
| 8.5 | Programa de construcción                  | 8-18 |

CAPITULO 9 - COSTOS Y BENEFICIOS

|     |                                      |      |
|-----|--------------------------------------|------|
| 9.1 | Costo estimado                       | 9-1  |
| 9.2 | Programa de inversiones              | 9-7  |
| 9.3 | Distribución de costos               | 9-7  |
| 9.4 | Beneficios                           | 9-14 |
| 9.5 | Costos anuales del proyecto múltiple | 9-20 |

## CAPITULO 10 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

|      |                 |      |
|------|-----------------|------|
| 10.1 | Conclusiones    | 10-1 |
| 10.2 | Recomendaciones | 10-6 |

## APENDICE A - GEOLOGIA, EXPLORACIONES Y ENSAYO DE MATERIALES

### PARTE I - GEOLOGIA REGIONAL

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| A1-1   | Introducción                             | A-1 |
| A1-2   | Rocas volcánicas y sedimentarias         | A-1 |
| A1-2.1 | Formaciones diabásicas                   | A-1 |
| A1-2.2 | Formaciones de Nogales, Cauca y La Paila | A-1 |
| A1-2.3 | Formaciones de Popayán                   | A-2 |
| A1-2.4 | Formación Valle                          | A-3 |
| A1-3   | Rocas de intrusión                       | A-3 |
| A1-4   | Geología estructural                     | A-4 |
| A1-5   | Sismología                               | A-4 |

### PARTE II - PRESA DE SALVAJINA

|        |  |      |
|--------|--|------|
| A2-1   | Sitio de la presa  | A-6  |
| A2-1.1 | Geología   | A-6  |
| A2-1.2 | Exploraciones de campo   | A-10 |
| A2-1.3 | Consideraciones de ingeniería  | A-11 |
| A2-2   | Zonas de préstamo  | A-15 |
| A2-2.1 | Canteras para rocas de relleno   | A-15 |
| A2-2.2 | Desechos de dragado  | A-16 |
| A2-2.3 | Zonas de préstamo de material impermeable                                | A-17 |
| A2-2.4 | Material procedente de excavaciones                                      | A-19 |
| A2-3   | Ensayo de materiales   | A-19 |
| A2-3.1 | Información general  | A-19 |
| A2-3.2 | Sitio de la presa  | A-20 |
| A2-3.3 | Material permeable   | A-20 |
| A2-3.4 | Material de transición   | A-21 |
| A2-3.5 | Material impermeable   | A-21 |
| A2-3.6 | Agregados para concreto  | A-27 |
| A2-4   | Futuras exploraciones y ensayos de materiales para la presa de Salvajina | A-30 |
| A2-4.1 | Sitio de la presa  | A-30 |
| A2-4.2 | Areas de préstamo  | A-31 |

### PARTE III - PRESA DE TIMBA, MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS Y DESVIACION DEL RIO OVEJAS

|        |                                    |      |
|--------|------------------------------------|------|
| A3-1   | Presa de Timba                     | A-33 |
| A3-1.1 | Geología                           | A-33 |
| A3-1.2 | Exploración y ensayo de materiales | A-33 |
| A3-1.3 | Consideraciones de ingeniería      | A-36 |
| A3-1.4 | Programa futuro                    | A-37 |

|        |   |      |
|--------|---|------|
| A3-2   | Mejoramiento de los tributarios del Cauca | A-38 |
| A3-3   | Desviación del Río Ovejas                 | A-38 |
| A3-3.1 | Geología                                  | A-38 |
| A3-3.2 | Consideraciones de ingeniería             | A-39 |
| A3-3.3 | Programa futuro                           | A-41 |

APENDICE B - HIDROLOGIA

|      |   |      |
|------|---|------|
| B-1  | Factores climatéricos principales               | B-1  |
| B-2  | Precipitación                                   | B-1  |
| B-3  | Escorrentía                                     | B-2  |
| B-4  | Avenidas  | B-6  |
| B-5  | Sedimentación del embalse                       | B-10 |
| B-6  | Temperatura y humedad                           | B-11 |
| B-7  | Evaporación                                     | B-12 |
| B-8  | Vientos   | B-12 |
| B-9  | Hidrología de los sistemas de Bogotá y Medellín | B-13 |
| B-10 | Programas hidrológicos futuros                  | B-13 |

APENDICE C - LEVANTAMIENTOS Y CARTOGRAFIA

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| C-1 | Levantamientos y mapas existentes                     | C-1 |
| C-2 | Levantamientos hechos para el informe de factibilidad | C-3 |
| C-3 | Levantamientos futuros                                | C-4 |

APENDICE D - ANALISIS DE LOS BENEFICIOS ATRIBUIBLES AL CONTROL DE INUNDACIONES

|     |                    |     |
|-----|--------------------|-----|
| D-1 | Introducción       | D-1 |
| D-2 | Bases del análisis | D-1 |

APENDICE E - BIBLIOGRAFIA

T A B L A S

| Tabla No. |  | Pag. No. |
|-----------|--|----------|
| 4-1       | Sistema CVC-CHEC - Plantas existentes en CVC   | 4-21     |
| 4-2       | Sistema CVC-CHEC - Plantas futuras de CVC  | 4-22     |
| 4-3       | Sistema CVC-CHEC - Plantas actuales y futuras de CHEC  | 4-23     |
| 4-4       | Sistema CVC-CHEC - Plantas actuales y futuras de Cedelca   | 4-24     |
| 4-5       | Sistema Bogotá - Plantas actuales  | 4-25     |
| 4-6       | Sistema Bogotá - Plantas futuras   | 4-26     |
| 4-7       | Sistema Medellín - Plantas actuales y futuras  | 4-27     |
| 4-8       | Capacidades en Salvajina para diferentes niveles y volúmenes del embalse                           | 4-28     |
| 4-9       | Análisis de costos imputables a energía  | 4-29     |
| 4-10      | Análisis de costos incluyendo los efectos de control de avenidas y energía                         | 4-30     |
| 4-11      | Comparación de programas   | 4-31     |
| 4-12      | Costos de los proyectos de energía según las capacidades consideradas en los varios programas      | 4-32     |
| 5-1       | Descargas máximas en la Balsa y Juanchito  | 5-2      |
| 5-2       | Datos de los ríos tributarios  | 5-3      |
| 5-3       | Periodicidad de las crecientes máximas del Río Cauca   | 5-8      |
| 5-4       | Embalse requerido para prevenir inundaciones del Río Cauca   | 5-10     |
| 5-5       | Rectificaciones y jarillones sobre el Río Cauca  | 5-14     |
| 5-6       | Días en los cuales el caudal excede 650 m <sup>3</sup> /s en Juanchito                             | 5-16     |
| 5-7       | Días en los cuales el caudal excede 550 m <sup>3</sup> /s en La Balsa                              | 5-17     |
| 5-8       | Extensión de las zonas inundadas   | 5-18     |
| 6-1       | Distribución de cultivos en el Valle del Cauca   | 6-4      |
| 6-2       | Coefficientes (K) de cultivos  | 6-5      |
| 6-3       | Promedio diario de los consumos para irrigación en el Valle del Cauca (mm)                         | 6-9      |
| 6-4       | Caudales mínimos registrados en el Río Cauca (m <sup>3</sup> /s)                                   | 6-10     |
| 6-5       | Descarga promedio mensual del Río Cauca y de sus mayores tributarios en Septiembre 1958            | 6-11     |
| 6-6       | Distribución de zonas irrigables en la parte plana del Valle del Cauca                             | 6-12     |
| 7-1       | Costos indirectos y costos anuales   | 7-20     |
| 7-2       | Presa de Salvajina - Costos para alturas variables máximas del embalse y de capacidad de la planta | 7-21     |
| 7-3       | Comparación entre presas de control de inundaciones, en Salvajina y en Timba                       | 7-22     |
| 9-1       | Proyecto múltiple de Salvajina - Resumen de costos   | 9-6      |



|      |  |             |
|------|--|-------------|
| 9-2  | Proyecto múltiple de Salvajina - Plan de inversiones   | 9-9         |
| 9-3  | Resumen de costos del proyecto, para la distribución de costos   | 9-12        |
| 9-4  | Distribución de costos para Salvajina  | 9-15        |
| 9-5  | Costos y beneficios  | 9-17        |
| 9-6  | Costos anuales de Salvajina  | 9-21        |
| 9-7  | Estimativo de costos para la presa de Salvajina - División entre gastos en pesos y en moneda extranjera                            | 9-22        |
| 9-8  | Estimativo de costos para la presa de Timba - División entre gastos en pesos y en moneda extranjera                                | 9-23        |
| 9-9  | Estimativo de costos para el mejoramiento de los tributarios del Río Cauca - División entre gastos en pesos y en moneda extranjera | 9-24        |
| 9-10 | Estimativo de costos para la presa de Salvajina - División entre costos directos y gastos eventuales                               | 9-25        |
| 9-11 | Estimativo de costos para la presa de Timba - División entre costos directos y gastos eventuales                                   | 9-26        |
| 9-12 | Estimativo de costos para mejoramiento de los tributarios del Cauca - División entre costos directos y gastos eventuales           | 9-26        |
| 9-13 | Resumen del presupuesto de Salvajina   | 9-27 a 9-43 |
| A-1  | Ensayos mineralógicos de arcillas  | A-42        |
| A-2  | Ensayos de agregados gruesos   | A-43        |
| A-3  | Ensayos de agregados finos   | A-44        |
| A-4  | Ensayos de cemento   | A-45        |
| A-5  | Ensayos del agua del río y del subsuelo  | A-45        |
| B-1  | Correlación entre los caudales máximos y medios anuales del Río Cauca en Juanchito   | B-7         |
| B-2  | Volúmenes de sedimentación en el embalse   | B-11        |
| B-3  | Estaciones de aforo  | B-15        |
| B-4  | Zonas tributarias principales - Hoya del Río Cauca   | B-16        |
| B-5  | Río Cauca en Suárez - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )   | B-17        |
| B-6  | Río Cauca en La Balsa - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )   | B-18        |
| B-7  | Río Cauca en Juanchito - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )  | B-19        |
| B-8  | Río Cauca en La Virginia - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )  | B-20        |
| B-9  | Río Timba - Estación de aforo A-2, (6-134 según Electroaguas) - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )                           | B-21        |
| B-10 | Río Mondomo - Estación de aforos M.1 de Electroaguas - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )                                    | B-22        |

|      |  |      |
|------|--|------|
| B-11 | Río Ovejas - Estaciones de aforo en el puente del camino a Popayán y en el sitio a 2 km aguas arriba de la desviación propuesta - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ ) | B-23 |
| B-12 | Ríos Calima y Bravo - Caudales promedios combinados mensuales que entran al embalse de Madroñal, ( $m^3/s$ )   | B-24 |
| B-13 | Río Anchicayá en el Danubio - Caudal promedio mensual ( $m^3/s$ )  | B-25 |
| B-14 | Río Cauca en Suárez - Caudales promedios diarios para períodos críticos ( $m^3/s$ ) - (Años 1958-1959)- Hoja 1 de 2-Año 1958   | B-26 |
| B-15 | Río Cauca en Suárez - Caudales promedios diarios para períodos críticos ( $m^3/s$ ) - (Años 1958-1959)- Hoja 2 de 2-Año 1959   | B-27 |
| B-16 | Estaciones meteorológicas y de aforos  | B-28 |
| B-17 | Popayán (Universidad) - Precipitación promedia mensual (mm)  | B-29 |
| B-18 | Suárez - Precipitación promedia mensual (mm)   | B-30 |
| B-19 | La Balsa - Precipitación promedia mensual (mm)   | B-31 |
| B-20 | La Manuelita - Precipitación promedia mensual (mm)   | B-32 |
| B-21 | Palmira (Granja Experimental) - Temperatura promedia en grados centígrados   | B-33 |
| B-22 | La Manuelita - Temperatura promedia ( $^{\circ}C$ )  | B-34 |
| B-23 | Palmira (Granja Experimental) - Promedio mensual de humedad relativa (%)   | B-35 |
| B-24 | La Manuelita - Promedio mensual de humedad relativa (%)  | B-36 |
| B-25 | Palmira (Granja Experimental) - Evaporación total (mm)   | B-37 |
| B-26 | La Manuelita - Evaporación total (mm)  | B-38 |
| B-27 | Palmira (Granja Experimental) - Velocidad máxima del viento (km/h).  | B-39 |
| B-28 | Sistema CHEC - Río Chinchiná en la bocatoma de la "Insula" - Caudal promedio mensual ( $m^3/s$ )   | B-40 |
| B-29 | Sistema CHEC - Río Campoalegre en la casa de máquinas de la "Insula" - Caudales promedios mensuales en $m^3/s$   | B-41 |
| B-30 | Sistema CHEC - Río La Estrella a 15 km de Chinchiná en el camino Chinchiná-La Estrella - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )  | B-42 |
| B-31 | Sistema CHEC - Río San Francisco en el km 7 del camino CHEC - Caudales promedios mensuales en $m^3/s$  | B-43 |
| B-32 | Sistema de Bogotá - Río Alicachín - Estación de aforos de "El Charquito" - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )  | B-44 |
| B-33 | Sistema de Medellín - Río Concepción - Estación de aforos TC-4 - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )  | B-45 |

Tabla No.

Pag. No.

|      |  |      |
|------|--|------|
| B-34 | Sistema de Medellín - Río Guadalupe - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )                                     | B-46 |
| B-35 | Sistema de Medellín - Río Grande - Estaciones de aforo Rg.1, Rg.2, Rg.8 - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ ) | B-47 |
| B-36 | Sistema de Medellín - Río Nare - Estación de aforo RN-5 - Caudales promedios mensuales ( $m^3/s$ )                 | B-48 |
| D-1  | Distribución del uso de la tierra en la parte plana del Valle del Cauca en 1963                                    | D-6  |
| D-2  | Producción agrícola en la parte plana del Valle  | D-7  |
| D-3  | Ingreso bruto, costo total de producción e ingreso neto (pesos)  | D-8  |
| D-4  | Ingreso anual agrícola, antes y después del control de inundaciones. (pesos)                                       | D-9  |

## PLANOS

1. Plano general
2. Mapa de los embalses de Salvajina y Timba
3. Mapa de localización de plantas en el sistema interconectado
4. Sistema de transmisión CVC
5. Curvas de crecimiento de carga
6. Curva de masas de energía para el sistema interconectado
7. Programas alternativos de desarrollo - Hoja 1 de 3
8. Programas alternativos de desarrollo - Hoja 2 de 3
9. Programas alternativos de desarrollo - Hoja 3 de 3
10. Intercambio de potencia y curva de duración de carga - Programa A
11. Curvas de beneficio-costo para varias alturas de presa y volúmenes de embalse
12. Mapa de zonas inundables - Hoja 1 de 2
13. Mapa de zonas inundables - Hoja 2 de 2
14. Zonas inundadas en 1956, 1960 y 1964
15. Zonas estudiadas para control de avenidas
16. Curvas de frecuencia de pico y caudal promedio anual en Río Cauca
17. Efectos de control de los embalses de Salvajina y Timba
18. Efectos regulares de los embalses para las mayores avenidas registradas
19. Efectos reguladores de los embalses sobre la avenida de 1949-50
20. Zonas irrigables
21. Curvas de area, volumen y operación para embalses
22. Curvas de calibración del río en Salvajina
23. Presa de Salvajina - Disposición general
24. Presa de Salvajina - Cortes de la presa
25. Presa de Salvajina - Inyecciones de las fundaciones
26. Presa de Salvajina - Vertedero - Cortes
27. Presa de Salvajina - Conductos de carga - Cortes
28. Presa de Salvajina - Planta y cortes de la casa de máquinas
29. Presa de Timba - Disposición general
30. Mejoramiento de tributarios del Río Cauca y obras de avenamiento
31. Desviación del Río Ovejas - Planta y cortes
32. Programa A - Plan de diseño y construcción
33. Presas de Salvajina y Timba - Mapa geológico general
34. Presa de Salvajina - Mapa geológico general y de zonas de préstamo
35. Presa de Salvajina - Mapa geológico del sitio de la presa
36. Presa de Salvajina - Secciones geológicas - Hoja 1 de 2
37. Presa de Salvajina - Secciones geológicas - Hoja 2 de 2
38. Presa de Salvajina - Cantera - Mapa geológico y registro de socavones
39. Presa de Salvajina - Registro de perforaciones - Hoja 1 de 3
40. Presa de Salvajina - Registro de perforaciones - Hoja 2 de 3
41. Presa de Salvajina - Registro de perforaciones - Hoja 3 de 3
42. Presa de Salvajina - Registro de apiques y barrenos del sitio de la presa
43. Presa de Salvajina - Registro de apiques del sitio de la presa y de materiales de dragado

44. Presa de Salvajina - Registro de apiques y barrenos de zonas de préstamo
45. Resumen de ensayo de materiales del dragado y granulometría
46. Resumen de ensayo de materiales - Zona de préstamo "A" -  
Diorita descompuesta
47. Resumen de ensayo de materiales - Zona de préstamo "B" -  
Lutita
48. Resumen de ensayo de materiales - Zona de préstamo "C" -  
Formación Popayán
49. Resumen de ensayo de materiales - Sitio de la presa de  
Salvajina - Suelo lavado
50. Resumen de ensayo de materiales - Excavación del vertedero -  
Lutita
51. Localización de las estaciones meteorológicas y de aforos en la  
zona de CVC
52. Hidrogramas del Río Cauca en Suárez
53. Curvas de sedimentación para el Río Cauca
54. Hidrogramas de avenidas para Salvajina y Timba

PRESA DE TIMBA

LOCALIZACION

Sobre el Río Cauca a unos 40 km al sur de Cali

OBJETIVO

Control de avenidas y regulación del río

HOYA

Río Cauca entre Suárez y La Balsa 1480 km<sup>2</sup>

CAUDAL

Río Cauca - Tiempo de registro, en La Balsa, desde 1946 hasta la fecha

|                               |       |                   |
|-------------------------------|-------|-------------------|
| Caudal promedio               | 190,6 | m <sup>3</sup> /s |
| Máximo caudal diario promedio | 1189  | m <sup>3</sup> /s |
| Mínimo caudal diario promedio | 35    | m <sup>3</sup> /s |

EMBALSE

Elevación del embalse:

|  |                     |                |
|--|---------------------|----------------|
| Máximo normal  | 1008,0              | m              |
| Area a la elevación 1008,0   | 2175                | ha             |
| Elevación mínima para evacuar 300 m <sup>3</sup> /s por los vertederos | 1000,0              | m              |
| Embalse activo entre las elevaciones 1000 y 1008                       | 140x10 <sup>6</sup> | m <sup>3</sup> |
| Embalse por debajo de la cota 1000                                     | 50x10 <sup>6</sup>  | m <sup>3</sup> |
| Elevación máxima (avenida de diseño del vertedero)                     | 1010,2              | m              |

PRESA

Tipo: Relleno de grava con núcleo impermeable

|   |           |                |
|---|-----------|----------------|
| Elevación de la cresta                    | 1011,7    | m              |
| Longitud de la cresta                     | 1020      | m              |
| Altura de la presa sobre el lecho del río | 22        | m              |
| Talud aguas arriba                        | 2,5 a 1   |                |
| Talud aguas abajo                         | 2 a 1     |                |
| Volumen total de relleno                  | 2'000.000 | m <sup>3</sup> |

VERTEDERO

Tipo: Canal revestido en concreto con compuerta de cresta, y embalse de amortiguación, localizado sobre el estribo izquierdo de la presa

|                                       |            |                   |
|---------------------------------------|------------|-------------------|
| Compuertas radiales automáticas       | 3 de 12x12 | m                 |
| Elevación de la cresta                | 996,3      | m                 |
| Ancho libre de la cresta              | 36         | m                 |
| Longitud del embalse de amortiguación | 42         | m                 |
| Ancho del embalse de amortiguación    | 58         | m                 |
| Caudal máximo: Pico afluente          | 4330       | m <sup>3</sup> /s |
| Pico efluente                         | 4207       | m <sup>3</sup> /s |

DESVIACION PARA CONSTRUCCION DE LA PRESA

Tipo: Conductos de salida durante la construcción de la atagüfa

Descarga de diseño

140 m<sup>3</sup>/s

OBRAS DE SALIDA

Tipo: Dos conductos rectangulares de 2,5x4,3 m a través de la estructura de la cresta del vertedero

Descarga de diseño a la elevación 1000 m

Regulación: Por medio de dos compuertas deslizantes operadas mecánicamente

300 m<sup>3</sup>/s

CVC

MEMORANDUM

PARA : Dr. Bernardo Carcés Córdoba  
Director Ejecutivo

DE : James V. Williamson (Fdo) J.V. Williamson  
Ingeniero Jefe del Depto. Hidroeléctrico

FECHA : Febrero 15 de 1965

ASUNTO : Informe del Proyecto Múltiple de Salvajina

Adjunto remito a Ud. el informe que contiene los resultados de los estudios económicos y de ingeniería del Proyecto Múltiple de Salvajina. Estos estudios han sido preparados por el Departamento Hidroeléctrico, con la colaboración de otros Departamentos de la CVC. Además, la firma de Ingenieros Consultores, Acres International Ltd. de Niagara Falls, Canadá, por medio de personal principal enviado a Cali, proveyó valiosa asistencia y asesoría. Esto les permitió mantener el contacto permanente necesario para declararse satisfechos sobre la adecuación del trabajo realizado.

Se hizo además una revisión de algunas partes específicas del proyecto, tanto por Mr. James B. Cook, ingeniero consultor y autoridad reconocida en presas de roca, como por el geólogo Mr. Alan O'Neill, de gran experiencia en proyectos hidroeléctricos importantes; la contribución de dichos profesionales fue muy valiosa. Los servicios del geólogo O'Neill se obtuvieron por cortesía del Departamento de Recursos de Aguas del Estado de California.

Los estudios muestran que el Proyecto Múltiple de Salvajina es técnica y económicamente factible, y proveerá grandes beneficios derivados de generación de energía, control de avenidas, e irrigación. El proyecto comprenderá una presa y planta hidroeléctrica en Salvajina, una presa de control de avenidas en Timba, y obras diversas en el Valle del Cauca para el mejoramiento de los tributarios del Río Cauca.

La planta hidroeléctrica de Salvajina, con una capacidad segura de 430 mw puede constituir más económicamente, la próxima fuente de energía para el sistema CVC. Para hacerle frente a las necesidades de los sistemas interconectados de CVC-CHEC, Bogotá y Medellín y para disminuir la dependencia del sistema CVC-CHEC de los otros sistemas, es necesario completar el proyecto de Salvajina a finales de 1970 o principios de 1971.



Por medio de los embalses de Salvajina y Timba será posible controlar el Río Cauca para avenidas de 15 años de periodicidad. Esta regulación, en combinación con las obras de mejoramiento de los tributarios, permitirá recuperar alrededor de 51.860 ha de tierra actualmente inundable, para usos agrícolas.

El efecto regulador de los embalses permitirá asimismo disponer de un caudal medio mayor en el Río Cauca, tanto para usos de irrigación como para el proyecto de desviación al Pacífico.

La solución óptima para el desarrollo de Salvajina contempla: un terraplén de enrocado de 152 m de altura, que permitirá embalsar un volumen útil de 400 millones de m<sup>3</sup> para generación de energía y control de avenidas; una casa de máquinas de pie de presa, que contendrá 4 unidades hidroeléctricas, con una capacidad segura de 430 mw en total, para el nivel mínimo de embalse; una presa en el sitio de Timba, construida con grava de los desechos de dragado existentes en la zona, de 22 m de altura sobre el lecho del río. El embalse tendrá un volumen utilizable de 140 millones de m<sup>3</sup> para control de avenidas, que complementa los 400 millones obtenibles en Salvajina. Para la mayor parte de los tributarios del Cauca entre Timba y Bugalagrande, se programa un mejoramiento de los cauces respectivos, y las obras de avenamiento que se requieran. En total se contempla construir 18 estaciones de bombeo.

El costo de capital para el Proyecto Múltiple de Salvajina, incluyendo líneas de transmisión, imprevistos, ingeniería, intereses durante la construcción, y aumentos progresivos de costos, es de \$519'813.000 y US\$101'970.000, o sea un costo total equivalente a US\$159'727.000, suponiendo una tasa de cambio de US\$1 = 9 pesos. De este costo total, 76,8% corresponde a generación de energía y 23,2% a control de avenidas. La planta de Salvajina producirá un promedio anual de 1310 millones de kilowatios a un costo de 6,7 centavos por kw/h, (7,44 US Mills), entregado en los centros de carga, sin tener en cuenta el aumento gradual de costos durante la construcción. El costo de capital imputable a energía, sin computar el aumento escalonado durante la construcción, es de US\$254/kw instalado. El control de avenidas permitirá el desarrollo agrícola de 51.860 ha de tierra, que darán un beneficio neto de \$96'735.000 o sea el equivalente de US\$10'750.000 por año. La relación de beneficio-costos será de 2,09 para el proyecto total, y las relaciones, para generación de energía y control de avenidas serán respectivamente de 1,77 y 3,14.

Se recomienda tomar inmediatamente las medidas necesarias para asegurar la financiación del diseño y construcción del proyecto, para que se termine lo más pronto posible. Puesto que la construcción de la presa demanda un lapso de 6 años, los planos de ingeniería y estudios de campo deben adelantarse sin interrupción, para terminar prontamente las especificaciones y planos de licitación del proyecto principal. Si la licitación para este contrato puede abrirse en Septiembre 1º de 1965, la adjudicación del contrato sería posible en Enero de 1966; entonces, la primera unidad podría entrar en línea a fines de 1970. Para

que sea posible generar en Salvajina y obtener los beneficios del control de avenidas, es necesario terminar la presa de Timba al mismo tiempo que la de Salvajina. Como la presa de Timba puede construirse en tres años, su iniciación podrá hacerse tres años más tarde que la de Salvajina. Los trabajos en los ríos tributarios del Cauca, sólo se empezarían faltando dos años para la terminación de la presa de Salvajina.

Debe tratarse de conseguir la financiación de las presas de Salvajina y Timba inmediatamente en las cantidades siguientes:

|                    |               |                |
|--------------------|---------------|----------------|
| Presa de Salvajina | \$393'885.000 | US\$88'984.000 |
| Presa de Timba     | \$ 98'910.000 | US\$ 8'961.000 |

Estas cantidades incluyen únicamente una cantidad nominal de aumento de costos escalonados durante la construcción y están basadas en una rata de cambio de US\$1 = 9 pesos.

La financiación para las construcciones en los cauces de los tributarios del Cauca, se deja para el futuro, cuando los estudios de ingeniería se hayan completado.

ACRES INTERNATIONAL LIMITED

Niagara Falls, Canada

Enero 15, 1965

Dr. Bernardo Garcés Córdoba  
Director Ejecutivo  
Corporación Autónoma Regional del Cauca  
Cali, Colombia, S.A.

Asunto: Proyecto de Salvajina

Estimado señor:

Primero por su carta de intención de Julio 14, y posteriormente por un contrato fechado en Octubre 20, 1964, la CVC designó a Acres International Ltd., como sus consultores en la preparación del informe de factibilidad para el Proyecto Múltiple de Salvajina. Los términos pertinentes del contrato, son los siguientes:

(1) - Acres actuará como consultor general de CVC, para asistir en forma continua al Departamento de Ingeniería u otros departamentos de CVC, y participará en el trabajo en la extensión necesaria para que los consultores sean responsables de la adecuación de los estudios, informes, diseños, especificaciones, dibujos y cualquier otro trabajo derivado.

(2) - Realizar aquellas partes del trabajo que por cualquier razón la CVC decida no hacer con su personal propio. Estas partes pueden ser, sin estar limitadas a ellas: estudios de mercados, estudios económicos, sistemas de energía, hidrología, geología, estudios agrícolas, y el estudio, diseño, inspección y supervisión de cualquier parte del trabajo.

(3) - Realizar cualquier otro trabajo mediante acuerdo mutuo de las partes.

En armonía con los términos anteriores, se ha preparado este informe por el Departamento Hidroeléctrico de CVC y Acres International Limited, trabajando en estrecha cooperación.

Personal principal de Acres International Limited llegó a Cali en Julio 20 y ha permanecido allá durante todo este período de preparación del informe de factibilidad, para cooperar en todos los estudios y en la supervisión de las investigaciones geológicas. Acres realizó estudios suplementarios en sus oficinas principales de Niagara Falls en el

Canadá, y allí se hizo una revisión completa del proyecto. Las recomendaciones y conclusiones contenidas en este informe conjunto están basadas en extensas exploraciones de campo y estudios detallados de oficina. A ellos se llegó después de un examen completo de soluciones alternativas.

Deseamos recomendar la labor del personal del Departamento de Ingeniería de la CVC, por la forma intensiva y completa como se realizaron los estudios y trabajos de oficina y de campo, y expresamos nuestro reconocimiento por la cooperación prestada a nosotros por Ud. y su personal durante la ejecución de este trabajo.

Reconocemos la ayuda de Mr. Laurenti del IBRD y Mr. Montoya de la FAO por los informes que nos dieron sobre asuntos agrícolas y de uso de la tierra en el Valle del Cauca, y la de International Land Development Consultants Limited de Netherlands, por su asistencia en la valoración de estos datos.

Con mucho gusto responderemos cualquier pregunta, o aclaración que se considere necesaria.

De Ud. sinceramente,

ACRES INTERNATIONAL LIMITED

(Fdo.) I. W. McCaig, Director

## ABREVIATURAS Y EQUIVALENCIAS

|                                      |     |   |
|--------------------------------------|-----|---|
| mm                                   | ... | milímetros  |
| cm                                   | ... | centímetros                                       |
| m                                    | ... | metros = 1,09 yardas = 3,28 pies = 39,37 pulgadas |
| km                                   | ... | kilómetros = 0,622 millas                         |
| "                                    | ... | pulgadas  |
| pie                                  | ... | pie   |
| El.                                  | ... | elevación en metros                               |
| km <sup>2</sup>                      | ... | kilómetros cuadrados = 0,386 millas cuadradas     |
| ha                                   | ... | hectáreas = 2,47 acres                            |
| m <sup>3</sup>                       | ... | metros cúbicos = 35,31 pies cúbicos               |
| kg                                   | ... | kilogramos = 2,205 libras (U.S.)                  |
| ton                                  | ... | toneladas métricas = 1000 kg = 2205 libras (U.S.) |
| lbs                                  | ... | libras  |
| cm/s                                 | ... | centímetros por segundo                           |
| m/s                                  | ... | metros por segundo                                |
| km/h                                 | ... | kilómetros por hora = 0,622 millas por hora       |
| m <sup>3</sup> /s                    | ... | metros cúbicos por segundo                        |
| m <sup>3</sup> /m                    | ... | metros cúbicos por metro                          |
| kg/cm <sup>2</sup>                   | ... | kilos por centímetro cuadrado = 14,22 psi         |
| psi                                  | ... | libras por pulgada cuadrada                       |
| lbs/pie <sup>3</sup>                 | ... | libras por pie cúbico                             |
| kv                                   | ... | kilovoltios                                       |
| kva                                  | ... | kilovoltio amperios                               |
| mva                                  | ... | megavoltio amperios                               |
| kw                                   | ... | kilowatios  |
| mw                                   | ... | megawatios  |
| kwh                                  | ... | kilowatios hora                                   |
| kg/kwh                               | ... | kilogramos por kilowatio hora                     |
| P.F.                                 | ... | factor de potencia                                |
| hp                                   | ... | caballo de vapor (métrico) = 0,986 U.S. hp        |
| °C                                   | ... | grados centígrados                                |
| °F                                   | ... | grados Fahrenheit                                 |
| min                                  | ... | minutos   |
| rpm                                  | ... | revoluciones por minuto                           |
| Gs                                   | ... | gravedad específica                               |
| $\phi$                               | ... | ángulo de fricción interna en suelos              |
| c                                    | ... | cohesión en suelos                                |
| s                                    | ... | pendiente   |
| ID, OD                               | ... | diámetro interno, diámetro externo                |
| ppm                                  | ... | partes por millón                                 |
| m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> /año | ... | metros cúbicos por kilómetro cuadrado por año     |
| \$                                   | ... | pesos colombianos                                 |
| US\$                                 | ... | dólares   |
| US mills                             | ... | Un milésimo de dólar = US\$0,001                  |
| US mills/kwh                         | ... | US mills por kilowatio hora                       |

DATOS BASICOS DE INGENIERIA

PRESA DE SALVAJINA

LOCALIZACION

Sobre el Río Cauca a unos 60 km al sur de Cali

OBJETIVO

Energía, control de avenidas y regulación del Río Cauca

CUENCA

Río Cauca hasta la presa 3830 km<sup>2</sup>

CAUDAL(Río Cauca - Registros en Suárez desde 1946 hasta la fecha)

Caudal promedio 139,2 m<sup>3</sup>/s  
 Máximo promedio diario 834 m<sup>3</sup>/s  
 Mínimo promedio diario 27 m<sup>3</sup>/s

ENERGIA DISPONIBLE

Cabeza neta promedio de diseño 133,4 m  
 Potencia promedia continua 152 mw  
 Energía promedia anual 1330x10<sup>6</sup> kwh

EMBALSE

Elevación máxima normal 1175,0 m  
 Area a la elevación 1175 2600 ha  
 Elevación mínima normal 1155,0 m  
 Embalse activo entre elevaciones 1175 y 1155 425x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Embalse activo para control de avenidas 400x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Embalse muerto por debajo de la elevación 1155 730x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
 Elevación máxima (avenida de diseño del rebosadero) 1178,4 m  
 Elevación mínima (4 unidades trabajando) 1141,0 m

PRESA

Tipo: relleno de roca, cilindrado, con núcleo impermeable  
 Elevación de la cresta 1180,0 m  
 Longitud de la cresta 422 m  
 Altura de la presa sobre el lecho del río 152 m  
 Talud aguas arriba 2,0 a 1  
 Talud aguas abajo 1,8 a 1  
 Ancho máximo en la base 706 m  
 Volumen total de relleno 11'950.000 m<sup>3</sup>

### VERTEDERO

Tipo: Canal inclinado revestido en concreto, cresta con compuertas y cuenco amortiguador, localizado en el estribo izquierdo de la presa

|  |                 |                   |
|--|-----------------|-------------------|
| Compuertas radiales automáticas        | 3 de 10,67x10,8 | m                 |
| Elevación de la cresta                 | 1164,5          | m                 |
| Ancho de la cresta (libre)             | 32              | m                 |
| Ancho del canal y cucharón             | 15              | m                 |
| Avenida máxima probable: Pico afluente | 3640            | m <sup>3</sup> /s |
| Pico efluente                          | 3460            | m <sup>3</sup> /s |

### DESVIACION PARA CONSTRUCCION DE LA PRESA

Tipo: Dos túneles de sección circular revestidos en concreto, en el estribo derecho

|   |      |                   |
|---|------|-------------------|
| Diámetro interior del revestimiento                     | 8,1  | m                 |
| Diámetro por la línea "A"                               | 8,9  | m                 |
| Longitud del Tunel No. 1                                | 940  | m                 |
| Longitud del Tunel No. 2                                | 990  | m                 |
| Descarga de diseño para una frecuencia de 1 en 400 años | 1350 | m <sup>3</sup> /s |

### BOCATOMA DE CARGA

Tipo: Dos torres circulares libres, ubicadas en el estribo derecho de la presa

|               |    |   |
|---------------|----|---|
| Altura máxima | 20 | m |
|---------------|----|---|

### CONDUCTOS DE CARGA

Tipo: Dos túneles de sección circular revestidos en concreto, aguas arriba del pozo de compuertas; dos ductos inclinados, revestidos de acero, que conectan con las dos tuberías de carga, soportadas libremente dentro de los túneles de desviación y dos túneles secundarios que llevan a la casa de máquinas

|   |      |   |
|---|------|---|
| Túneles, arriba del pozo de compuertas:   |      |   |
| Diámetro interior   | 8,1  | m |
| Diámetro por la línea "A"   | 8,9  | m |
| Ductos inclinados:  |      |   |
| Diámetro interior   | 6,6  | m |
| Diámetro por la línea "A"   | 7,3  | m |
| Tubería de carga, diámetro interior   | 6,6  | m |
| Tuberías de admisión: Diámetro cada ramal   | 4,65 | m |
| Longitud total: No.1 (incluye 240 m de tunel, 95 m de ducto revestido de acero y 360 m de tubería de carga) | 695  | m |
| No.2 (255 m de tunel, 95 m de ducto revestido de acero, y 390 m de tubería de carga)                        | 740  | m |

Velocidades máximas: (para cuatro unidades de 121,5  
mw cada una, a 129 m de  
cabeza neta):

|                                |      |     |
|--------------------------------|------|-----|
| En el túnel                    | 4,32 | m/s |
| En el ducto y tubería de carga | 6,50 | m/s |

#### POZO DE COMPUERTAS

Tipo: Dos pozos de control, de sección rectangular  
revestidos de concreto. Dos compuertas de ser-  
vicio normal de 2,7 x 6,6 m de rueda fija en  
cada túnel y dos compuertas de emergencia, de  
mamparo, para ambos túneles, de:

4,2x9,0 m

#### CASA DE MAQUINAS

Tipo convencional de interior con estructura de  
concreto reforzado  
Dimensiones totales incluyendo patio de servicio:  
Espacio entre unidades

88,0x32,7 m  
17,0 m

#### CASA DE MAQUINAS Y EQUIPO

Capacidad segura con la cabeza neta mínima  
Número de unidades  
Turbinas - Tipo Francis  
- Velocidad  
- Potencia con 121 m de cabeza neta  
mínima  
Generadores: Potencia a 0,9 P.F., 14,4 kv  
Puente-grúa, capacidad:  
Transformadores: Cuatro de tres fases, lo-  
calizados adyacentes a  
la casa de máquinas  
Voltaje

430.000 kw  
4  
225 rpm  
150.000 hp  
117.500/135.000 kva  
250 ton  
230/14,4 kv

#### SUBESTACION

Localización: Al pie de la presa a unos  
100 m de la casa de máquinas  
Voltajes  
Barraje

230/69/13,2 kv  
Tipo cable

#### LINEAS DE TRANSMISION

Localización: Dos líneas separadas de cir-  
cuito sencillo, una a Cali y otra a Popayán  
Voltaje a Cali  
Voltaje a Popayán

230 kv  
69 kv

#### CARRETERA DE ACCESO

Localización: Partiendo de Suárez, por la margen  
izquierda hasta la cresta de la presa y hasta  
la casa de máquinas a través de un puente  
sobre el cuenco amortiguador

Ancho 7 m  
Pendiente máxima 10%  
Radio mínimo de curvas 22 m



plantas ya en operación o en construcción, no se incluyeron, dado que los fondos para ellas ya estarían gastados o comprometidos y, en tal virtud, no tienen efecto sobre el aspecto económico. Además, el costo actual de estas plantas es el mismo para todos los programas. Además de las plantas existentes, se incluyen en esta categoría las de Calima I, Colegio I, las últimas unidades de Guadalupe, Troneras y Guatape I, y para los fines de estos estudios, se consideró a Canoas en el mismo grupo. Asimismo, se determinaron los costos para todas las otras plantas que se muestran en los programas respectivos, con la excepción de Chivor, ya que la inclusión de esta planta habría dado como resultado la extensión del período considerado por varios años, más allá de 1975, a fin de completar cada programa en condiciones idénticas en cuanto a suministro de energía y tiempo. En algunos casos, fue necesario incluir una pequeña planta hipotética hacia el fin del programa, para efectos de traer todas las alternativas al mismo nivel de energía disponible y capacidad. El costo de tal planta se calculó sobre la base del costo estimado de la próxima adición al sistema.

Los estimativos de costo y períodos de construcción en general están basados en informes de estudios de factibilidad, habiéndose además obtenido de Integral de Medellín e Ingetec de Bogotá, informes adicionales sobre Guatape II y Colegio II, respectivamente. Los datos sobre interconexión se tomaron del informe de Diciembre de 1964, preparado por Merz McLellan, e Ingetec-Integral, y los costos actuales se establecieron para Octubre de 1964.

El costo usado para Salvajina, como se muestra en la Tabla 4-9, es el correspondiente a generación únicamente. Posteriormente se compararon los programas, teniendo en cuenta el costo de control de avenidas por Salvajina y los beneficios derivados, tal como se indica en la Tabla 4-10. Las construcciones para mejoramiento de los tributarios, se ha programado empezarlas dos años antes de la terminación de la presa de Salvajina y continuarlas por un período de ocho años. Paralelamente, se supuso que los beneficios de control de avenidas irán aumentando en valor durante este mismo período, para alcanzar su valor total a la terminación de los trabajos.

En la comparación de los programas, tanto para la determinación de los valores actuales como para el cálculo de los intereses durante la construcción, incluidos en la determinación de los costos de capital de las distintas plantas, se ha usado una tasa promedio de interés del 7,5%. No se agregan intereses durante la construcción a los costos de los valores actuales, ya que esto es inherente en este método de cálculo. Para cada programa, los costos se han expresado en la forma de inversión de capital, inversión acumulada de capital, y valor actual acumulado de inversión de capital, para el período de 1966 a 1975, tal como aparece en la Tabla 4-9. Debe notarse que la inversión de capital que se muestra en esta tabla, aunque estrictamente comparativa, no incluye la información para Guatape I, que está en construcción, ni la de Chivor. En la Tabla 4-10 aparece una comparación similar, pero incluyendo el efecto de los costos y

beneficios del control de avenidas del proyecto múltiple de Salvajina, y tomando en consideración los gastos de operación y mantenimiento. Las características físicas y económicas más importantes de los varios programas, se resumen en la Tabla 4-11, y los varios costos de los proyectos usados en el análisis económico, aparecen en la Tabla 4-12.

### (c) Comparación de Programas

En las Figuras 7, 8 y 9, puede verse que en todos los programas de energía, excepto el Programa F, la próxima adición al sistema CVC consiste de una unidad de 33 mw en la térmica de Yumbo. La decisión para proceder a esta instalación no puede diferirse más allá de mediados de 1965, para poder terminarla a tiempo para servir los requisitos de carga previstos. En el Programa F, se suprime Yumbo IV y se incluye Calima II para su terminación a principios de 1968, cuya fecha se considera como la más cercana posible para que entre en línea la primera unidad. Para este programa, la deficiencia en el sistema CVC-CHEC se inicia en 1967, y cualquier demora en la financiación o construcción de Calima II, acarrearía una seria crisis de energía en el sistema que se extendería hasta 1968, ya que razonablemente la interconexión no podrá funcionar hasta mediados de 1968.

Parece pues, que aun cuando se consiguiera la financiación inmediata de Calima II, el proyecto no podrá terminarse a tiempo para evitar una deficiencia inaceptable en el sistema. Dado que actualmente la financiación inmediata de Calima II no parece factible, las demoras para su iniciación serían inevitables, por lo cual este programa no ha sido considerado en la determinación de la capacidad y fecha de entrada en línea de Salvajina.

Dentro de los Programas A, B, C y D, se necesita que la interconexión quede terminada a principios de 1968. Cualquier demora causará serias deficiencias en el sistema CVC-CHEC. Para el Programa E, la interconexión no será requerida sino hasta 1970 y, por tanto, se dispone de más tiempo para efectuar los arreglos contractuales y para el diseño y construcción de las líneas.

Las Figuras 7, 8 y 9, y la Tabla 4-11, muestran que para el sistema CVC-CHEC la magnitud de la deficiencia de energía y su duración, es mayor con el Programa D. Si se relaciona la magnitud de la deficiencia máxima con la demanda de pico del sistema CVC-CHEC existente en el momento en que tal deficiencia ocurre, los Programas A a D resultan iguales por este respecto, alcanzando una proporción del 34%, que es inaceptable para cualquier sistema normal, a menos que las líneas de interconexión ofrezcan mayor seguridad y que los compromisos contractuales garanticen absolutamente el suministro de energía bajo cualquier circunstancia. En el Programa E, la deficiencia en capacidad para el sistema CVC-CHEC, disminuye considerablemente, con la ventaja adicional de reducirse su dependencia de la interconexión.

Las inversiones acumuladas de capital, y el valor actual de los varios programas, usando para Salvajina el costo correspondiente a energía únicamente, son las que se muestran en la Tabla 4-9. Ellas indican que para el período que termina en 1975, tanto la inversión acumulada de capital como el valor actual acumulado, según los Programas A a E, varían únicamente en un 3%, puesto que en la mayoría de los casos los estimativos de costo no se conocen con esa misma aproximación, y por consiguiente resulta que para el período total en estudio, las inversiones acumuladas de capital, o el valor actual, no permiten discernir la superioridad económica entre uno u otro programa. Sobre la base de minimizar el gasto acumulado de capital en los primeros años, el Programa E, en el cual Yumbo IV es seguido por San Francisco y Salvajina, resultó superior. Como se demuestra en la Tabla 4-9, este programa implica la mínima inversión de capital para generación en el período hasta 1970.

En la Tabla 4-10, los efectos de costos y beneficios del control de avenidas, se han agregado a los de generación de energía. Los beneficios del control de avenidas usados en esta tabla, se sacaron del Apéndice D. La tabla incluye el valor actual, tanto de los costos como de los beneficios del control de avenidas y demuestra, cómo la inclusión del beneficio de control de avenidas en forma de un crédito, reduce efectivamente el costo del proyecto múltiple. Por motivo de la considerable diferencia que hay entre los beneficios del control de avenidas y sus costos correspondientes, la inclusión de estos beneficios causa la mayor reducción en el valor real en los programas, (A, B y E), en los cuales se contempla la construcción temprana de Salvajina, de manera que el control de avenidas en el valle del Cauca, se inicia a partir de 1970 ó 1971. El valor actual acumulado de energía y control, menos el valor actual de los beneficios de control de avenidas, para los Programas A, B y E es menor que el correspondiente para los Programas C y D, en los cuales Calima II constituye el primer desarrollo en el sistema CVC, después de Yumbo IV.

Por supuesto que es también posible obtener los beneficios de control de avenidas en el valle del Cauca, temprana y económicamente, mediante la construcción de una presa en Timba para 1970. Sin embargo, la construcción de dicha presa antes de la de Salvajina, desde un punto de vista general, no es económica.

En efecto, para obtener un adecuado control de avenidas, con una presa en Timba únicamente, es necesario construirla para embalsar 540 millones de  $m^3$ , en lugar de los 140 millones de  $m^3$  que es el almacenaje óptimo, cuando Timba se construye como parte del proyecto de Salvajina. Además, la presa de 540 millones de  $m^3$  inundaría las zonas de desechos de dragado, previstas como materiales para la presa y para el concreto de Salvajina, con el consiguiente aumento de costo que elimina cualquier ventaja aparente de tal programa.

En conclusión, cualquiera que sea el programa que se considere para el período hasta 1975, los índices económicos del valor actual acumulado, costos acumulados de capital, o valor actual acumulado menos beneficios de control de avenidas, no varían en más del 3%. Es cierto que los Programas C y D implican una inversión de capital durante los próximos 5 a 6 años, inferior a la de los Programas A y B, pero en cambio los grandes beneficios económicos derivados del control de avenidas en el río Cauca, quedan demorados por un número de años en aquellos programas, haciéndolos menos atractivos. El Programa E, en el cual Yumbo IV es seguido por San Francisco y Salvajina, exige la mínima inversión en energía en el período hasta 1970, reduce la dependencia del sistema CVC-CHEC de la interconexión y provee energía y control de avenidas desde 1971, por lo cual parece superior en todo sentido. Además, la inclusión de San Francisco en este programa, provee una seguridad para el sistema CVC-CHEC contra posibles demoras en la interconexión. A su vez, de llegar a demorarse por cualquier razón la construcción de San Francisco, los Programas A y B satisfarían las necesidades del sistema CVC-CHEC y además, proveerían el control de avenidas en el valle, empezando en 1970.

(d) Escogencia de la Capacidad Instalada y Fecha de Terminación

La capacidad que se requiere instalar en Salvajina, dentro de cada uno de los seis programas considerados, se indica en las Figuras 7, 8 y 9 y además se detalla en la Tabla 4-11. Con excepción del Programa F, para el cual resulta una capacidad de 354 mw, todos los otros programas resultan con capacidad de 407 ó 430 mw. Puesto que como antes se explicó, el Programa F queda excluido de estas comparaciones, lógicamente se sigue que la mayor capacidad asociada con los otros programas, es la que debe escogerse. Así pues, la capacidad final adoptada es de 430 mw, que corresponde a la considerada en los Programas A y E.

La comparación hecha previamente entre los varios programas de energía, en general favorece el Programa E, que requiere la entrada en línea de la primera unidad de Salvajina a mediados de 1971. A su vez, la consideración de los aspectos económicos del control de avenidas de Salvajina así como de los de generación, favorece los Programas A y B, que contemplan la terminación de Salvajina en Noviembre de 1970. Además, según el programa que se adoptó para la construcción de San Francisco, la puesta en línea de la primera unidad de Salvajina tendrá lugar a fines de 1970 o a mediados de 1971. El programa de construcción mostrado en la Figura 32, se basa en el Programa A, ya que indica la más pronta terminación para la presa de Salvajina.

(e) Instalación de Unidades

Un examen de las Figuras 7 a 9, revela que debido al rápido crecimiento de la carga de los sistemas interconectados,

sería posible únicamente demorar la instalación de la tercera unidad de Salvajina por un período de nueve meses después de la segunda unidad, lo cual es obviamente antieconómico. Como la cuarta unidad deberá entrar en servicio cuatro meses después de la tercera, una mayor demora en la instalación de las unidades 3 y 4 prolongaría la inconveniente deficiencia de capacidad del sistema CVC-CHEC, prevista en los Programas A, B y D. En consecuencia, se decidió la instalación de las cuatro unidades durante la fase inicial de construcción, como se muestra en la Figura 32.

#### 4.7 DESVIACION DEL RIO OVEJAS

Como se describe en el Capítulo 7, se investigó la posibilidad de desviar caudales del río Ovejas y de su afluente el Pescador al embalse de Salvajina, para aumentar los beneficios de generación de la planta. Los trabajos de desviación se han planeado para derivar un caudal promedio de  $22,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual produciría un aumento en la energía continua de 26 mw. El costo total de construcción de esta desviación se estima en el equivalente de US\$9'840.000.

Un estudio de factibilidad de este proyecto se hizo tomando como base el costo total de construcción además de los costos de operación y mantenimiento, y asumiendo únicamente los beneficios de energía a la tasa de 4,5 US mills/kwh. La relación de beneficio-costo resulta de 1,2, la cual indica que el proyecto es probablemente atractivo desde el punto de vista financiero. La inclusión de un beneficio asociado con la instalación de capacidad adicional, lo cual es justificable por la energía disponible a causa de la desviación, aumentaría la relación de beneficio-costos.

Puesto que hasta el momento no hay suficientes datos del caudal y faltan aún estudios topográficos y exploraciones del subsuelo como para formular un proyecto definido, por ahora no se considera deseable incluirlo como parte del de Salvajina. Además, los estudios indican que la introducción de la desviación del Ovejas no tiene un efecto de significación sobre el nivel o volumen activo del embalse en Salvajina. Es, naturalmente, posible instalar 47 mw de capacidad adicional determinada convirtiendo la energía disponible de la desviación al factor de carga del sistema, pero esto podrá hacerse más tarde en cualquier realización conveniente del sistema combinado, sin sacrificio de la economía. Por lo tanto, se ha considerado prudente evitar el gasto adicional de capital, que implicaría el aprovechamiento de otra capacidad adicional para Salvajina, esperándose que la desviación habrá de justificarse más adelante.

TABLA 4-1

SISTEMA CVC-CHEC

PLANTAS EXISTENTES EN CVC

| Planta Generadora             | Capacidad Instalada |       | Capacidad Sobrecarga |       | No. de Unidades | Capacidad Segura                 |              | Energía Continua |       | Embalse Util                     |   | Cabeza Media Neta |  |
|-------------------------------|---------------------|-------|----------------------|-------|-----------------|----------------------------------|--------------|------------------|-------|----------------------------------|---|-------------------|--|
|                               | mW                  | mW    | mW                   | mW    |                 | m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> | m            | mW               | mW    | m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> | m | m                 | m  |
| <b>HIDROELECTRICAS</b>        |                     |       |                      |       |                 |                                  |              |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Anchicayá                     | 64,0                | 72,0  | 72,0                 | 72,0  | 2x20<br>2x12    | 41,7                             | 41,7         | 1,5              | 1,5   | 73                               |   |                   | Anchicayá  |
| Calima I<br>(en construcción) | 120,0               | 138,0 | 120,0                | 120,0 | 4x30            | 22,9                             | 22,9         | 411,0            | 411,0 | 195                              |   |                   | Calima y<br>Bravo<br>Cali<br>Nima<br>Guadalajara<br>Tuluá<br>Pijao<br>La Vieja |
| Cali                          | 2,2                 |       |                      |       |                 | 1,2                              | 1,2          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Nima I & II                   | 8,1                 |       |                      |       |                 | 4,9                              | 4,1          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Guadalajara                   | 1,3                 |       |                      |       |                 | 1,0                              | 1,0          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Tuluá                         | 3,1                 |       |                      |       |                 | 1,9                              | 1,9          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Sevilla                       | 0,5                 |       |                      |       |                 | 0,3                              | 0,3          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Cartago                       | 0,8                 |       |                      |       |                 | 0,5                              | 0,5          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| <b>TERNICAS</b>               |                     |       |                      |       |                 |                                  |              |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Yumbo I, II & III             | 53,0                |       |                      |       | 2x10<br>1x33    | 50,0                             | 50,0         |                  |       |                                  |   |                   |  |
| <b>DIESEL</b>                 |                     |       |                      |       |                 |                                  |              |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Cali                          | 9,8                 |       |                      |       |                 | 8,2                              | 4,0          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| El Morro                      | 5,2                 |       |                      |       |                 | 4,4                              | 1,3          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Sevilla                       | 0,7                 |       |                      |       |                 | 0,6                              | 0,3          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Cartago                       | 0,8                 |       |                      |       |                 | 0,7                              | 2,0          |                  |       |                                  |   |                   |  |
| Buenaventura                  | <u>4,9</u>          |       |                      |       |                 | <u>3,4</u>                       |              |                  |       |                                  |   |                   |  |
| <b>TOTAL</b>                  | <b>274,4</b>        |       |                      |       |                 | <b>269,1</b>                     | <b>131,6</b> |                  |       |                                  |   |                   |  |

TABLA 4-2

SISTEMA CVC-CHEC

PLANTAS FUTURAS DE CVC

| Planta Generadora      | Capacidad Instalada<br>MW | Capacidad en Sobre carga<br>MW | No. de Unidades | Capacidad Segura<br>MW | Energía Continua<br>MW | Embalse Util<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Cabeza Media Neta<br>m | Río            |
|------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|----------------|
| <b>HIDROELECTRICAS</b> |                           |                                |                 |                        |                        |   |                        |                |
| Calima II              | 200,0                     | 203,0                          | 4x50            | 200,0                  | 38,9                   | 0,56  | 330                    | Calima y Bravo |
| Salvajina              | 430,0                     | 486,0                          | 4x107,5         | 430,0                  | 152,3                  | 400,0   | 133                    | Cauca          |
| <b>TERMICAS</b>        |                           |                                |                 |                        |                        |   |                        |                |
| Yumbo IV               | <u>33,0</u>               |                                | 1x33            | <u>31,0</u>            | <u>31,0</u>            |   |                        |                |
| <b>TOTAL</b>           | <b>663,0</b>              |                                |                 | <b>661,0</b>           | <b>222,2</b>           |   |                        |                |

TABLA 4-3

SISTEMA CVC-CHEC

PLANTAS ACTUALES Y FUTURAS DE CHEC

| Planta Generadora                 | Capacidad Instalada<br>MW | Capacidad Sobrecarga<br>MW | No. de Unidades | Capacidad Segura<br>MW | Energía Continua<br>MW | Embalse Util<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Cabeza Media Neta<br>m | Río  |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|--|
| <b>HIDROELECTRICAS EXISTENTES</b> |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |  |
| La Insula                         | 15,4                      |                            | 2x7,7           | 10,2                   | 14,6                   | 1,5   | 111                    | Chinchiná,<br>Campoalegre                                      |
| La Esmeralda                      | 30,0                      |                            | 2x15            | 25,4                   | 30,0                   |   | 157                    | Chinchiná,<br>Q. La Estrella                                   |
| Dos Quebradas                     | 8,5                       |                            |                 | 7,2                    | 3,6                    |   |                        |  |
| Belmonte                          | 3,8                       |                            |                 | 3,8                    | 1,9                    |   |                        |  |
| Libaré                            | 2,2                       |                            |                 | 2,0                    | 1,0                    |   |                        |  |
| Armenia                           | 4,0                       |                            |                 | 4,0                    | 2,0                    |   |                        |  |
| Calarcá                           | 1,0                       |                            |                 | 1,0                    | 0,5                    |   |                        |  |
| Seis plantas pequeñas             | 5,7                       |                            |                 | 4,4                    | 4,2                    |   |                        |  |
| <b>DIESEL EXISTENTES</b>          |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |  |
| Pereira                           | 4,0                       |                            |                 | 4,0                    | 2,0                    |   |                        |  |
| Otras                             | <u>2,0</u>                |                            |                 | <u>2,0</u>             | <u>1,0</u>             |   |                        |  |
| <b>TOTAL EXISTENTES</b>           | <b>76,6</b>               |                            |                 | <b>64,0</b>            | <b>60,8</b>            |   |                        |  |
| <b>FUTURAS HIDROELECTRICAS</b>    |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |  |
| San Francisco                     | <u>135,0</u>              |                            | 3x45            |                        | <u>35,6</u>            | 3,5   | 179                    | Chinchiná,<br>Campoalegre,<br>Q. La Estrella,<br>San Francisco |
| <b>TOTAL FUTURAS</b>              | <b>135,0</b>              |                            |                 |                        | <b>35,6</b>            |   |                        |  |



TABLA 4-4

SISTEMA CVC-CHEC

PLANTAS ACTUALES Y FUTURAS DE CEDELCA

| Planta Generadora                 | Capacidad Instalada<br>MW | Capacidad Sobrecarga<br>MW | No. de Unidades | Capacidad Segura<br>MW | Energía Continua<br>MW | Embalse Util<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Cabeza Media Neta<br>m | Río                   |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|-----------------------|
| <b>HIDROELECTRICAS EXISTENTES</b> |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |
| Florida                           | 2,6                       |                            | 2x1,3           |                        |                        |   | 42                     | Cauca                 |
| Sajandí                           | 2,4                       |                            | 3x0,8           |                        |                        |   | 100                    | Sajandí               |
| Mondomo                           | 0,6                       |                            | 2x0,3           |                        |                        |   | 36                     | Mondomo               |
| Ovejas                            | 1,1                       |                            | 1x1,1           |                        |                        |   | 28                     | Mondomo,<br>Ovejas    |
| Asnazú                            | 0,4                       |                            | 1x0,4           |                        |                        |   | 80                     | Asnazú                |
| El Palo                           | 1,4                       |                            | 2x0,7           |                        |                        |   | 30                     | Palo                  |
| Silvia                            | 0,6                       |                            | 1x0,6           |                        |                        |   | 34                     | Piendamó              |
| Coconuco                          | 0,1                       |                            | 1x0,1           |                        |                        |   |                        |                       |
|                                   | 1,6                       |                            | 2x0,8           |                        |                        |   | 127                    | Grande, San<br>Andrés |
| <b>DIESEL EXISTENTES</b>          |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |
| Guapi, Caldono                    | <u>0,1</u>                |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |
| TOTAL EXISTENTES                  | 10,9                      |                            |                 |                        | 4,0 <sup>(1)</sup>     | 4,0 <sup>(1)</sup>                              |                        |                       |
| <b>HIDROELECTRICAS FUTURAS</b>    |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |
| Saté                              | 10,5                      |                            | 3x3,5           |                        |                        |   | 107                    | Saté, Molino          |
| Inza                              | <u>0,4</u>                |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |
| TOTAL FUTURAS                     | 10,9                      |                            |                 |                        |                        |   |                        |                       |

(1) Valores asumidos para estudios de energía.

TABLA 4-5

SISTEMA BOGOTA

PLANTAS ACTUALES

| Planta Generadora              | Capacidad Instalada |     | No. de Unidades | Capacidad Segura |              | Energía Continua | Embalse Util | Cabeza |        |
|--------------------------------|---------------------|-----|-----------------|------------------|--------------|------------------|--------------|--------|--------|
|                                | mW                  | mW  |                 | mW               | mW           |                  |              | Media  | Neta   |
| <b>HIDROELECTRICAS</b>         |                     |     |                 |                  |              |                  |              |        |        |
| Neusa                          | 2,5                 |     |                 |                  |              | 100,0            | 329          |        | Neusa  |
| Sisga                          |                     |     |                 |                  |              | 96,0             |              |        | Sisga  |
| Guatavita                      |                     |     |                 |                  |              | 680,0            |              |        | Tomine |
| Muña I & II                    |                     |     |                 |                  |              | 40,0             |              |        | Bogotá |
| Cancoas (I)                    | 42,0                | 46  | 2x21,0          | 46,0             | 29,0         |                  |              | 137    | Bogotá |
| Salto I                        | 54,0                | 57  | 5x10,8          | 57,0             | 81,0         |                  |              | 384    | Bogotá |
| Salto II                       | 66,0                | 69  | 2x33,0          | 69,0             |              |                  |              |        | Bogotá |
| Laguneta                       | 80,0                | 85  | 4x20,0          | 85,0             | 59,0         |                  |              | 279    | Bogotá |
| Colegio I<br>(en construcción) | 150,0               | 165 | 3x50,0          | 165,0            | 150,0        |                  |              | 915    | Bogotá |
| <b>TERMICAS</b>                |                     |     |                 |                  |              |                  |              |        |        |
| Charquito                      | 14,5                |     |                 | 14,0             | 14,0         |                  |              |        |        |
| Zipaquirá I                    |                     |     | 1x33,0          | 31,0             | 66,0         |                  |              |        |        |
| y II                           | <u>70,5</u>         |     | 1x37,5          | <u>35,0</u>      |              |                  |              |        |        |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>479,5</b>        |     |                 | <b>502,0</b>     | <b>399,0</b> |                  |              |        |        |

(1) Incluye Canoas que aún no está en construcción.

TABLA 4-6

SISTEMA BOGOTA

PLANTAS FUTURAS

| Planta Generadora      | Capacidad Instalada<br>MW | Capacidad en Sobrecarga<br>MW | No. de Unidades | Capacidad Segura<br>MW | Energía Continua<br>MW | Embalse Util<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Cabeza Media Neta<br>m | Río    |
|------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|--------|
| <b>HIDROELECTRICAS</b> |                           |                               |                 |                        |                        |   |                        |        |
| Colegio II             | 150,0                     | 152,0                         | 3x50            | 152,0                  | 43,0                   |   | 915                    | Bogotá |
| Chivor                 | 1.000,0                   |                               | 8x125           | 1.000,0                | 356,0                  | 740,0   | 683                    | Botá   |
| <b>TERMICAS</b>        |                           |                               |                 |                        |                        |   |                        |        |
| Zipaquirá III          | <u>37,5</u>               |                               | 1x37,5          | <u>35,0</u>            | <u>35,0</u>            |   |                        |        |
| <b>TOTAL</b>           | <b>1.187,5</b>            |                               |                 | <b>1.187,0</b>         | <b>434,0</b>           |   |                        |        |

TABLA 4-7

SISTEMA MEDELLIN

PLANTAS ACTUALES Y FUTURAS

| Planta Generadora                       | Capacidad Instalada<br>MW | Capacidad Sobrecarga<br>MW | No. de Unidades | Capacidad Segura<br>MW | Energía Continua<br>MW | Embalse Util<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Cabeza Media Neta<br>m | Río                         |
|---|---------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|------------------------|---|------------------------|-----------------------------|
| EXISTENTES (TODAS HIDROELECTRICAS)      |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |                             |
| Guadalupe I                             | 40,0                      | 40                         | 2x5<br>3x10     | 40,0                   | 16,8                   | 157   | 510                    | Guadalupe Tenche            |
| Guadalupe II                            | 10,0                      | 10                         | 1x10            | 10,0                   | 10,0                   | 157   | 128                    | Concepción Guadalupe Tenche |
| Guadalupe III<br>(en construcción)      | 264,0                     | 288                        | 2x40<br>4x46    | 288,0                  | 117,5                  | 157   | 534                    | Concepción Guadalupe Tenche |
| Troneras<br>(en construcción)           | 54,0                      |                            | 3x18            | 54,0                   | 22,0                   | 157   | 86                     | Concepción Guadalupe Tenche |
| Río Grande<br>(Mocorongo)               | 80,0                      | 80                         | 3x26,6          | 80,0                   | 80,0                   | 2   | 295                    | Concepción Grande           |
| Piedras Blancas                         | <u>11,5</u>               |                            | 1x11,5          | <u>11,0</u>            | <u>4,0</u>             |   | 512                    | Piedras Blancas             |
| TOTAL EXISTENTES                        | 459,5                     |                            |                 | 483,0                  | 250,3                  |   |                        |                             |
| PLANTAS FUTURAS (TODAS HIDROELECTRICAS) |                           |                            |                 |                        |                        |   |                        |                             |
| Miraflores                              | 22,0                      |                            |                 |                        | 7,2                    | 122   | 183                    | Tenche                      |
| Guatape I                               | 264,0                     | 280                        | 4x66            | 280,0                  | 264,0                  |   | 815                    | Nare                        |
| Guatape II                              | <u>396,0</u>              | 420                        | 6x66            | <u>420,0</u>           | <u>28,0</u>            | 1.170   | 827                    | Nare                        |
| TOTAL FUTURAS                           | 682,0                     |                            |                 | 700,0                  | 299,2                  |   |                        |                             |

TABLA 4-8  
CAPACIDADES DE SALVAJINA PARA  
DIFERENTES NIVELES Y VOLUMENES DEL EMBALSE

| Embalse                            |  |   | Capacidades instaladas por grupos de plantas (mw) |                                    |         |          |           |  |
|------------------------------------|--|---|---|------------------------------------|---------|----------|-----------|--|
| Elevación<br>Máxima<br>Normal<br>m | Volumen<br>Activo<br>m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> | Elevación   |   | Energía<br>Media<br>Continua<br>mw | Grupo I | Grupo II | Grupo III | Grupo IV                                     |
|                                    |  | Mínima  | Normal  |                                    |         |          |           |  |
| 1198                               | 100  | 1195  | 1179  | 178                                | 467     | 397      | 317       | 464  |
| 1198                               | 400  | 1185  | 1179  | 173                                | 467     | 397      | 317       | 467  |
| 1198                               | 600  | 1179  | 1179  | 168                                | -       | 397      | -         | 475  |
| 1174                               | 100  | 1169  | 1143  | 150                                | 430     | 360      | 280       | 432  |
| 1174                               | 400  | 1155  | 1143  | 142                                | 442     | 372      | 292       | 430  |
| 1174                               | 600  | 1143  | 1143  | 135                                | -       | 360      | -         | 425  |
| 1163                               | 100  | 1157  | 1122  | 136                                | 417     | 347      | 267       | 416  |
| 1163                               | 400  | 1139  | 1122  | 126                                | 410     | 340      | 260       | 397  |
| 1163                               | 600  | 1122  | 1122  | 117                                | -       | 330      | -         | 378  |
| Grupo I                            | -  | Plantas existentes más Yumbo IV (33 mw), Salvajina (varias), Yumbo IV (350 mw). |   |                                    |         |          |           | Colegio II (152 mw) y                        |
| Grupo II                           | -  | Plantas existentes más Yumbo IV (33 mw), Salvajina (varias), Yumbo IV (350 mw). |   |                                    |         |          |           | Colegio II (152 mw) y                        |
| Grupo III                          | -  | Plantas existentes más Yumbo IV (33 mw), Salvajina (varias), Yumbo IV (350 mw). |   |                                    |         |          |           | Colegio II (152 mw) y                        |
| Grupo IV                           | -  | Plantas existentes más Yumbo IV (33 mw), Salvajina (varias), Yumbo IV (350 mw). |   |                                    |         |          |           | Colegio II (152 mw),<br>Guatape II (200 mw). |

TABLA 4-9

ANALISIS DE COSTOS IMPUTABLES A ENERGIA

(Costos equivalentes en millones de dólares, sin incluir escalación de precios)

| Programa | Inversión Anual de Capital |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|----------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|          | 1965                       | 1966  | 1967  | 1968  | 1969  | 1970  | 1971  | 1972  | 1973  | 1974  | 1975 |
| A        | 11,37                      | 30,78 | 31,43 | 24,64 | 37,55 | 47,90 | 36,20 | 31,99 | 23,58 | 9,18  | 4,33 |
| B        | 11,25                      | 30,54 | 31,22 | 21,56 | 33,31 | 48,93 | 41,61 | 37,01 | 25,37 | 12,39 | 1,40 |
| C        | 3,94                       | 22,75 | 32,20 | 24,87 | 34,74 | 43,93 | 48,86 | 46,09 | 23,68 | 12,39 | 1,40 |
| D        | 3,50                       | 20,82 | 28,09 | 27,39 | 41,59 | 44,21 | 36,63 | 31,88 | 27,53 | 22,70 | 3,46 |
| E        | 7,67                       | 15,49 | 16,88 | 33,48 | 45,60 | 46,09 | 48,72 | 34,43 | 27,36 | 16,68 | 2,62 |
| F        | 12,22                      | 14,49 | 15,19 | 23,60 | 49,28 | 57,33 | 54,68 | 43,70 | 24,35 | 9,17  | 3,61 |

  

| Programa | Inversión Anual de Capital Acumulada |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 1965                                 | 1966  | 1967  | 1968  | 1969   | 1970   | 1971   | 1972   | 1973   | 1974   | 1975   |
| A        | 11,37                                | 42,15 | 73,58 | 98,22 | 135,77 | 183,67 | 219,87 | 251,86 | 275,44 | 284,62 | 288,95 |
| B        | 11,25                                | 41,79 | 73,01 | 94,57 | 127,88 | 176,81 | 218,42 | 255,43 | 280,80 | 293,19 | 294,59 |
| C        | 3,94                                 | 26,69 | 58,89 | 83,76 | 118,50 | 162,43 | 211,29 | 257,38 | 281,06 | 293,45 | 294,85 |
| D        | 3,50                                 | 24,32 | 52,41 | 79,80 | 121,39 | 165,60 | 202,23 | 234,11 | 261,64 | 284,34 | 287,80 |
| E        | 7,67                                 | 23,16 | 40,04 | 73,52 | 119,12 | 165,21 | 213,93 | 248,36 | 275,72 | 292,40 | 295,02 |
| F        | 12,22                                | 26,71 | 41,90 | 65,50 | 114,78 | 172,11 | 226,79 | 270,49 | 294,84 | 304,01 | 307,62 |

  

| Programa | Valor Actual de la Inversión Acumulada de Capital a Diciembre 31, 1964 |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------|--|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 1965   | 1966  | 1967  | 1968  | 1969   | 1970   | 1971   | 1972   | 1973   | 1974   | 1975   |
| A        | 10,58  | 37,21 | 62,51 | 80,96 | 107,12 | 138,16 | 159,98 | 177,92 | 190,22 | 194,67 | 196,62 |
| B        | 10,46  | 36,89 | 62,02 | 78,16 | 101,36 | 133,07 | 158,15 | 178,90 | 192,13 | 198,14 | 198,77 |
| C        | 3,66   | 23,35 | 49,27 | 67,89 | 92,09  | 120,56 | 150,01 | 175,85 | 188,20 | 194,21 | 194,84 |
| D        | 3,26   | 21,28 | 43,89 | 64,40 | 93,37  | 122,02 | 144,10 | 161,98 | 176,34 | 187,35 | 188,91 |
| E        | 7,13   | 20,53 | 34,12 | 59,19 | 90,95  | 120,82 | 150,19 | 169,49 | 183,76 | 191,85 | 193,03 |
| F        | 11,37  | 23,91 | 36,14 | 53,81 | 88,14  | 125,29 | 158,25 | 182,75 | 195,45 | 199,90 | 201,53 |

TABLA 4-10

ANALISIS DE COSTOS INCLUYENDO LOS EFECTOS DE CONTROL DE AVENIDAS Y ENERGIA

(Millones de dólares equivalentes)

|  | Costos de los Varios Programas |        |        |        |        |        |
|--|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | A                              | B      | C      | D      | E      | F      |
| Inversión total acumulada para energía                       | 288,95                         | 294,59 | 294,85 | 287,80 | 295,02 | 307,62 |
| Inversión total acumulada para control de avenidas           | 32,32                          | 31,81  | 31,91  | 32,18  | 35,24  | 30,95  |
| Inversión total acumulada para energía y control de avenidas | 321,27                         | 326,40 | 326,76 | 319,98 | 330,26 | 338,57 |
| Valor actual de costo de energía únicamente                  | 212,01                         | 212,84 | 208,23 | 203,63 | 207,32 | 200,74 |
| Valor actual de control de avenidas únicamente               | 24,18                          | 24,18  | 21,15  | 18,32  | 22,73  | 21,50  |
| Valor actual de energía y control de avenidas                | 236,19                         | 237,02 | 229,38 | 221,95 | 230,05 | 222,24 |

Valor actual de los beneficios de control de avenidas

75,80 75,80 66,48 57,50 71,50 67,38

Valor actual de energía y control de avenidas menos los beneficios de control de avenidas

160,39 161,22 162,90 164,45 158,55 154,86

NOTAS: Las inversiones de capital son acumuladas únicamente para el período hasta 1975 y no incluyen escalación de precios.

Los costos actuales mostrados son únicamente para las inversiones de capital causadas en el período hasta 1975, pero incluyen todos los gastos anuales y reposiciones provisionales, durante la vida de los proyectos. No se incluye escalación.

TABLA 4-11

COMPARACION DE PROGRAMAS

| PROGRAMA | Planta de Salvajina       |  | Interconexión                     |  | Valor Actual de los Programas  |  |
|----------|---------------------------|--|-----------------------------------|--|--|--|
|          | Capacidad Instalada<br>mw | Fecha de Instalación de la Planta<br>Requerida para la Interconexión | Deficiencia Máxima en CVC -<br>mw | Duración de la Deficiencia entre 1968-1976<br>Años | Incluyendo Costos y Beneficios de Control de Avenidas<br>Millones US\$ | Inversión de Capital Acumulado<br>Energía Sólomente<br>Millones US\$ |
| A        | 430                       | Nov 1970   | 190                               | 4  | 160,39   | 135,77   |
| B        | 407                       | Nov 1970   | 190                               | 3  | 161,12   | 127,88   |
| C        | 407                       | Ago 1972   | 190                               | 4  | 162,90   | 118,50   |
| D        | 430                       | Mayo 1974  | 280                               | 6  | 164,45   | 121,39   |
| E        | 430                       | Ago 1971   | 100                               | 2  | 158,55   | 119,12   |
| F        | 354                       | Mar 1972   | 130                               | 2  | 154,86   | 114,78   |

NOTA: Sobre datos de costo de capital y valores actuales ver Tabla 4-10.



TABLA 4-12

COSTOS DE LOS PROYECTOS DE ENERGIA SEGUN LAS  
CAPACIDADES CONSIDERADAS EN LOS VARIOS PROGRAMAS

|  | Costos Totales<br>de Construcción <sup>(1)</sup><br>(Equivalente en<br>US\$ Miles) |
|--|--|
| <b>PLANTAS</b>                                     |  |
| Salvajina - 430 mw (Proyecto Múltiple)             | 119,341  |
| Salvajina - 407 mw ( " " )                         | 117,317  |
| Salvajina - 354 mw ( " " )                         | 112,653  |
| Calima II - 200 mw                                 | 26,961   |
| Colegio II - 152 mw                                | 13,480   |
| Guatape II - 420 mw                                | 71,100   |
| San Francisco - 135 mw                             | 15,075   |
| Yumbo IV - 33 mw                                   | 5,610  |
| Plantas Hipotéticas - Programas B y C - 23 mw      | 5,040  |
| Planta Hipotética - Programa E - 65 mw             | 14,230   |
| Planta Hipotética - Programa F - 109 mw            | 23,900   |
| <b>LINEAS DE TRANSMISION</b>                       |  |
| Sistemas CVC-CHEC, Bogotá y Medellín Interconexión | 38,320   |

(1) Costos totales de construcción incluyendo ingeniería e imprevistos.

## CAPITULO 1

### INTRODUCCION

#### 1.1 ALCANCE DEL INFORME

Este informe tiene por objeto presentar el desarrollo más económico posible de Salvajina. Como quiera que este proyecto contribuye al control del río Cauca, y por tanto se refleja en el desarrollo del valle del río Cauca en general, en sí constituye una revisión de los programas anteriormente elaborados por la Corporación Autónoma del Valle del Cauca.

Los aspectos de control contenidos en este informe, se estudian únicamente en la extensión necesaria para permitir un diseño racional de la presa de Salvajina y sus obras accesorias.

#### 1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Salvajina es principalmente un desarrollo de energía y, como tal, ha sido estudiado en calidad de próximo proyecto factible para satisfacer las necesidades de energía y de capacidad de pico de los sistemas CVC-CHEC, Bogotá y Medellín interconectados, y para proveer una limitación razonable en la dependencia del sistema CVC de los otros sistemas.

Además, el proyecto múltiple de Salvajina, será la base para el control de las avenidas del río Cauca, y para hacer posible los futuros proyectos de irrigación y de desviación al Pacífico.

#### 1.3 ANTECEDENTES DEL PRESENTE ESTUDIO

Existen varios estudios sobre control de avenidas, generación de energía e irrigación, en el río Cauca. De ellos, los más importantes entre los iniciales fueron, el que sobre el desarrollo hidráulico del Valle del Cauca preparó la firma Parsons, Brinckerhoff, Hogan and MacDonald de New York en 1947 y los posteriores informes elaborados por OLAP de Bogotá entre 1947 y 1950, que cobijan planes generales para electrificación e irrigación del Valle del Cauca. El estudio más reciente y completo es el denominado "Desarrollo Unificado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del Cauca", fechado en 1956, preparado por OLAP, G&H y KTAM, al cual siguieron más tarde algunos estudios especiales sobre partes específicas del desarrollo, siendo el principal el informe sobre el proyecto de Timba presentado en 1958. Ellos se describen con mayor detalle en el Capítulo 3.

En resumen, estos informes proponen realizar el desarrollo de Salvajina por medio de una presa de concreto de 150 m de altura para generación de energía y control de avenidas, y la construcción en Timba

de una presa de tierra de 40 m de altura para generación, control de avenidas e irrigación, planeándose también la construcción de obras de diversa índole para recuperación de tierras, protección de inundaciones, etc.

Debido a la pequeña capacidad instalada en Timba, y a la elevada inversión necesaria para Salvajina, hasta ahora no ha sido posible realizar estos desarrollos, habiéndose en cambio puesto en ejecución o estudiado proyectos alternativos para generación en el río Calima.

No obstante, con base en los estudios para interconectar los sistemas CVC-CHEC, Medellín y Bogotá y la resolución de realizar esta interconexión, se ha hecho posible considerar la construcción de proyectos grandes que como Salvajina permitan hacer frente al crecimiento de carga combinado de los tres sistemas.

En consecuencia, la CVC, con la asistencia de Acres International Limited, como consultores, acometió los estudios para preparar un informe de factibilidad del proyecto múltiple de Salvajina, el cual se encuentra contenido en el presente trabajo.

#### 1.4 PROYECTO ADOPTADO

El proyecto que como consecuencia de estos estudios se adopta, comprende una presa de enrocado de 152 m de altura en el sitio de Salvajina, y una presa de tierra en el sitio de Timba de 22 m de altura. La presa de Salvajina tendrá un rebosadero de compuertas con canal de caída, ubicado en el estribo izquierdo y dos túneles de carga gemelos, en el estribo derecho, que llevarán el agua a una casa de máquinas de interior, situada al pie de la presa y que contendrá cuatro generadores de 107,5 mw y cuatro turbinas Francis. Una línea de transmisión de 230 kv llevará la energía a Cali, y una de 69 kv conectará con la línea existente que va a Popayán. A causa del rápido crecimiento de la carga de los sistemas interconectados, será necesario instalar las 4 unidades de una sola vez. Un embalse activo de 425 millones de m<sup>3</sup> se usará en forma combinada para generación de energía y control de avenidas.

Puesto que el embalse de Salvajina no puede por sí solo controlar las avenidas del río Cauca, para obtener la regulación necesaria, se requiere utilizar los 400 millones de m<sup>3</sup> de Salvajina en combinación con el embalse de Timba, el cual provee un almacenamiento de 140 millones de m<sup>3</sup> para control, únicamente. Para controlar los ríos tributarios del Cauca, que en cierta proporción contribuyen a las inundaciones, se propone un plan de mejoramiento de cauces, jarillones, canales y estaciones de bombeo. En conjunto, todas estas obras proveerán la protección necesaria para el desarrollo agrícola de la mayoría de las zonas inundables del Valle del Cauca.

## 1.5 COSTOS Y BENEFICIOS

El costo de capital del proyecto Múltiple de Salvajina, incluyendo líneas de transmisión y todos los costos indirectos, tales como imprevistos, ingeniería, aumento escalonado de costos durante la construcción e intereses durante ésta, es de \$519'813.000 y US\$101'970.000 o sea un costo total equivalente de US\$159'727.000, basado en un cambio de US\$1 = 9 pesos. De este costo total, 76,8% corresponde a generación de energía y 23,2% a control de avenidas. La planta de Salvajina producirá anualmente 1310 millones de kwh a un costo de 6,70 centavos/kwh (excluyendo la escalación de precios) o sea 7,44 US mills, entregado en los centros de carga. El costo de capital, (excluyendo la escalación de precios), que corresponde a generación de energía, viene a ser de US\$254/kw de capacidad instalada. A su vez la protección contra avenidas, permitirá el desarrollo agrícola de 51.860 ha de tierra que producirán un beneficio económico de \$96'735.000 (US\$10'750.000) por año.

Usando el método de costo separable-beneficio remanente resulta para Salvajina una relación de beneficio-costo total de 2,09 y separadamente para generación de energía y para control de avenidas, las relaciones de 1,77 y 3,14 respectivamente.

## 1.6 RESUMEN DE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las investigaciones geológicas y de ingeniería para las presas de Salvajina y Timba indican que estas obras, como parte integrante del proyecto múltiple de Salvajina, son técnicamente factibles. Los estudios de los programas de desarrollo, con base en la interconexión del sistema a los de CVC-CHEC, Medellín y Bogotá, indican que teniendo en cuenta los beneficios de control de avenidas atribuibles a Salvajina, este proyecto puede, muy económicamente, constituir el próximo proyecto de generación en el sistema CVC, después de la adición de una cuarta unidad térmica en Yumbo (Yumbo IV). Así, Salvajina sería el próximo proyecto grande en el sistema interconectado en Colombia. En el caso de que el desarrollo de San Francisco, en el sistema CHEC, se programara para construcción inmediata, Salvajina debe sucederle. Este último programa de instalación reducirá la dependencia de los sistemas CVC-CHEC de los de Medellín y Bogotá.

Para obtener un beneficio total del desarrollo múltiple, la primera unidad de Salvajina deberá entrar en línea a fines de 1970 o a mediados de 1971, y la presa de Timba deberá estar terminada para la misma fecha. El mejoramiento de los tributarios del Cauca debe programarse para construcción en un período de 10 años, empezando en 1969. Los diseños de ingeniería y trabajos de campo para la presa de Salvajina deben continuar sin interrupción, para permitir la adjudicación del contrato principal a principios de 1966.

Para evitar demoras, que causarían una deficiencia en el sistema CVC-CHEC durante 1967, la licitación del equipo principal de Yumbo IV deberá hacerse en Junio de 1965.

Igualmente, con miras a prevenir futuras deficiencias en los sistemas CVC-CHEC, los estudios referentes a los acuerdos contractuales entre las tres empresas interconectadas, CVC-CHEC, Medellín y Bogotá, así como los estudios de ingeniería para la interconexión, deberán continuarse con toda celeridad.

## CAPITULO 2

### DESCRIPCION DE LA REGION

#### 2.1 LOCALIZACION

La presa de Salvajina está situada en el alto Cauca, a unos 60 km al Sur de Cali, y 20 km al Sur de Timba, como se ve en la Figura 1. Los sitios de Salvajina y Timba están pues dentro de la zona de interés de la CVC, tal como se define en el Decreto No. 1707 de 1960 que incluye toda la hoya hidrográfica del alto Cauca.

#### 2.2 GEOGRAFIA Y FISIOGRAFIA

La parte central de Colombia está dividida de N a S por los tres ramales de la cordillera de los Andes, Occidental, Central y Oriental. Entre las cordilleras Central y Occidental está el valle del Cauca, una planicie de aluvión que bordea el río Cauca entre Timba y Cartago, formada por meandros y frecuentes inundaciones del río.

El valle del Cauca está por completo dentro de la zona de desarrollo de la CVC, y a causa de su tierra plana y fértil es adecuado para desarrollos futuros.

El valle del Cauca tiene una longitud de 200 km y está a una elevación de 900 a 1.000 m sobre el nivel del mar; su superficie es de 380.000 ha, o 395.000 ha incluyendo el valle de Risaralda. De Buga hacia el Sur, el ancho medio es de 30 km con un máximo de 40 km en Corinto. De Buga hacia el Norte, el ancho disminuye a 10 km más o menos.

La cordillera Occidental es la más baja de las tres. En el Departamento del Valle los picos más altos alcanzan alturas entre 3.800 y 4.200 m. En otras partes la altura varía entre 2.000 y 3.000 m con algunas depresiones a unos 1.800 m. La vertiente Occidental abarca una zona de ancho variable con un terreno inclinado, formando colinas de elevaciones entre 200 y 500 m, mientras que la vertiente Oriental es mucho más angosta, caracterizada por un descenso brusco hacia el valle, llegando en algunos puntos a las márgenes mismas del río Cauca.

La cordillera Central está formada por una serie de páramos o mesetas a elevaciones superiores a los 4.000 m en las partes más altas y en general superiores a los 3.000 m. El filo de la cordillera marca el límite entre los departamentos del Valle y el Tolima y es el límite oriental de la región de CVC.

La vertiente Occidental de esta cordillera hacia el valle del Cauca, comprende una zona de 30 a 40 km de anchura, con elevaciones entre los 1.000 y los 3.000 m. Hacia el Norte esta zona se amplía formando el Quindío, la mayor parte del cual está en el Departamento de Caldas con alturas variables entre los 1.000 y los 2.000 m.

El río Cauca, que nace en el Páramo de las Papas, en la vertiente Occidental de la cordillera Central, corre entre las cordilleras Central y Occidental en dirección Sur-Norte y vierte sus aguas en el río Magdalena, en el brazo de Loba, Departamento de Bolívar, después de cruzar los Departamentos del Cauca, Valle, Caldas y Antioquia.

Los primeros 70 km de su curso van en dirección Noroeste por cañones estrechos; luego su curso se dirige hacia el Norte siguiendo por unos 60 km a través de tierra ondulada y valles angostos. Al llegar a Timba, entra en la parte ancha y plana del valle del Cauca, continuando en dirección Noreste, formando numerosos meandros, en una longitud de 230 km hasta llegar a La Virginia, donde nuevamente entra en una región montañosa, y empieza su descenso a través de una serie de cañones hacia el Magdalena. La pendiente promedio del río es de 5 m/km dentro de la zona de embalse de Salvajina, y de 0,40 m/km entre Timba y La Virginia.

El río Cauca corre próximo al pie de la cordillera Occidental en casi toda la longitud del valle. Aun cuando en él desembocan numerosos ríos, los únicos tributarios de importancia en la margen izquierda, son el río Timba que afluye cerca al poblado del mismo nombre y el Risaralda que desemboca cerca a Cartago. En la margen derecha, en donde el Valle es mucho más ancho, los tributarios principales, son los ríos Ovejas, Palo, Amaime, Tuluá, Bugalagrande y La Vieja. Las avenidas periódicas del río Cauca y sus tributarios y las malas condiciones naturales de avenamiento, dan lugar a numerosas zonas pantanosas.

Las presas de Salvajina y Timba, ubicadas hacia la parte superior del valle, vienen a quedar muy bien situadas para controlar el régimen del río, y así conseguir la desecación y desarrollo agrícola del valle.

Los sitios de las presas de Salvajina y Timba, han sido levantados con todo detalle y sus mapas y planos topográficos forman parte del presente trabajo. Una relación de estos mapas se incluye en el Apéndice C.

## 2.3 GEOLOGIA

Las rocas más antiguas de la zona de Salvajina pertenecen a la formación de Diabasas del período cretáceo. Comprenden un conglomerado diabásico que aflora justamente aguas arriba del sitio de la presa de Salvajina, y lavas diabásicas que afloran a una corta

distancia al Oeste del sitio de la presa de Timba, y en otros lugares. Rocas sedimentarias del período terciario, descansan sobre la formación de Diabasas. En el valle del río Cauca, aguas arriba de Timba, las rocas sedimentarias corresponden a la formación del Cauca, (Eoceno-Oligoceno), que está compuesta de capas de lutita, conglomerados, arenisca-cuarzosa, y algunas vetas delgadas de carbón. El sitio de la presa de Salvajina yace sobre capas de lutita y arenisca cuarzosa. Las rocas han sido intensamente plegadas y dislocadas, pero no existen fallas importantes en el sitio de la presa. En esta formación se presentan incrustaciones ígneas de rocas ácidas, tales como diorita cuarzosa en el sitio de la cantera escogida para el material de la presa, aguas arriba de ésta y cuya intrusión ocurrió antes del plegamiento. Asimismo, un segundo tipo de rocas ígneas quedó incrustado después del plegamiento, constituyendo lomos e intrusiones de forma irregular, visibles en el sitio de la presa.

Por encima de las rocas primitivas, existen formaciones sedimentarias que constituyen la formación de Popayán (Plio-Pleistoceno) que cubre las colinas de Timba hasta Popayán. La parte superior de la formación contiene gran cantidad de material volcánico, la mayor parte del cual se ha desintegrado en su sitio, formando una mezcla rojiza de partículas del tamaño de las arcillas y de guijarros. Los sedimentos inferiores están menos descompuestos, consolidados hasta cierto punto, y contienen menos restos volcánicos. En el sitio de Timba, los conglomerados de la formación Popayán están cubiertos por los sedimentos descompuestos de la misma formación. Estos conglomerados forman el estribo de la presa, y se extienden por debajo de los terrenos aluviales del valle.

La mayor parte de los valles de los ríos, contienen aluviones de reciente formación. Al Norte de Timba, donde el río tiene una gradiente suave y el valle es ancho, la capa aluvial es aparentemente muy profunda. Aguas arriba de Timba, en donde el valle es estrecho y la pendiente del río pronunciada, el aluvión es menos profundo.

Los procesos de descomposición y erosión, han originado depósitos de estos materiales que cubren los flancos y el fondo de los valles. Como es de esperar por su origen, estos depósitos son en general heterogéneos. En el sitio de la presa de Salvajina se presentan varios grandes depósitos de este material.

Tal como es característico de las regiones tropicales, las rocas que se encuentran en Salvajina, aun las más duras como la diorita y arenisca cuarzosa, están descompuestas hasta considerable profundidad. Muchas capas de roca están cubiertas por una gruesa capa de material residual y en la mayoría de las partes, a la capa desintegrada sigue una zona de transición en la cual la roca conserva la mayor parte de sus características y resistencia. Sin embargo, las juntas de las rocas de la dura y quebradiza arenisca cuarzosa, están abiertas y aparentemente desintegradas hasta una considerable profundidad.



Los resultados de las exploraciones del suelo y subsuelo, en los sitios de las presas y zonas de préstamo, se consignan en el Apéndice A.

## 2.4 CLIMA E HIDROLOGIA

La región de CVC está localizada entre los 2° y 6° de latitud Norte. Diferencias en altitud, variaciones en fisiografía y distancias variables al Océano Pacífico, determinan gran variedad de climas. En tanto que la zona de la costa es caliente, húmeda y lluviosa, el valle del Cauca, a 1.000 m sobre el nivel del mar, tiene un clima agradable con una temperatura media de 24°C a través de todo el año, con una humedad relativa de 60 a 65%, y lluvias moderadas. En las faldas y picos de las cordilleras, las condiciones climatológicas varían grandemente, desde la temperatura cálida del valle hasta el frío de los páramos.

El valle del alto Cauca, situado en la zona de las calmas ecuatoriales, está sujeto únicamente a vientos moderados. Los huracanes tropicales son desconocidos, y las olas de frío nunca bajan más al Sur del paralelo 8° de latitud Norte. Las lluvias torrenciales son menos severas que en zonas situadas en otras latitudes. Estaciones secas y lluviosas ocurren con cierta regularidad, bajo la influencia del sistema de circulación ecuatorial. En la parte plana del valle, la estación seca ocurre al principio y hacia la mitad del año, mientras que, en la zona de embalse por arriba de Timba, ocurre únicamente en la mitad del año. La estación lluviosa en el valle alto, que es el período crítico para el control de avenidas por los embalses de Salvajina y Timba, ocurre en Octubre, Noviembre y Diciembre y a veces se extiende hasta Enero. El período seco más severo es de Junio a Septiembre, que es crítico en cuanto a generación de energía e irrigación.

Las lluvias se caracterizan por fuertes precipitaciones durante períodos cortos, sobre zonas reducidas, de manera que grandes lluvias registradas en una estación raramente coinciden con grandes precipitaciones en otra.

A pesar de que el bajo promedio de lluvias torrenciales en el Valle del Cauca da como resultado hidrogramas de flujo de menor magnitud que en zonas de otras latitudes, la intensidad de la avenida debe considerarse en relación con la fisiografía de la tierra. Así, en la parte plana del valle, alrededor del 25% de la zona está sujeta a fuertes inundaciones debidas al Cauca y sus tributarios. Al mismo tiempo, en los períodos secos la cantidad de lluvia es inadecuada para los cultivos que se cosechan en la zona.

Los ríos de la zona arrastran una considerable cantidad de sedimentos, particularmente durante los períodos de alta precipitación y en las partes desforestadas. Por lo tanto, para todos los

embalses que hayan de construirse en la región, deberá preverse una adecuada capacidad para el almacenaje de sedimentos.

Una descripción detallada de la hidrología de la cuenca del río Cauca, incluyendo datos básicos, conjuntamente con un análisis de la medida de sedimentos se da en el Apéndice B.

## 2.5 VEGETACION Y AGRICULTURA

El terreno ocupado por las hoyas de los embalses de Salvajina y Timba es quebrado u ondulado, y solamente se usa para propósitos agrícolas en una escala muy limitada.

Muchas de las colinas están desnudas de árboles y tienen únicamente una capa de pastos. En los numerosos valles, siguiendo los cauces de los riachuelos, la vegetación es más densa.

En el Valle del Cauca, las colinas de ambas cordilleras están casi por completo deforestadas y la zona plana, desde hace mucho tiempo, está dedicada a la agricultura y ganadería.

El uso actual de la tierra en la planicie del valle se discute detalladamente en un informe de la División de Estudios Regionales y Planeación de CVC, que se agrega a este informe como Apéndice D. En este momento 43% de la tierra se dedica a cosechas, 40% a pastos para ganadería, 15% a zonas urbanas, y el 2% restante está inculto. Los cultivos principales son caña de azúcar, café, arroz, algodón, plátano, cacao, frijoles, maíz, yuca, frutos, y hortalizas. El cultivo más importante es la caña, al cual está dedicado por lo menos el 20% de la tierra plana. En las zonas frías, entre los 2.300 y los 3.400 m de altura, sobre todo en la vertiente Occidental de la cordillera Central, se cultiva papa, trigo, cebada y hortalizas.

La región del valle ocupa una posición destacada en la agricultura y ganadería del país. En el curso de 1959 Caldas ocupó el primer lugar, con el Valle en el segundo puesto, ocupando las dos primeras posiciones, y conjuntamente alcanzaron el 27% de la producción nacional.

## 2.6 INDUSTRIA

La industria en la región de CVC se ha desarrollado al punto que ocupa el tercer lugar entre los Departamentos de Colombia, después de Cundinamarca y Antioquia. En la región, Cali es el principal centro manufacturero, que consume el 75% de la demanda de energía en CVC. Los factores determinantes del desarrollo industrial son: un clima favorable, facilidades de transporte, contar con un puerto como Buenaventura, el principal de Colombia, y la existencia de un mercado

local importante. En años pasados, estos factores fueron suficientes para estimular un desarrollo industrial, a pesar de la escasez de energía.

Desde la construcción de la planta de Anchicayá en 1955, se ha mantenido un suministro adecuado de energía para satisfacer el rápido crecimiento industrial, habiendo este hecho constituido un incentivo para el desarrollo manufacturero de la región.

En la zona CVC se explotan además algunos minerales, tales como oro, platino, azufre, mercurio, plomo, cobre y zinc. La minería del carbón es una actividad importante, a cuyo respecto se han escrito varios informes, el último de los cuales fue elaborado en 1963-64.

## 2.7 TRANSPORTES

Aun cuando el transporte en la zona de CVC se compara favorablemente con el del resto del país, no obstante presenta todavía algunas deficiencias. Actualmente se construye una carretera entre Buga y Buenaventura y Cali-Buenaventura, que reducirá la distancia del puerto a Bogotá. Hasta el momento esta carretera está construida hasta Loboguerrero y el sector más difícil, entre Loboguerrero y la Delfina, se espera terminarlo en 1965. El tramo entre la Delfina y Buenaventura será reconstruido, pero actualmente ya puede prestar servicio.

El sistema ferroviario interconecta los Departamentos de Caldas, Valle y Cauca, el puerto de Buenaventura y el Departamento de Antioquia. Una línea férrea sirve actualmente a Timba y Suárez, población esta última ubicada 2 km aguas abajo del sitio de la presa de Salvajina.

Buenaventura, puerto principal de Colombia, maneja la mayor parte de las importaciones y exportaciones de Colombia. Actualmente se inicia un programa de mejoramiento de las facilidades portuarias, financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo. La capacidad de carga de las mayores grúas del puerto es de 60 toneladas.

## CAPITULO 3

### OBJETIVOS DEL PROYECTO Y RESEÑA DE LOS ESTUDIOS

#### 3.1 INTRODUCCION

Por razón de la naturaleza de los objetivos de la CVC, cualquier desarrollo hidráulico dentro de la zona de su jurisdicción debe estudiarse en relación a cuatro objetivos principales, a saber: suministro de energía, control de avenidas, avenamiento e irrigación. Debido a la importancia del valle del Cauca dentro de cualquier plan de desarrollo regional, se ha centrado la atención en las presas de Salvajina y Timba, como las únicas capaces de satisfacer simultáneamente estos cuatro objetivos principales.

Es pues esencial que estos proyectos sean considerados en calidad de proyectos de fin múltiple, para lograr el óptimo aprovechamiento de las condiciones de los sitios de Salvajina y Timba, cuya localización y embalses respectivos se muestran en las Figuras 1 y 2.

#### 3.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

##### 3.21 General

El proyecto múltiple de Salvajina tiene por objetivos los siguientes:

(a) Hacerle frente a la demanda combinada de los sistemas interconectados CVC-CHEC, Medellín y Bogotá, restringiendo la dependencia de los sistemas CVC-CHEC de los otros, dentro de límites razonables.

(b) Proveer las bases para el control de avenidas y avenamiento en el valle del Cauca.

(c) Proveer la regulación del río Cauca para fines de irrigación.

(d) Proveer la regulación del río Cauca que permita hacer la desviación del Cauca al Pacífico (Proyecto Hidroeléctrico).

##### 3.22 Demanda de Energía

A la terminación de la Planta de Calima I, ahora en construcción, el sistema CVC-CHEC tendrá en 1965 una capacidad segura de 337 mw. Tal como se analiza en el Capítulo 4, esto satisfará la demanda hasta 1967. Puesto que ahora se estima que la interconexión

de los sistemas, originalmente programada para ser terminada a mediados de 1967, no podrá estar en servicio sino a principios de 1968 o aun más tarde, se requerirá una fuente adicional de energía que permita al sistema CVC hacerle frente a la demanda en tanto funciona la interconexión. Esto podría lograrse mediante la adición de una nueva unidad térmica de 33 mw a la Planta de Yumbo (Yumbo IV) en la primera mitad de 1967, o bien llevando a cabo la construcción de la hidroeléctrica de Calima II para terminarla a principios de 1968. Posteriormente, la deficiencia del sistema CVC-CHEC sería provista por los sistemas de Medellín y Bogotá, requiriéndose además construir una planta hidroeléctrica grande (Salvajina o Calima II) que permita al conjunto CVC-CHEC reducir su grado de dependencia de los otros sistemas y que disminuirá la capacidad de las líneas de interconexión.

### 3.23 Control de Avenidas y Avenamiento

Como se muestra en informes anteriores, el río Cauca frecuentemente se desborda, lo cual se evidencia comparando las capacidades del canal en la Balsa y Juanchito con las correspondientes áreas afluentes. En efecto, mientras que el área tributaria en Juanchito es 65% mayor que en la Balsa, la capacidad del canal es apenas 30% mayor. Esta situación causa desbordamientos sobre la zona plana entre la Balsa y Juanchito, que produce una regulación natural de las avenidas. El estudio de los datos de inundaciones pasadas hace ver que la descarga de pico en Juanchito es generalmente menor que en la Balsa.

Como las márgenes del río Cauca son más altas que las tierras vecinas, los daños de las avenidas se extienden más allá de la zona de inundación directa, ya que el agua atrapada detrás de las márgenes del río hace subir el nivel freático en zonas adyacentes a las de inundación. Además, a causa del represamiento de los tributarios por el río Cauca, la inundación se extiende sobre una zona considerable en las desembocaduras, además de que los cauces inadecuados de estos tributarios causan a menudo inundaciones aun con niveles bajos del Cauca. Es, pues, evidente que para una protección adecuada debe trabajarse tanto en el Cauca como en los tributarios.

Ya que virtualmente toda la tierra que se inunda es rural, el control de avenidas debe llevarse únicamente hasta el punto en que el riesgo de inundación no inhiba su explotación agrícola, para lo cual basta proveer una protección contra avenidas de una periodicidad de una vez cada 10 años, lo cual, para cosechas semestrales, corresponde a la pérdida de una cosecha en 20 años o sea 95% de protección.

Hacemos énfasis en que este grado de protección no es en modo alguno apropiado para zonas urbanas, y que debe establecerse la debida reglamentación para que no se urbanice en estas zonas, protegidas sólo parcialmente.

Puesto que la mayor parte de la tierra afectada por inundaciones no tiene avenamiento apropiado, se requerirá corregir los tributarios y construir canales de avenamiento, jarillones y estaciones de bombeo. Esto permitirá el desarrollo total de las tierras protegidas y el uso apropiado de la irrigación, tanto en estas zonas como en las situadas a mayor elevación, que drenarían naturalmente hacia las zonas más bajas, con perjudiciales efectos.

### 3.24 Irrigación

La precipitación pluvial promedia en la parte plana del valle es de 1070 mm por año. Aun cuando esta lluvia sería suficiente para la mayoría de los cultivos, con la excepción de arroz y caña de azúcar, por no ser uniforme su distribución durante el año y por los años en que la precipitación es inferior al promedio, hay lugar a períodos de sequía que perjudican las siembras.

Para algodón, frijoles y maíz, la falta de regularidad en las lluvias hace que los agricultores demoren las siembras, reduce el período de crecimiento, y como consecuencia el rendimiento, habiendo sido necesario en algunos casos el repetir la siembra. Ya que de acuerdo con los análisis, en general el suelo es bueno, la adición de agua por medio de la irrigación es altamente ventajosa. Para arroz y caña, la irrigación es una necesidad, y es corrientemente utilizada por los productores grandes.

Los estudios contenidos en informes anteriores indican que el período crítico de irrigación se presenta en Julio, Agosto y Septiembre, que es precisamente la época durante la cual no se requiere disponer en el embalse de capacidad para control de avenidas. Bajo el supuesto de un desarrollo integral de la parte plana del valle para fines agrícolas, el agua necesaria para las cosechas en este período sólo puede atenderse mediante la provisión de un suministro adecuado de agua de irrigación del río Cauca y sus tributarios. Esto puede lograrse, al mismo tiempo que se mantiene un flujo mínimo satisfactorio en el río, soltando el agua almacenada en los embalses.

El Informe Unificado de 1956, y posteriormente el Informe de Timba de 1958, proponen un sistema de irrigación por medio de dos canales alimentadores que se derivan en la salida del tunel de fuga de la casa de máquinas de Timba, el uno por la margen izquierda del río hasta Cali y el otro por la margen derecha hasta Sonso. Las tierras a niveles más altos de estos canales se regarían por bombeo. Las tierras de Buga hasta Cartago se regarían por los tributarios, o bombeando desde el río Cauca. De esta manera, la irrigación se hará extensiva a la mayor parte de la zona plana del Valle.

Para desarrollar este plan, se requiere una estructura de derivación en el sitio de Timba. La existencia de una presa en dicho lugar facilita y reduce el costo de la bocatoma para los canales.

Puesto que Salvajina está localizado a unos 25 km aguas arriba de esta bocatoma, su función en cuanto a irrigación se refiere, consistirá en la regulación del caudal del río en las estaciones secas, ya sea por sí sola, o en combinación con la presa de Timba.

### 3.25 Desviación del Cauca al Pacífico

En Noviembre de 1957 los ingenieros OLAP-G&H-TAMS prepararon un pequeño informe describiendo un posible aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Dagua, por cuyo cañón se desarrollan tanto el ferrocarril como la nueva carretera de Cali a Buenaventura. Este proyecto contempla la desviación de las aguas del río Cauca por un túnel de 20 km que empieza en Vijes, 30 km al Norte de Cali. Se consideró en ese entonces que la construcción previa de Timba y Salvajina habría de proveer la regulación del río Cauca, que hiciera posible la desviación de un caudal de 70 a 110 m<sup>3</sup>/s.

La utilización de este volumen de agua con una caída de 950 m entre el Valle y el Pacífico, permitiría una generación de 1'000.000 kw. Sin embargo, el río sin regulación y con un mínimo de 53 m<sup>3</sup>/s, es inadecuado para atender la irrigación y permitir la desviación. Necesariamente, la regulación del río por medio de los embalses de Salvajina y (o) Timba, es el requisito indispensable para hacer posible esta desviación.

### 3.26 Objetivos Varios

Los embalses de Salvajina y Timba tendrán el efecto de aumentar el caudal mínimo del río Cauca, y reducir considerablemente la sedimentación y contenido orgánico del agua. Además, durante los períodos secos, la temperatura del agua será menor. Estos factores constituirán un beneficio indirecto para el uso industrial y doméstico del agua y simplificarán el tratamiento de aguas residuales para Cali y otras ciudades a lo largo del río.

El lago del embalse de Salvajina podrá usarse ventajosamente para la pesca, natación y navegación deportiva, al paso que la clarificación del agua y la regulación del río harán también posible estas actividades a lo largo de su curso.

A pesar de los buenos medios de transporte, ferrocarril y carretera paralelos al río, una vez regulado éste, será posible el transporte de materiales voluminosos, como carbón, por la vía fluvial hasta Vijes.

### 3.3 INFORMES Y ESTUDIOS ANTERIORES

No obstante que los estudios para una presa en Salvajina se remontan al año de 1943, cuando el ingeniero E. Santo Potes elaboró un esquema inicial, el primer estudio de conjunto fue hecho por Parsons Brinckerhoff, Hogan and MacDonald, de New York. Los resultados se consignaron en un informe titulado "Proyecto A-987 y B-1006.5 para regadío en el Valle Central", publicado en 1947 por la Secretaría de Agricultura y Fomento del Departamento. Estos trabajos contemplaban el control de avenidas, avenamiento, irrigación y energía, particularmente en referencia con los sitios de Salvajina y Timba. Los estudios más detallados se hicieron respecto al sitio de Salvajina, para presas con alturas de 70, 87, y 112 m, de las cuales la primera se consideraba ser la más aconsejable por dicha época.

Posteriormente la firma de ingenieros de Bogotá, OLAP, realizó para la Secretaría de Obras Públicas del Departamento, un trabajo titulado "Proyecto General de Electrificación". En él se estudiaron varios tipos de presas en Salvajina, con altura de 114 m. Además, incluía un proyecto preliminar de irrigación y avenamiento en el valle del Cauca.

Estos estudios fueron ampliados por OLAP bajo un contrato con el Departamento del Valle, en un informe que se llamó "Plan General de Irrigación, 1950", el cual contiene estudios sobre los aspectos físicos, sociales y agrícolas, y sobre proyectos de irrigación y regulación del río Cauca, con especial atención a los embalses de Salvajina y Timba.

Otros trabajos hechos por OLAP que complementan los anteriores, son el "Proyecto Preliminar de Irrigación por el río Timba", que contempla la irrigación de una zona de 17.350 ha entre Robles y la carretera a Puerto Tejada, el "Proyecto de Aguablanca" (ya construido) para la recuperación de 7.000 ha en la margen izquierda del río Cauca, entre Navarro y Cali, que comprende control de avenidas, irrigación 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.

Una misión del IBRD, en 1955, en un informe titulado "La Corporación Autónoma Regional del Cauca y el Desarrollo del Valle del Alto Cauca", trató en forma preliminar los problemas de energía, control de avenidas y avenamiento.

El estudio más reciente y de conjunto es el contenido en el informe "El Desarrollo Unificado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del Cauca", fechado en Enero de 1956. Fue preparado para la CVC por las firmas de ingenieros consultores OLAP, de Bogotá, Gibbs & Hill, y Knappen, Tippetts, Abbett and McCarthy, de New York. El informe, al tratar con el desarrollo general del valle, suministra



informaciones y recomendaciones para desarrollos de energía, control de avenidas, irrigación y avenamiento del valle. La mayor parte de la información que comprende es aún apropiada. El informe llega a la conclusión que el proyecto de Salvajina puede aprovecharse para energía y control de avenidas y que el de Timba puede proveer beneficios en irrigación adicionales a los de generación y control. Se concluye que Timba debería construirse primero, a causa de sus grandes ventajas para control de avenidas, irrigación y avenamiento, aun cuando Salvajina pueda 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 de caída en el estribo derecho y una casa de máquinas de pie de presa con una capacidad inicial de 180 mw y final de 270 mw. El volumen activo del embalse lo fija en 1050 millones de m<sup>3</sup> con 250 millones para control de avenidas. No se hicieron perforaciones en el sitio de la presa en ese tiempo, pero se preparó un mapa geológico de la zona por los geólogos consultores F.E. Fahlquist en 1947 y F.A. Nickell en 1955. Sin embargo, los detalles del proyecto estaban basados en el supuesto de que Timba se construyera primero.

En 1958 se produjo por las mismas firmas un informe de factibilidad titulado "Proyecto de Timba" que propone la construcción de un proyecto múltiple en este sitio, con un embalse de 675 millones de m<sup>3</sup>, con un volumen activo de 430 millones de m<sup>3</sup> para control de avenidas y generación, de los cuales 305 millones se utilizarían para el control durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero. Adicionalmente, un sistema de jarillones y cortes de curvas en el río proveería los medios para aumentar la capacidad de descarga del río sin causar inundaciones. El proyecto dedicaba el 70% de su costo a generación con una capacidad instalada de 60 mw, la cual eventualmente podría ser aumentada a 90 mw al construir Salvajina. En el túnel de fuga se proveían compuertas para desviar agua a los canales ribereños de irrigación por las dos márgenes del río. El proyecto además proveía la regulación necesaria para hacer posible la desviación al Pacífico. El informe, fechado en Abril de 1958, que estaba destinado a sustentar una solicitud de crédito al IBRD, contiene importantes informaciones sobre control de avenidas, irrigación 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.

La inclusión de las presas de Salvajina y Timba fue igualmente considerada en el informe "Desviación del Cauca al Pacífico" en 1957, de OLAP, G&H, y TAMS, y en el "Plan Nacional de Electrificación 1964-1975" preparado por Electricité de France en 1961-62.

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 instalada, se vió que Timba no podía hacerle frente al incremento de la demanda de CVC,

pues habría requerido la construcción simultánea de otra planta. Se tomó entonces la decisión de diferir a Timba, y se propuso la construcción de Calima II, para cuyo proyecto se preparó un informe de factibilidad en Junio de 1963. Este informe demostró la necesidad de una pronta construcción de Calima II, seguida por Salvajina.

En 1963, por sugerencia y determinación del IBRD, 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 "Memorándum: 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 terminadas a mediados de 1967, constituyendo la base para la decisión de interconectar los sistemas.

Como resultado de lo anterior y con el objetivo de reducir a un mínimo el endeudamiento de Colombia durante los próximos 5 a 6 años, 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 en la planta de Yumbo, de 33 mw. Posteriormente, la energía sería suministrada a CVC-CHEC por los sistemas de Medellín y Bogotá. En el Apéndice E de este estudio, (Bibliografía), se incluye la lista de los informes relativos a los proyectos hidroeléctricos de los otros sistemas.

Una consecuencia significativa de la interconexión es que las plantas para el sistema interconectado pueden ser de mucha más capacidad que las requeridas para los sistemas independientes. Fue entonces cuando CVC decidió que Salvajina debería ser la próxima planta a estudiar, ya que no solamente tendrá el tamaño requerido para atender la demanda de los sistemas combinados, sino que además provee la regulación del río.

### 3.4 ESTUDIOS ACTUALES

#### 3.41 Información General

Los presentes estudios del proyecto múltiple de Salvajina se iniciaron a fines de 1963, por el Departamento Hidroeléctrico de CVC, con la asistencia de la firma de consultores Acres International Limited de Niagara Falls, Canadá, la cual ha suministrado además personal especializado para ciertos trabajos. El objetivo principal de los estudios es el de determinar la factibilidad del desarrollo de Salvajina y preparar un programa para su construcción, como próximo proyecto de CVC.

### 3.42 Geología e Investigación de Materiales

Teniendo en cuenta la altura de la presa de Salvajina, se está llevando a cabo un programa completo de exploraciones geológicas, tanto en el sitio como en las zonas de préstamo de materiales. Este programa comprende: mapas de la superficie, perforaciones con broca de diamante, apiques, perforaciones de gran diámetro, socavones, apertura de trincheras con bulldozer y pala de arrastre, tanto para las fundaciones como para las zonas de préstamo. Estos materiales se someten a ensayos de laboratorio y posteriormente se hacen exploraciones en el sitio para confirmar los resultados.

Las exploraciones, ensayos y trabajos de laboratorio para la presa de Timba ya fueron hechos previamente, no habiéndose adelantado nuevas investigaciones en esta ocasión.

### 3.43 Investigaciones Hidrológicas

Con respecto a la generación de energía, se ha hecho un estudio del aprovechamiento combinado de los caudales de las plantas hidroeléctricas, tanto existentes como propuestas para construcción pronta, en los sistemas de Bogotá y Medellín, de CHEC y CVC, utilizando los datos suministrados por las respectivas empresas.

Los hidrogramas preparados por Ingetec, G&H, y TAMS, se usaron para el diseño de los rebosaderos de Salvajina y Timba y de las obras de desviación. Se hicieron estudios de sedimentación para estimar la que se depositará en los embalses. Se estudiaron los registros de caudales del río Cauca en Suárez, la Balsa, Juanchito y varios tributarios arriba de Buga, a fin de determinar la naturaleza y posibilidades del control de avenidas y los requisitos de irrigación en el valle. Se establecieron nuevas estaciones de aforo y se hicieron estudios para determinar los caudales que puedan derivarse de los ríos Ovejas y Pescador, al embalse de Salvajina. Se obtuvieron además datos meteorológicos adicionales.

Los estudios de suelos que se habían hecho en 1957, 1963 y 1964 por CVC, se utilizan para ayudar a demarcar las zonas inundables.

### 3.44 Estudios Topográficos

Los mapas topográficos disponibles al comienzo de los estudios, eran aeromapas del Instituto Agustín Codazzi en escala 1:10.000, con curvas de nivel cada 25 m y, además, mapas del sitio de la presa, con curvas cada 16 m hasta la elevación 1160 m, y algunos con curvas cada 2 m sobre parte del sitio de la presa, preparados por Parsons, Brinckerhoff, al igual que mapas con curvas cada 5 m y cada 2 m, del sitio de Timba. No existe ningún plano topográfico general del valle del río Cauca.

Durante el curso de los presentes estudios, la CVC levantó planos topográficos adicionales. Estos comprenden mapas del sitio de Salvajina con curvas a 2 m y la localización y levantamientos del río Cauca, zonas de préstamo, y de las desviaciones del río Ovejas. Igualmente se levantaron los tramos inferiores de algunos de los afluentes del Cauca entre Timba y Cali. Se adelantan levantamientos aerofotogramétricos de los embalses de Salvajina y Timba.

### 3.45 Investigaciones Agrícolas

Para calcular el valor de los beneficios provenientes del mejoramiento agrícola merced al control de avenidas, la División de Planeación y Estudios Regionales de la CVC hizo los estudios correspondientes, teniendo en cuenta el valor de la tierra, los ingresos provenientes de su mejoramiento y los actuales y futuros esquemas de distribución de cultivos.

### 3.46 Estudios de Energía

Los estudios de energía se hicieron asumiendo que Salvajina operará en un sistema interconectado, considerando las plantas existentes y en proyecto y el efecto combinado de los caudales y embalses dentro del sistema. Se consideraron diversos programas de construcción de plantas y así se definió la capacidad de Salvajina.

Para la presa de Salvajina, se estudiaron varios tipos, escogiéndose el de relleno de roca por ser el más económico y se definió la altura respectiva. Se determinó además la disposición general más ventajosa para el proyecto y, dada la gran altura de la presa, se hicieron cuidadosos estudios para la cimentación de la misma y para determinar la disponibilidad y calidad de los materiales para su construcción.

También se dió consideración a la desviación de los ríos Ovejas y Pescador al embalse de Salvajina, así como al efecto de control para inundaciones de los dos embalses y se estableció la disposición del proyecto de la presa para control de inundaciones en Timba. Se revisaron las conclusiones del informe de desarrollo de 1956, y las del informe de Timba de 1958, en relación con el alcance y capacidad para control de inundaciones e irrigación. Con base en todos estos estudios, se elaboró un proyecto de fin múltiple, determinándose el costo aproximado, la imputación del mismo y factibilidad de financiación.

### 3.47 Estudios de Interconexión

En 1964, con base en el borrador del informe sobre interconexión de sistemas antes mencionado, las empresas de Bogotá y Medellín y CVC celebraron dos contratos para servicios de ingeniería, con miras a construir y terminar las líneas necesarias y sus instalaciones complementarias, para mediados de 1967, (en la actualidad se considera no podrán serlo antes de comienzos de 1968). Uno de estos contratos, incluyendo a CHEC como participante, se llevó a cabo con International Middle West Service Co., de Chicago, firma que deberá estudiar y tener listas para mediados de 1965 las recomendaciones para el acuerdo de operación entre los sistemas. El segundo contrato fue firmado con un consorcio integrado por Merz & McLellan de Londres, Ingetec de Bogotá, e Integral de Medellín, y según él se estipula llevar a cabo un estudio técnico detallado de la interconexión de los sistemas, de las instalaciones para transmisión necesarias, y la preparación de planos y especificaciones para licitación.

## CAPITULO 4

### DESARROLLO DE ENERGIA

#### 4.1 INTRODUCCION

A la terminación de Calima I, a mediados de 1965, el sistema CVC tendrá una capacidad de 269 mw. El sistema está ya interconectado a 115 kv a la central hidroeléctrica de Caldas (CHEC) que tiene una capacidad de 64 mw. Además, se están haciendo arreglos para la interconexión a 69 kv entre CVC y el sistema del Cauca (CEDELCA) que tiene ahora una capacidad de 4 mw. La localización y extensión de estos tres sistemas se indica en la Figura 3, y sus instalaciones de transmisión en la Figura 4. Una vez hecha la interconexión con el Sur, toda la región desde Manizales a Popayán será servida por un sistema que en este informe se llamará el sistema CVC-CHEC.

La demanda de pico del sistema CVC-CHEC podrá satisfacerse con las capacidades instaladas actualmente (incluyendo la planta de Calima I) hasta principios de 1967, de manera que para entonces se requerirá una nueva planta. Entre las alternativas en consideración están, una adición térmica en Yumbo de 33 mw que podría terminarse para mediados de 1967, el proyecto de Calima II, que podría estar en operación a principios de 1968, y la planta de San Francisco, que podría entrar en servicio a mediados o fines de 1968.

A causa de la magnitud del proyecto de Salvajina, no es posible terminar su construcción y la instalación de la primera unidad hasta finalizar 1970. En consecuencia, es necesario proceder inmediatamente con la construcción de una o más de las plantas mencionadas, para que estén terminadas en 1967 y 1968.

Si por otra parte, la interconexión con Bogotá y Medellín se completa a principios de 1968, será necesario para el sistema CVC-CHEC hacerle frente a su propia demanda hasta esa fecha, lo cual puede lograrse mediante la construcción de Yumbo IV. De ahí en adelante, el sistema CVC-CHEC recibirá tanta capacidad de pico como energía de los otros sistemas. Sin embargo, para limitar el grado de dependencia de CVC-CHEC de los otros sistemas dentro de un límite razonable para el período 1970-1971, y también para reducir la capacidad de transmisión del sistema interconectado, CVC debe proceder inmediatamente a la construcción de una hidroeléctrica grande, tal como Salvajina. Más aún, la planta de Salvajina tiene la ventaja de disponer de una capacidad tal, que puede hacerle frente a la demanda combinada del sistema interconectado por un período de tiempo razonable.

Puesto que Salvajina operará dentro del sistema interconectado, todos los estudios se han hecho considerando los tres sistemas

como una sola unidad. Los diferentes programas de construcción de plantas están basados en servir la demanda combinada de los tres sistemas. Así pues, la capacidad instalada de Salvajina y la fecha de comienzo de su operación en cada programa, se determinaron teniendo en cuenta su ventaja por los beneficios en el intercambio de energía y capacidad. Además, la factibilidad económica de Salvajina se analizó en comparación tanto con proyectos alternativos del sistema CVC-CHEC, como con otras alternativas de los sistemas de Bogotá y Medellín. Las comparaciones se hicieron sobre la base de los valores actuales, incluyendo el costo de la interconexión.

El costo considerado para Salvajina está basado en la parte correspondiente a energía. Para el análisis financiero final se incluyen los costos y beneficios correspondientes a control de avenidas. Los estudios de energía están basados en el desarrollo de los sistemas hasta 1975. Este es un período suficientemente largo para determinar la economía de las varias alternativas; tomar en cuenta un período más largo, de acuerdo con las condiciones actuales de desarrollo de energía en Colombia, no es práctico.

La capacidad instalada más económica, y la altura y volumen activo del embalse se determinaron por comparación con una planta térmica equivalente, asumiendo una operación del embalse de acuerdo con una curva de control de caudal.

Se hicieron estudios para investigar la factibilidad económica de desviar agua del río Ovejas y sus tributarios al embalse de Salvajina, para aumentar la generación de energía.

#### 4.2 ESTUDIOS DE INTERCONEXION DE LOS SISTEMAS

Los sistemas combinados de CVC-CHEC, Bogotá y Medellín, representan alrededor de las  $2/3$  partes de la generación total de Colombia. Como puede verse en la Figura 3, los centros de carga de Medellín y Bogotá están concentrados alrededor de las dos ciudades, mientras que en el sistema CVC-CHEC la carga se distribuye a lo largo del Cauca, desde Popayán a Manizales, con un poco menos del 75% del total en la zona Cali-Yumbo.

Los estudios de la factibilidad de interconectar estos tres sistemas con una línea de transmisión de alto voltaje se iniciaron en 1963 como una condición del IBRD. Estos estudios fueron hechos por Ingetec Ltda. e Integral Ltda., y culminaron en un informe preliminar fechado en Noviembre 30 de 1963. Este informe compara la economía de varias alternativas de desarrollo de los tres sistemas considerando la interconexión en diferentes épocas y también los programas sin la interconexión. El informe demostró la economía de la interconexión y en esencia propuso realizarla lo más pronto posible, que por entonces se creyó lo sería a mediados de 1967.

Sobre la base del informe anterior, las tres empresas de energía procedieron a contratar los estudios de ingeniería que permitieran la construcción de la interconexión en el menor tiempo posible. En consecuencia, las empresas de Bogotá y Medellín y CVC celebraron en 1964 dos contratos para servicios de ingeniería, así: un contrato con International Middle West Service Company de Chicago, por el cual las tres empresas y ELECTROAGUAS, ésta en representación de CHEC, encomendaron a dicha firma el estudio de los detalles contractuales para la posesión y operación del sistema por los tres grupos. La firma contratista tiene programado rendir para Julio de 1965 un informe de varias alternativas de convenios que se consideren practicables y hacer las respectivas recomendaciones. Llegado a un acuerdo, los consultores prepararán un borrador de contrato, probablemente a fines de 1965; el otro contrato, celebrado con un consorcio de ingenieros consultores que comprende a Merz McLellan de Londres, Ingetec e Integral (IIMA), comprende todo el trabajo de ingeniería necesario para la planeación y diseño, que permita construir la línea de transmisión, subestaciones y demás instalaciones complementarias. La entrega de las especificaciones para el equipo principal se espera llevarla a cabo a fines de 1965.

Aun cuando en un principio se creyó que la interconexión estaría en operación a mediados de 1967, es obvio que esto ya no es posible y, teniendo en cuenta el programa para los estudios y la fecha de puesta en servicio, se considera más razonable que habrá de serlo hacia mediados de 1968. Para el presente informe y desde el punto de vista de la comparación de los distintos programas de energía, se asume que la interconexión haya de entrar en operación a principios de 1968.

La ruta tentativa de la línea de transmisión y localización de las subestaciones se muestra en la Figura 3. El voltaje determinado es de 230 kv.

#### 4.3 CRECIMIENTO DE LA CARGA

Las curvas de crecimiento de carga de los sistemas individuales, las bases para su determinación y los factores de carga anuales, se muestran en la Figura 5. Esencialmente, estas mismas curvas de incremento de carga han sido las usadas por los consultores de interconexión, IIMA, en su estudio de los sistemas.

El incremento para la demanda de pico para la zona Cali-Yumbo, que constituye una parte importante del sistema CVC, ha sido alta en los últimos años, con un promedio de 16% para el período 1957-1964. Fuera de la zona Cali-Yumbo, el incremento de carga es un poco menor, de manera que el promedio total es de 14,2%. Hay muy poca información respecto al crecimiento de carga en CHEC y CEDELCA. El incremento de demanda usado en este informe para el sistema CVC-CHEC se ha obtenido



del informe "Generación y demanda de pico en CVC-CHEC", de Diciembre de 1964, asumiendo la cifra de 14% por año para el período de 1967-1971, reduciéndola al 10% de 1971 a 1975, y permaneciendo constante entre 1975-1976.

El crecimiento de la demanda de pico para Bogotá, comenzando en 1967 con el 14,4%, llega a 14,9% en 1969, y disminuye a 11,5% en 1974. Como se explica en la Figura 5, la curva de incremento de carga estaba en proceso de revisión durante los estudios de Salvajina. La curva revisada, suministrada más tarde por Ingetec, presenta un crecimiento algo mayor que la usada en este informe. Para el sistema de Medellín el incremento de carga se ha asumido uniforme, con un promedio de 11,1%.

Para los tres sistemas combinados, el incremento medio de la demanda de pico es aproximadamente de 13% para el período de 1967 a 1970, 12% para 1971-1972, y un poco mayor del 11% para el resto del período. Un estudio sobre la no coincidencia de los picos en los varios sistemas hecho por Integral-Ingetec en la preparación de su informe de Noviembre de 1963, indica un factor de diversidad del 5%. Este factor se revisó y aceptó para este estudio, de manera que el incremento de carga del sistema combinado se redujo en 5% después de la interconexión, obteniendo así la curva que se muestra en la Figura 5.

El criterio para fijar la capacidad de reserva requerida para el sistema interconectado se ciñó a la práctica normal para sistemas de esta magnitud, y se determinó para los estudios previos de interconexión. Se estableció como igual a la capacidad de la unidad más grande del sistema combinado, o como el 10% de la demanda de pico, el que de los dos resulte mayor. Puesto que el criterio del 10% predominó en todos los casos, fue este valor el adoptado para los presentes estudios.

#### 4.4 CAPACIDAD DE GENERACION PRESENTE Y PROPUESTA

##### 4.41 Sistema CVC-CHEC

Los sistemas CVC, CHEC y CEDELCA, (una vez terminado Calima I), tendrán una capacidad segura acumulada de 337 mw que comprende 264 mw hidroeléctricos, 50 mw térmicos y 23 mw diesel. La energía media total correspondiente, obtenible de estas plantas en forma continua, es 196 mw. Los sistemas individuales tienen las siguientes capacidades: CVC 269 mw, CHEC 64 mw y CEDELCA 4 mw, tal como se muestra en las Tablas 4-1, 4-3 y 4-4 respectivamente. Las plantas más grandes del sistema y sus capacidades seguras son: Anchicayá, sobre el río Anchicayá (72 mw), La Esmeralda de la CHEC (25,4 mw). Calima I (120 mw) sobre el río Calima, actualmente en construcción, incluye la desviación del río Bravo para aumentar el caudal medio.

Las futuras plantas en el sistema CVC-CHEC son consideradas en los programas alternativos de generación, y se detallan en las Tablas 4-2, 4-3 y 4-4. Ellas son, Salvajina (430 mw), Calima II (200 mw), San Francisco (135 mw) y Saté (10,5 mw) y la adición de una cuarta unidad (33 mw) a la planta térmica de Yumbo. Esta adición térmica es necesaria para evitar una deficiencia del sistema anterior a la interconexión, y sólo se omite en el programa de generación cuando se prospecta Calima II para principios de 1968.

#### 4.42 Sistema de Bogotá

La capacidad del sistema de Bogotá, incluyendo las tres primeras unidades del Colegio (Colegio I) actualmente en construcción, e incluyendo Canoas menos el Charquito, es de 502 mw que se compone de 422 mw hidroeléctricos y 80 mw térmicos. La energía continua correspondiente es 399 mw. Estas plantas están detalladas en la Tabla 4-5. Todas las plantas hidroeléctricas del sistema están sobre el río Bogotá.

Los embalses de regulación de Guatavita y Muña son embalses fuera de corriente y se llenan por bombeo desde el río Bogotá.

Las plantas futuras consideradas aquí son las que se detallan en la Tabla 4-6, a saber: la hidroeléctrica de Colegio II (152 mw), unidades 4, 5 y 6 del desarrollo del Colegio, y Chivor, en el río Batá, con una capacidad potencial de 1000 mw. Además, otra planta hidroeléctrica sobre el río Bogotá, Canoas (46 mw), se planea para terminación a principios de 1967 y se incluye en todos los programas alternativos como si se fuera a terminar en 1966. Una vez completada Canoas, se retirará del servicio la planta del Charquito (5 mw).

#### 4.43 Sistema de Medellín

La mayor parte de la capacidad de generación del sistema de Medellín es suministrado por plantas hidroeléctricas en los ríos Guadalupe y Grande, con desviaciones de los ríos Tenche y Concepción al Guadalupe. Como se muestra en la Tabla 4-7, la capacidad del sistema actual, incluyendo Guatape I, actualmente en construcción, es de 483 mw y la energía media continua disponible de 250 mw. Esto incluye la instalación de la última unidad (No. 6) de la planta de Guadalupe (46 mw) a fines de 1965 o principios de 1966, y la instalación de la tercera unidad de Troneras (18 mw), también a principios de 1966. La pronta terminación del embalse de Miraflores permitirá desviar aguas del río Tenche a la planta de Guadalupe.

La planta futura que aquí se considera es la de Guatape sobre el río Nare. Las primeras cuatro unidades (Guatape I) darán una capacidad instalada de 280 mw y están actualmente en construcción y serán terminadas a mediados de 1969. Las otras seis unidades

(Guatape II), darán 420 mw adicionales de capacidad segura. Los detalles se muestran en la Tabla 4-7.

#### 4.5 COSTO DE GENERACION TERMICA ALTERNATIVA

##### 4.51 Costo de Plantas Térmicas

Para la determinación de los costos de todas las plantas térmicas consideradas como alternativas para establecer los beneficios de los varios casos estudiados en Salvajina, se ha tomado como base la instalación y operación de la térmica de Yumbo. Esta planta comprende tres unidades con una capacidad total de 53 mw instalados respectivamente en 1958-1960 y 1962. La planta, planeada para permitir una instalación total de 100 mw, contendrá la adición de 33 mw, Yumbo IV, que se menciona frecuentemente en este informe.

El costo de instalación de la última unidad de 33 mw, usando los costos reajustados a Octubre de 1964, viene a ser de US\$180/kw, suponiendo que todos los costos anteriores puedan distribuirse para una instalación final de 100 mw. Este valor incluye costos indirectos, pero no intereses durante la construcción y puede compararse con un costo total de construcción de US\$239/kw de la planta de 70 mw recientemente terminada en Zipaquirá, del sistema de Bogotá. Para todas las alternativas de plantas térmicas consideradas se adoptó un valor un poco menor de US\$170/kw, teniendo en cuenta las mayores capacidades a instalar, en comparación a Yumbo. Este valor incluye costos indirectos pero no intereses durante la construcción. Se asume que la planta térmica se construiría en la margen izquierda del Cauca a unos 10 km al Sur de Cali, cerca al terminal de la línea de transmisión de Salvajina. Por consiguiente no se incluye ningún costo para líneas de transmisión en el de las plantas térmicas equivalentes.

##### 4.52 Costo de Combustibles

El carbón necesario para las plantas térmicas alternativas vendría de los extensos depósitos existentes en el Valle del Cauca, que actualmente se explotan para Yumbo. Estos depósitos fueron objeto de un estudio completo hecho en 1964 (Referencia 21). Actualmente el 90% del suministro de carbón para Yumbo proviene de dos minas operadas por Anchicayá Ltda., la empresa que opera las plantas del sistema CVC; el otro 10% es suministrado por productores independientes. Estas minas son capaces de mantener un suministro adecuado de carbón para Yumbo, máxime cuando la mina "La Cascada" que entró en servicio en 1964, apenas ahora ha empezado una producción estable. Para nuevas instalaciones, tales como Yumbo IV, y las plantas alternativas de Salvajina, será necesario desarrollar nuevas minas. Pese a que en el último caso se requerirá una rata de producción considerablemente más alta, se cree que por la naturaleza de los depósitos de carbón, se habrán de requerir varias nuevas minas similares a la "Cascada", con costos de producción semejantes.

El costo de producción de carbón se discute en un informe preparado para Anchicayá por el ingeniero E. Roland, de la firma Syndibel (Referencia 23). Según este informe, se obtiene un precio básico de \$55 por tonelada métrica de carbón entregado en la planta de Yumbo, para principios de 1964. Ajustando esta cifra para incluir: a) escalación de precios hasta Octubre de 1964; b) reducción de la distancia de transporte a las plantas alternativas de Salvajina, situadas cerca a las minas y c) eliminación de las cenizas en la planta, da como resultado un costo de \$60 por tonelada métrica, o 3,77 centavos/kwh, usando la rata de conversión de Yumbo de 0,628 kg/kwh. Asumiendo que parte de los costos de operación y mantenimiento son variables, como se explica posteriormente, este costo se aumenta en 0,67 centavos/kwh para obtener un total de 4,44 centavos/kwh. Convirtiéndolo a la rata de cambio vigente, se obtiene 4,5 US mills/kwh, que es el valor adoptado como costo de combustible. Para tener en cuenta posibles variaciones desproporcionadas en el precio del carbón, o bien el costo de exploración de minas futuras, se incrementó el costo a 5,3 US mills/kwh, cifra que se obtiene en la misma forma de la anterior, pero con precio básico para el carbón de \$69/tonelada métrica en Yumbo, en lugar de \$55 que se usó primero.

#### 4.53 Costos de Operación y Mantenimiento

En la determinación de los costos de operación y mantenimiento se tomaron nuevamente como base los informes de Yumbo. Debido a los reajustes de precios y a los intervalos cortos entre la instalación de las unidades, se han tomado en principio los datos de los primeros 7 meses de 1964, con algunas referencias a los de 1963.

Para el año de 1964, el costo anual para operación y mantenimiento resultó ser de \$101/kw de capacidad instalada en Yumbo, en tanto que el costo por kwh permaneció prácticamente constante, a razón de 2 centavos, durante 1963 y 1964. Asumiendo que una tercera parte de este costo corresponda a costos variables por combustible, resulta por éste concepto un costo de 0.67 ctvs/kwh. El saldo, expresado sobre la base de un costo anual de \$67/kw instalado, se imputó a costos fijos, pero limitándolo a la cantidad de \$45/kw, en consideración a que el componente por concepto de salarios se reduciría en cerca de un 50% para grandes plantas.

Para tener en cuenta las pérdidas por consumo propio de la Central, calor de reserva y operación sin carga, se consideró adecuado agregar a los costos de operación y mantenimiento, el costo del combustible necesario para generar una cantidad de energía equivalente al 10% de la generación media anual de la planta hidroeléctrica de Salvajina. Según esto, con base en el precio del combustible de 3,77 ctvs/kwh ya determinado, resulta un costo anual adicional de \$19.80/kw. Análogamente, para cubrir el costo de almacenaje del combustible de reserva, se hizo un estimativo a la rata de 820 toneladas por mw, que se traduce en un costo adicional de \$4.40/kw.

En total, el costo anual fijo de operación y mantenimiento resulta ser de 69,2 pesos/kw, que convertido a la tasa de cambio actual da US\$7,00/kw. Como costos anuales adicionales para reposiciones provisionales y seguros, se toman respectivamente el 0,35% y el 0,25% del costo de capital incluyendo intereses durante la construcción, lo cual da un costo de 1,15 US\$/kw. Por lo tanto, se tomará como costo fijo anual para plantas térmicas alternativas la suma de US\$8,15/kw.

#### 4.6 ESTUDIOS DE ENERGIA

##### 4.61 Definiciones

A continuación se definen los términos principales usados en referencia con los estudios de energía, así:

Capacidad Segura: Es la magnitud del pico de la demanda que una planta, o combinación de plantas, puede servir en el período más crítico de condiciones hidrológicas que pueda esperarse razonablemente. En este informe, el período más crítico se define como "Período crítico de caudal bajo".

Energía Firme: La cantidad de energía que una planta, o combinación de plantas, puede proveer en los períodos hidrológicos más críticos que puedan esperarse.

Período Crítico de Caudal Bajo: Una repetición del período más seco de que se tenga historia. En el caso del río Cauca, en Suárez, este período ocurrió en los años de 1958 y 1959.

Planta Térmica Equivalente: Una planta térmica con la misma capacidad y factor de planta, que la hidroeléctrica con la cual se compara.

Factor de Carga: El factor de carga de un sistema, es la relación entre el número de kilovatios-hora generados en un determinado tiempo y el producto del pico de demanda en kw, multiplicado por el número de horas incluidas en el lapso considerado.

Factor de Planta (o Factor de Capacidad): El factor de planta de una central de generación, es la relación entre la energía que la planta realmente produce en un tiempo determinado, y la energía que la planta produciría si se hubiera operado continuamente a la capacidad instalada, durante el mismo tiempo.

##### 4.62 Resumen de los Estudios

Los estudios de capacidad y energía se han llevado a cabo en tres fases distintas, a saber:

En la fase inicial se consideraron varias alternativas para los parámetros del embalse de Salvajina, incluyendo tres alturas máximas del embalse, con tres volúmenes activos del mismo para cada una. Estas alternativas se detallan en la Tabla 4-8. Para cada alternativa, se construyeron curvas de masa de energía para el período más seco registrado, similares a las que se muestran en la Figura 6. Usando estas curvas se determinó la capacidad total instalada, necesaria para hacer frente a la demanda de pico combinada, durante el tiempo en que se presentaba la deficiencia de energía. Por medio de este estudio, se determinó la capacidad instalada necesaria para Salvajina, restando de la capacidad total requerida la de las otras plantas del sistema, para lo cual se incluyeron todas las centrales existentes, conjuntamente con Yumbo IV, Salvajina, Colegio II, Guatapé I y II, y en algunos casos Calima II.

Habiéndose determinado en la primera fase la capacidad instalada requerida en Salvajina para cada combinación, se acometió la segunda fase, determinando el nivel y volumen de embalse más económico, deducidos mediante un análisis de las relaciones de beneficio-costo, en el cual los beneficios se establecieron sobre la base de plantas térmicas equivalentes. En la Figura 11, aparecen las curvas típicas que muestran la variación de la relación beneficio-costos y la relación entre el beneficio adicional y el aumento de costo, en correspondencia con los niveles y volúmenes del embalse.

En la tercera fase, se comparó una serie de 6 programas (Figuras 7 a 9) usando los niveles y volúmenes de embalse determinados en la segunda fase. Para cada programa, como antes, se hicieron estudios de energía para asegurarse de que la capacidad disponible y la energía del sistema combinado, durante todo el período del programa, eran suficientes para hacer frente a la demanda durante el período crítico de caudal bajo, y se determinó así, en cada caso, la respectiva capacidad de Salvajina. La economía de cada programa, se examinó tanto desde el punto de vista del valor actual de la inversión de capital, como bajo el aspecto de su acumulación en el período de los próximos años (Tablas 4-9, 4-10). Se hizo así entonces la escogencia final de la capacidad instalada y de la fecha de puesta en línea para Salvajina. Las tres fases descritas se tratan en mayor detalle en las secciones siguientes.

#### 4.63 Fase I - Determinación Inicial de la Capacidad a Instalar en Salvajina para Distintos Niveles y Volúmenes del Embalse

##### (a) Alternativas Consideradas

Inicialmente, como se muestra en la Tabla 4-8, se analizaron tres volúmenes activos diferentes, correspondientes a tres niveles máximos del embalse. Para cada combinación, se consideraron cuatro grupos diferentes de plantas, cada uno de los cuales

incluye todas las plantas existentes y en construcción y, además, Yumbo IV, Salvajina, Colegio II, y Guatape I y II. Los grupos difieren en que en los primeros tres, se considera a Guatape II con instalaciones de 350, 420 y 500 mw, mientras que en el grupo cuatro se considera Calima II con 200 mw, en adición a Guatape II con 420 mw. De esta manera se obtuvieron nueve distintas capacidades en Salvajina para cada grupo de plantas. Los parámetros físicos para cada una de las plantas consideradas se tabulan en las Tablas 4-1 a 4-7.

#### (b) Métodos de Estudios de Energía

La cantidad de energía producida por cada sistema de plantas, se calculó con base en el promedio mensual para las descargas del respectivo río, durante el período crítico de caudal bajo (años 1958-1959). Para las plantas de embalse despreciable, cuando el caudal del río excedía la capacidad de la planta, el agua pasaba por el vertedero. Se hizo una verificación para varias de las alternativas, a fin de determinar si cabía usar toda la energía disponible en cada central. Según esto, se superpusieron las plantas sobre la curva de duración de carga, de manera similar a como se muestra en la Figura 10. Un problema especial presentó el embalse de Guatavita, pues, para evitar el rebose en Salto y Laguneta, tuvo que restringirse su gasto a una salida que limitó el caudal del río Bogotá a  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ya que Colegio I tiene únicamente una capacidad para  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ , el caudal del río se controló a  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , para evitar excesiva pérdida de energía en esta planta, durante el período de tiempo que transcurrirá antes de que se instale Colegio II.

En todos los casos, se usó únicamente el 80% del embalse disponible para el cálculo de la energía firme. Se hizo esta reducción, ya que muchos ríos del sistema combinado tienen únicamente períodos cortos de registros de caudal y así, la disminución en la capacidad de embalse, actúa como un margen contra la posibilidad de caudales inferiores a los mínimos registrados y, además, permite cierto grado de tolerancia en la eficiencia de las plantas térmicas, y en la operación de los embalses.

Assumiendo que los caudales de los ríos se repitieran exactamente según los registros de 1958-1959, se dibujó una curva que muestra la energía acumulada de los ríos tal como se ve en la Figura 6. Esta curva incluye la energía producida por las plantas térmicas operando a 95% de factor de planta. Superponiendo a la anterior curva de masas la curva de demanda de energía acumulada, y haciéndolas coincidir al principio del período seco, resulta que si en cualquier tiempo, la curva de energía natural acumulada de los ríos es insuficiente para cubrir la demanda, la deficiencia se suple usando agua de los embalses. Con este proceso se llega a determinar una fecha en la cual todos los embalses estarán vacíos, y en que la demanda de energía del sistema no puede satisfacerse.

En los cuatro grupos de plantas, para cada alternativa de nivel y volumen del embalse de Salvajina, se determinó la capacidad total requerida para todas las plantas del sistema combinado, igualándola a la demanda del sistema en el momento en que el suministro de energía empieza a ser deficiente. La capacidad instalada de Salvajina se obtuvo sustrayendo las capacidades de las demás plantas del total requerido.

### (c) Comparación de Alternativas

Las capacidades obtenidas para Salvajina en los cuatro grupos de plantas y los correspondientes parámetros de embalse, se muestran en la Tabla 4-8. Como era de esperarse, las mayores variaciones en las capacidades requeridas se presentaron entre los diferentes grupos de plantas. Además, aun cuando dentro de un mismo grupo haya cambios en la capacidad con los diferentes niveles del embalse, el efecto del volumen del mismo es más bien pequeño.

La capacidad escogida para Guatape II, tiene sin embargo, un marcado efecto sobre Salvajina. Una comparación del costo del incremento de capacidad en ambos sitios, indica que no se consigue ninguna ventaja al aumentar la capacidad de Guatape II sobre el valor actual de 420 mw. Además, cualquier aumento en la capacidad de Guatape II, aumentará también la dependencia del sistema CVC-CHEC, y la capacidad de las líneas de transmisión de interconexión. En consecuencia, aun cuando los estudios de nivel óptimo de embalse y volumen respectivo se hicieron para las variaciones en la capacidad de Guatape II, acordes con los cuatro grupos de plantas considerados, en todos los programas finales (A a F), se tomó para Guatape II una capacidad fija de 420 mw.

## 4.64 Fase II - Selección Final del Nivel y Volumen Optimo del Embalse

### (a) Análisis de la Relación Beneficio-Costo

Mediante el estudio que antecede, se determinaron la capacidad instalada necesaria y la fecha más lejana de terminación del proyecto de Salvajina, en correspondencia con una serie de niveles y volúmenes del embalse, obteniéndose así la base para establecer el nivel y volumen más económicos. Las varias alternativas previamente estudiadas, tal como se muestran en la Tabla 4-8, se compararon para este propósito. En cada caso, el costo de la planta de Salvajina se comparó con el de una planta térmica de la misma capacidad, y que rinda la misma energía. El costo de la térmica equivalente se toma como el beneficio de energía que puede aplicarse a la planta de Salvajina que se considera. Este costo incluye, costos directos e indirectos, mantenimiento y operación, de acuerdo con la Tabla 7-1.



Para establecer una base común, tanto para el costo de la térmica como para el de la hidroeléctrica, se refirieron al nivel de precios de Octubre de 1964, y las comparaciones se hicieron sobre la base del valor a la fecha en que las plantas entren en línea.

Los costos de la hidroeléctrica de Salvajina para las diferentes capacidades y alturas de presa, fueron obtenidos de la Tabla 7-2. Para la comparación económica se ajustaron estos costos, a fin de incluir el efecto de una variación en el volumen del embalse. La base para el costo de la térmica fue descrita antes en este capítulo. Aun cuando se adoptó un valor final de 4,5 US mills/kwh para el combustible, los estudios se han hecho tanto para este valor como para uno más alto, de 5,3 US mills/kwh. El nivel de embalse escogido no es sensiblemente afectado por esta variación en el precio del combustible.

Para simplificar los procedimientos, los cálculos se hicieron sin incluir los costos o beneficios del control de avenidas, no obstante que para cada volumen de embalse se asumió que la operación se efectuara de acuerdo con las curvas de control de avenidas, y la energía disponible se calculó también con esta base. Esta simplificación es aceptable, ya que para cada volumen de embalse en Salvajina, el costo de proveer las medidas adicionales de control en Timba y en el valle permanecen constantes, lo mismo que los beneficios de control resultantes. Por lo tanto, la curva de beneficio-costos, ajustada para incluir el efecto de control de avenidas, simplemente se desplaza para producir una curva paralela, sin cambiar en forma significativa la relación entre los incrementos de beneficios y costos. Esto se constató desde los primeros casos estudiados, al comparar los costos de la presa de Salvajina, para diferentes alturas y volúmenes, con los beneficios combinados de energía y control de avenidas, tomando este último como igual al costo alternativo necesario para obtener la misma protección mediante el aumento del volumen de embalse en Timba.

Para cada grupo de plantas se comparó gráficamente el costo de la energía hidroeléctrica de Salvajina con el de la energía térmica, para los distintos niveles y volúmenes de embalse y capacidades instaladas. De estos gráficos se obtuvieron las curvas que muestran la relación entre beneficio-costos y el nivel máximo normal de embalse para los tres volúmenes considerados. Mediante estas curvas a su vez, se obtuvieron los gráficos para las relaciones entre incremento de beneficio e incremento de costo, haciéndolo para los cuatro grupos de plantas. Las curvas típicas se muestran en la Figura 11, para un costo de combustible de 4,5 US mills/kwh.

#### (b) Selección de Niveles y Volúmenes de Embalse

Por las curvas de la Figura 11, se concluye que en general la solución más económica desde el punto de vista de energía, implica un embalse activo mínimo en Salvajina. Esto proviene de que la capacidad instalada de la planta es lo suficientemente grande como para que se pueda utilizar toda el agua que entra al embalse, con muy

poca regulación. Puesto que el sistema combinado de energía es de suficiente magnitud, y cuenta con embalses adecuados en otras de las plantas que pueden embalsar, mientras que Salvajina utiliza los caudales grandes del río, el requerimiento de almacenaje destinado a energía es nominal.

La selección del volumen del embalse queda por tanto sometida a los requisitos del control de avenidas. En el Capítulo 5, se establece la necesidad de proveer un total de 540 millones de  $m^3$  para control de avenidas, incluyendo no menos de 100 millones de  $m^3$  en Timba, y en el Capítulo 7, mediante la comparación económica entre los embalses de Timba y Salvajina, se determinó que el volumen óptimo para control de avenidas en Salvajina, debe ser de 400 millones de  $m^3$ . Este fue por tanto el volumen escogido para satisfacer las necesidades combinadas de energía y control de avenidas, y de acuerdo con él se determinó la elevación del embalse.

Para la fijación definitiva de la elevación del embalse, se analizaron las relaciones de este factor, tanto con el beneficio-costo, como con el incremento de beneficio-costo, para los cuatro grupos de plantas. El máximo de la relación de beneficio-costo representa el aprovechamiento del sitio que da el máximo beneficio, no obstante que las posibilidades económicas del mismo no se puedan utilizar por quedar margen para incrementos adicionales de desarrollo, para los cuales los beneficios exceden los costos. Un desarrollo adicional del sitio es económicamente justificable aun cuando el rédito de la inversión se reduzca, siempre que el último gasto adicional sea igual al valor del beneficio resultante del incremento, en otras palabras, cuando la relación del incremento de beneficio al incremento de costo, es igual a la unidad. En este punto, el exceso de beneficio total sobre el costo total es máximo, y el incremento de costo del desarrollo hidroeléctrico iguala al incremento de costo de una planta térmica.

Una comparación de los aspectos económicos de los cuatro grupos de plantas considerados muestra que la elevación normal máxima del embalse que da el máximo beneficio-costo en cada caso, varía de 1174 a 1176, y que la elevación máxima normal del embalse, cuando el incremento de beneficio sea igual al incremento de costo, varía de 1176 a 1183. Ya que es ventajoso limitar el costo de capital de Salvajina a la cifra más baja posible, permaneciendo dentro de los límites de elevación de embalse antes citados, se escogió un nivel máximo normal de 1175 m.

#### (c) Volumen del Embalse Requerido para Energía

A fin de determinar el almacenaje necesario para la regulación mensual de la energía durante aquellos meses en que el embalse debe operar para el control de inundaciones, se estudió el período crítico de caudal bajo mediante la curva de masas de los caudales diarios, resultando necesario un volumen de 76'000.000 de metros

cúbicos, el cual se considera tan ilógico cuanto antieconómico disponerlo bajo la elevación 1156, (que representa 400'000.000 de metros cúbicos para control de avenidas). Puesto que la planta de Salvajina funcionará esencialmente como una planta de filo de agua, deberá operársela en forma tal que no se requiera extraer del embalse, excesivas cantidades de agua durante la época de avenidas. Los caudales necesarios serán provistos por los otros embalses del sistema combinado, tales como los de Calima y Guatape. Por lo tanto, en Salvajina sólo será necesario disponer la regulación suficiente para la operación diaria, para la cual se ha establecido que bastarán diez millones de metros cúbicos, dentro de la más crítica hipótesis respecto al factor de planta (0,50). La inclusión de este volumen en el embalse, por debajo del almacenaje para control de inundaciones, con algún margen de tolerancia para los depósitos de sedimentación en el embalse activo, implica como elevación normal mínima de operación, la de 1155,0 metros.

#### 4.65 Fase III - Selección Final de la Capacidad Instalada y Fecha de Terminación

##### (a) Programas Alternativos de Energía

Un total de seis programas de desarrollo de energía (A a F), detallados en las Figuras 7 a 9, se compararon para establecer la capacidad final de la planta y la fecha de terminación.

Para cada uno de estos programas, la capacidad total requerida se determinó de la manera descrita previamente. La fecha de terminación para las varias plantas en cada secuencia, se estableció asumiendo que el período crítico de caudal bajo, podría haber principiado durante cualquiera de los años incluidos en la secuencia, agregándose nuevas plantas únicamente a medida de las necesidades, ya sea de energía o de capacidad. Puesto que aun las plantas relativamente grandes, que se instalarán en las distintas localidades, son capaces únicamente de satisfacer la demanda del sistema combinado por períodos de dos años aproximadamente, no hay ninguna economía en escalonar las unidades de cada instalación. En consecuencia, en cada planta se supone que todas las unidades se instalan de una vez en la construcción inicial y, para simplificar los cálculos, se supone que todas las unidades entran en línea al mismo tiempo, como se ve en las Figuras 7, 8 y 9. Aun cuando los procedimientos de construcción implican cierto escalonamiento de las unidades, puesto que las que primero se instalan pueden generar la energía requerida en el momento, tal escalonamiento no producirá diferencias de significación para la energía firme del sistema interconectado.

En estos cálculos, el método usado previamente para los estudios de energía se refinó en lo relativo a la operación del embalse. Así se hizo una confrontación, para asegurarse que el embalse puede llenarse en el lapso anterior al período crítico seco. En

los casos en que ello no resultó posible, únicamente se usó el volumen disponible. En los cálculos para todos los programas, la llenada del embalse de Guatape se supuso habrá de empezar durante el ciclo hidrológico que precede inmediatamente al período crítico de caudal bajo, obteniéndose como tiempo de llenado un poco más de un año.

Todos los programas de energía, excepto el F, contemplan la instalación de Yumbo IV a principios de 1967. Se asume que la interconexión ocurre en todos los programas, excepto E y F, al principio de 1968. Los detalles de los programas de energía son como sigue:

Programa A: Salvajina - 430 mw, (Noviembre 1970)  
Salvajina entra en servicio a la mayor brevedad. Guatape II, (Septiembre 1973), precediendo a Calima II, (Abril 1975).

Programa B: Salvajina - 407 mw, (Noviembre 1970)  
Lo mismo que el programa A, excepto que Calima II, (Julio 1973), entra primero que Guatape II, (Abril 1974).

Programa C: Salvajina - 407 mw, (Agosto 1972)  
Calima II, (Noviembre 1970), primero que Salvajina. Sigue Guatape II, (Mayo 1974).

Programa D: Salvajina 430 mw, (Mayo 1974)  
Lo mismo que programa C, excepto que Guatape II, (Agosto 1972) entra primero que Salvajina, (Mayo 1974).

Programa E: Salvajina 430 mw, (Agosto 1971)  
San Francisco entra en servicio en Julio 1968, seguido por Salvajina. Sigue Guatape II, (Marzo 1974). No se incluye Calima II.

Aceptando una pequeña deficiencia en el sistema CVC-CHEC, antes de entrar San Francisco, la interconexión no se necesita sino hasta Enero de 1970.

Programa F: Salvajina 354 mw, (Marzo 1972)  
No se incluye Yumbo IV, de manera que se presenta una pequeña deficiencia en el sistema CVC-CHEC antes de entrar Calima II a principios de 1968. Sigue Salvajina, primero que Guatape II, (Julio 1973). La interconexión no es necesaria hasta Julio de 1970.

Debe anotarse que en los programas A hasta D, cualquier demora apreciable en la interconexión más allá de comienzos del año 1968, dará lugar a una considerable deficiencia en el sistema CVC-CHEC. Por lo tanto, dentro de estos programas, la rápida continuación de los estudios y la construcción de la interconexión, se hacen imperativas.

#### (b) Costo de Programas

Los programas se comparan usando valores que incluyen los costos directos e indirectos y los de operación y mantenimiento, determinándose de acuerdo con la Tabla 7-1. Los costos de las

## CAPITULO 5

### CONTROL DE INUNDACIONES Y AVENAMIENTO EN EL VALLE DEL CAUCA

#### 5.1 INTRODUCCION

Como se describió previamente, el valle del Cauca aguas abajo de Timba, está formado por una planicie ancha y llana entre dos cordilleras. El río Cauca discurre por esta planicie a muy baja velocidad, formando numerosos meandros; las orillas están formadas por barrancos con alturas entre 3 y 5 m. Durante las dos estaciones lluviosas, que ocurren anualmente, las fuertes lluvias causan a menudo que el río rebase las márgenes e inunde las zonas adyacentes, que generalmente están más bajas que las orillas. De la misma manera, los numerosos tributarios se desbordan y contribuyen a inundar estas y otras zonas. Otras partes se inundan por la acumulación de las aguas lluvias en las partes bajas debido a la falta de desagüe. En el Informe Unificado se estima que por todas estas causas, se inunda regularmente un área de 87.400 ha (ver Figuras 12 y 13), en algunas partes con tanta frecuencia que únicamente pueden utilizarse para pastos. Otro efecto de inundación perjudicial a los cultivos, es el levantamiento del nivel freático en las fajas adyacentes a las partes inundadas, cuya área se estima en 37.000 ha (Informe de Timba 1958).

Sin embargo, los suelos de las zonas inundables, son generalmente fértiles, y capaces de admitir cultivos de mucho más alto rendimiento del obtenido por el uso actual. Ya que las zonas sujetas a inundaciones constituyen aproximadamente el 23% de la parte plana del valle, la producción agrícola podrá aumentarse considerablemente, si se proveen los medios para el control de avenidas, avenamiento e irrigación.

Adicionalmente, el control de avenidas disminuiría las pérdidas de vidas humanas, animales y bienes, que han ocasionado las inundaciones, y mejoraría la seguridad del sistema de transporte.

Para evaluar el costo y los beneficios económicos asociados con el control de avenidas, es necesario no solamente determinar la extensión de las zonas sujetas a inundaciones, sino además determinar las causas. La evaluación de las zonas inundables, para los fines de este estudio, se basa en la comparación de la información contenida en otros informes anteriores, y en los reconocimientos terrestres y aéreos realizados después de la publicación de esos informes.

#### 5.2 CARACTERISTICAS DE LAS AVENIDAS

##### 5.21 Avenidas del Río Cauca

Los datos hidrológicos usados en estos estudios provienen de dos estaciones principales de aforo en el río Cauca, una en

la Balsa, cerca a Timba, y en Juanchito cerca a Cali, la otra. Se ha establecido en otros informes que en la Balsa y Juanchito, la capacidad segura del canal del Cauca es respectivamente de 550 m<sup>3</sup>/s y 650 m<sup>3</sup>/s. Con descargas mayores, el Cauca se desborda e inunda las zonas adyacentes, lo cual produce una regulación natural del caudal y, como puede verse en la Tabla 5-1, muchas veces las descargas máximas son menores en Juanchito que en la Balsa.

TABLA 5-1

DESCARGAS MAXIMAS EN LA BALSA Y JUANCHITO

| LA BALSA    |   | JUANCHITO   |   |
|-------------|---|-------------|---|
|             | Caudal Medio<br>Diario<br>m <sup>3</sup> /s |             | Caudal Medio<br>Diario<br>m <sup>3</sup> /s |
| 11 Feb 1950 | 1.189                                       | 12 Feb 1950 | 948   |
| 1 Ene 1956  | 1.175                                       | 5 Ene 1956  | 845   |
| 3 May 1949  | 954   | 4 May 1949  | 590   |
| 16 Dic 1949 | 944   | 19 Dic 1949 | 732   |
| 13 Dic 1960 | 923   | 15 Dic 1960 | 814   |
| 22 Nov 1949 | 897   | 27 Nov 1949 | 798   |
| 11 Dic 1954 | 888   | 15 Dic 1954 | 819   |
| 18 Dic 1962 | 764   | 20 Dic 1962 | 680   |
| 29 May 1957 | 734   | 31 May 1957 | 730   |

Los caudales y niveles del río Cauca en la Balsa y en Juanchito, han sido registrados hasta el presente, a partir de 1946 y de 1934 respectivamente (ver Apéndice B), y han sido usados para establecer el número de días en cada mes, durante los cuales el río Cauca causó inundaciones. Los períodos de inundación, deducidos de los registros de Juanchito, se muestran en la Tabla 5-6, e indican en general la magnitud, duración y frecuencia de la inundación. Información similar para la Balsa, se muestra en la Tabla 5-7. De esta tabulación y de los hidrogramas del río Cauca de la Figura 52, se ve que los caudales altos ocurren generalmente en Noviembre, Diciembre, Enero, Abril y Mayo, siendo las crecientes de Noviembre a Enero las de mayor duración y magnitud, como se ve en la Tabla 5-1. También se observa que las avenidas han ocurrido en 15 de los últimos 25 años y que las de 1950, 1954, 1955 y 1956 fueron de larga duración y deben haber causado daños considerables en los cultivos existentes en las zonas inundadas.

## 5.22 Avenidas de los Tributarios

Aun cuando es posible controlar las avenidas del Cauca mediante los embalses de Salvajina y Timba, los márgenes de los tributarios son en muchos casos aun más bajas que las del Cauca, lo cual hace que estos ríos se desborden regularmente, una o dos veces al año. Para estudiar estos efectos, se escogieron cinco zonas representativas del valle y se hicieron levantamientos para obtener secciones transversales de los tributarios principales que las cruzan y para determinar la elevación de las tierras adyacentes. Las zonas que se levantaron están situadas en la vecindad de las confluencias del río Cauca con La Quebrada, el río Claro, el Palo, el Jamundí y el Guachal, tal como se muestra en las Figuras 15 y 30. Con base en estos levantamientos, fue posible hacer un estimativo de la capacidad del cauce de los tributarios y obtener información sobre la frecuencia de las inundaciones de las zonas adyacentes. Los resultados de estos estudios se muestran en la Tabla 5-2.

TABLA 5-2

### DATOS DE LOS RIOS TRIBUTARIOS

| Nombre      | Avenida de Pico<br>m <sup>3</sup> /s |        |        | Capacidad<br>del Canal<br>Tributario<br>m <sup>3</sup> /s | Nivel<br>Máximo<br>Regulado<br>en el Río<br>Cauca (1) | Nivel<br>Mínimo<br>de las<br>Tierras<br>Adyacentes |
|-------------|--------------------------------------|--------|--------|---|---|--|
|             | Periodicidad (años)                  |        |        |   | m   | m  |
|             | 1 en 10                              | 1 en 5 | 1 en 2 |   |   |  |
| La Quebrada | 60                                   | 55     | 40     | 5   | 973,5   | 970,4  |
| Claro       | 135                                  | 120    | 95     | 20  | 968,4   | 966,0  |
| Palo        | 190                                  | 170    | 135    | 140   | 963,3   | 962,6  |
| Jamundí     | 170                                  | 150    | 105    | 70  | 961,0   | 959,7  |
| Guachal     | 160                                  | 140    | 100    | 40  | 949,3   | 947,6  |

(1) Estas cifras se basan en que las descargas del río Cauca una vez regulado por las presas de Salvajina y Timba, no excederán de 550 y 650 m<sup>3</sup>/s.

Como resultado del estudio de las cinco zonas se obtuvieron las siguientes conclusiones:

(a) La capacidad de descarga de todos los tributarios estudiados, cerca a su confluencia con el Cauca, es inadecuada hasta tal punto que una inundación debe ocurrir año de por medio.

(b) Las tierras adyacentes a los tributarios y vecinas a su desembocadura en el Cauca, son considerablemente más bajas que las orillas, de manera que será necesario bombear para evacuar el agua de estas zonas, durante los períodos de crecidas del río Cauca.

### 5.3 DETERMINACION DE LAS ZONAS INUNDABLES

#### 5.31 Información General

La extensión de las zonas inundables se determinó mediante el examen y comparación de las investigaciones pasadas y presentes. Los resultados de los estudios del Informe Unificado de 1956 y subsecuentes, se resumen aquí.

#### 5.32 Del Informe Unificado de 1956

Basado en un estudio en forma de encuesta que se realizó para el Informe Unificado, se determinó que en el año promedio, una extensión de 56.900 ha de tierra en la parte plana del valle es inundada, aun cuando en la avenida de 1949-50, la extensión afectada fue de 84.400 ha (ver Tabla 5-8). Además, una zona adicional de 15.700 ha fue inundada por los tributarios y 15.200 ha por el estancamiento de las lluvias.

Estas zonas con muy pocas modificaciones y con las deducciones correspondientes a los proyectos de recuperación subsecuentes, se muestran en las Figuras 12 y 13.

#### 5.33 De Reconocimientos Posteriores al Informe de 1956

Posteriormente al Informe Unificado de 1956, se obtuvo información adicional por medio de reconocimientos y fotografías aéreas, tomadas durante las inundaciones de 1956, 1960 y 1964 (ver Apéndice C). Además, en Junio y Julio de 1964, se hizo una nueva investigación, menos detallada, por el sistema de encuesta entre Yumbo y la Balsa. Las zonas que aparecen como inundadas en las fotografías aéreas se muestran en la Figura 14. De los datos obtenidos, se deducen las observaciones siguientes:

(a) La inundación de 1956 se extendió por el valle dentro de los límites que indica el Informe Unificado. El reconocimiento aéreo de 1956 no se hizo aguas arriba de Cali, pero se presume que esto se debió a que el vuelo se realizó trece días después de que el pico de la avenida había pasado por la Balsa y las inundaciones habían cedido. La magnitud de los caudales registrados indican que debieron ocurrir inundaciones aguas arriba, confirmadas por las observaciones hechas durante la investigación de suelos descrita aquí y por las respuestas al cuestionario en 1964. Puesto que los vuelos se hicieron después de que el pico de la avenida había pasado, las zonas demarcadas aguas abajo de Cali, probablemente no indican los límites máximos de la inundación.

(b) Las respuestas al cuestionario de 1964, indican que la inundación de 1960 fue causada tanto por el desbordamiento del río Cauca, como por los tributarios.



(c) La inundación observada en Junio de 1964 fue menor y causada por los tributarios y por la acumulación de las aguas lluvias. Su efecto principal fue el daño a los cultivos en la zona Cartago-La Virginia. El nivel del río Cauca no fue significativamente alto, ni causa determinante de la inundación.

Los estudios anteriores, confirman por consiguiente, que las grandes inundaciones se producen por avenidas del Cauca que se desborda y en algunas zonas, por avenidas de los tributarios aun sin estar crecido el Cauca. Se encontró además que salvo pequeños ajustes, las zonas que se han inundado desde 1955 se mantienen dentro de los límites establecidos en el Informe Unificado.

### 5.34 De los Estudios de Suelos

Las investigaciones detalladas más recientes, hechas en el Valle del Cauca, que tienen aplicación al problema de las inundaciones, son las llevadas a cabo por la sección de suelos del Departamento Agropecuario de la CVC. Estos estudios se hicieron primordialmente para determinar las características de los suelos en el Valle, para lo cual se requirió una cuidadosa consideración de las condiciones de inundación.

El primero de estos estudios, hecho en 1957 bajo la dirección de la FAO, fue un reconocimiento de la parte plana del valle (Referencia 57). Levantamientos posteriores, de una naturaleza más detallada, hechos con la ayuda del IGAC se hicieron en 1960 entre el río Desbaratado y Tuluá en la margen derecha del Cauca, y entre Yumbo y Yotoco en la izquierda. En 1962 y 1963, entre Robles y Yumbo en la margen izquierda y en 1964, entre Roldanillo y Toro y La Victoria y Cartago. En los estudios que se hicieron para la determinación de zonas inundables, se utilizaron, siempre que fue posible, levantamientos detallados en lugar de simples reconocimientos.

Con el resultado de estos levantamientos, se prepararon mapas utilizando las aerofotografías de 1957 de reconocimiento y los levantamientos aerofotogramétricos a escala 1:10.000 del IGAC. Estos mapas señalan las zonas de tierra que tienen características de suelos similares. Estas zonas se obtuvieron primero por foto-interpretación y se comprobaron luego por ensayos de campo. En los levantamientos detallados, las confrontaciones se hicieron con referencia a la topografía, relación con los ríos y otros aspectos físicos tales como las características de avenamiento y la textura de los suelos. Para ayudar en la delimitación de las zonas inundables, se usó nivel de mano, lo mismo que para la determinación de las características de avenamiento. Además se hicieron taladros de 1 m a 1,50 m de profundidad a intervalos de 20 a 50 m sobre zonas extensas, y se tomaron las muestras respectivas para exámenes de laboratorio. Durante el curso de este trabajo, se encontraron varias zonas que estaban inundadas en ese momento, como por ejemplo, aguas arriba de Cali, en 1956 y entre Robles y Yumbo en 1962-63.

En el presente informe, las zonas inundables se clasifican en cuatro categorías de acuerdo con la severidad de la inundación, como sigue:

(a) Ocasional - susceptible de inundación por períodos menores de un mes en el año.

(b) Periódicas - Susceptibles de inundación durante períodos menores de tres meses, pero mayores de un mes, durante el año.

(c) Frecuentes - Susceptibles de inundación por períodos mayores de seis meses al año.

(d) Ciénagas - Permanentemente bajo agua.

De los mapas de suelos preparados por medio de los levantamientos citados, se delimitaron las zonas que se consideran incluidas dentro de las categorías mencionadas, basadas en las características propias de los suelos, avenamiento y localización.

Se asume que el control de avenidas será únicamente necesario entre Robles y Bugalagrande, debido a que ya existen proyectos de recuperación para la zona, aguas abajo de esta última ciudad. El cálculo de las áreas consideradas dentro de estas categorías se hizo luego, y los resultados se tabulan en la Tabla 8-8. Se encontró que el área total sujeta a inundación entre Timba y Bugalagrande es de 51.860 ha.

Esto se compara bien con el valor de 56.900 ha del Informe Unificado, el cual contiene una pequeña parte adicional entre Bugalagrande y Cartago, y 4.645 ha del Proyecto de Aguablanca, que no está incluido en el área aquí computada.

### 5.35 Conclusiones

Levantamientos recientes han confirmado las conclusiones hechas en el Informe Unificado, en relación con la extensión de las inundaciones. Puesto que los estudios hechos sobre la base de los mapas de suelos reflejan las informaciones más recientes, se han escogido éstas para la determinación del área de las zonas inundables. Estas zonas, con una superficie de 51.860 ha son las que se usan, tal como se describen en el Apéndice D, para obtener el beneficio derivado del control de avenidas. Únicamente se han incluido aquellas zonas sujetas a inundaciones tanto del río Cauca como de los tributarios.

Como previamente se describió, las zonas adicionales adyacentes a las inundadas se afectan por el levantamiento del nivel freático, lo cual influencia en forma adversa el desarrollo agrícola. Estas zonas también pueden mejorarse por avenamiento y control de avenidas, pero no se han incluido en las cifras anteriores. El área así determinada, se considera pues conservativa.

## 5.4 GRADO DE PROTECCION CONTRA AVENIDAS

Ya que las inundaciones en el valle del Cauca s6lamente afectan las zonas urbanas en una extensi6n muy limitada y no causan da6os de consideraci6n a la propiedad, la protecci6n de avenidas se debe proveer 6nicamente para satisfacer los requisitos agr6colas.

Como se establece en el Cap6tulo 6, los cultivos m6s importantes en el Valle son de ca6a de az6car, arroz, algod6n, ma6z, soya, fr6joles, pl6tano, caf6, y vegetales. De estos, 6nicamente el arroz puede soportar sumersi6n prolongada, y ello 6nicamente antes de su madurez; todos los dem6s cultivos se da6ar6an seriamente o sufrir6an la destrucci6n total.

Los expertos en agricultura aceptan que en general los agricultores siembran la mayor parte de sus cultivos, si ellos est6n protegidos contra avenidas de una periodicidad de 10 a6os.

En el caso de cultivos tales como algod6n, soya y ma6z, que en el Valle dan dos cosechas por a6o, esto representar6a la p6rdida de una cosecha en 20, o sea una protecci6n de 95%. Sin embargo, en el caso de la ca6a de az6car que tiene un per6odo vegetativo de 16 meses, se considera que se necesita un grado mayor de protecci6n, de manera que una inundaci6n ocurra 6nicamente cada 15 a6os. De la Tabla D-2, Ap6ndice D, se ve que la ca6a de az6car, en el momento representa el 39% del valor del rendimiento total anual. Por consiguiente se considera que el grado de control de avenidas necesario debe ser adecuado para proveer una protecci6n de una inundaci6n en 10 a6os, y de ser econ6micamente posible, una en 15 a6os.

En el caso de inundaciones de los tributarios, cuando el volumen y duraci6n de la avenida es menor que la que produce el r6o Cauca, se considera que la protecci6n contra una creciente en 10 a6os, es adecuada para cualquier cultivo. Esto es especialmente cierto si se tiene en cuenta que los trabajos de protecci6n estar6n distribuidos en todo el valle y son por tanto m6s susceptibles de variaciones individuales.

## 5.5 AVENIDA DE DISE6O

### 5.51 R6o Cauca

Para definir adecuadamente la avenida que debe usarse para el dise6o de las obras de protecci6n contra las inundaciones producidas por el r6o Cauca, es necesario determinar no solamente la descarga de pico, sino tambi6n su volumen. La medida de estas cantidades puede obtenerse mejor por un an6lisis estad6stico de las avenidas pasadas.

La medida de los caudales del río Cauca se ha hecho en Juanchito desde 1934 y en Suárez y la Balsa desde 1946. Las curvas de frecuencia de caudales de pico, representadas por los caudales máximos promedios diarios y por los caudales promedios anuales para dichos sitios, se muestran en la Figura 16. Las curvas de frecuencia de las descargas de pico, muestran que en la Balsa son considerablemente mayores que en Juanchito, aun cuando en este último punto el río tiene una hoya considerablemente mayor. Esta anomalía se debe al hecho de que el río Cauca se desborda entre estos dos sitios cuando el caudal sobrepasa 550 m<sup>3</sup>/s en la Balsa, o 650 m<sup>3</sup>/s en Juanchito. Para obtener una medida de la magnitud de las recientes avenidas, las frecuencias estimadas para cada uno de los máximos caudales diarios correspondientes a las cuatro mayores crecientes registradas, se obtuvieron de la Figura 16 y se tabularon en la Tabla 5-3.

TABLA 5-3

PERIODICIDAD DE LAS CRECIENTES MAXIMAS DEL RIO CAUCA

| Año     | La Balsa  |              | Juanchito   |              |
|---------|---|--------------|---|--------------|
|         | Descarga<br>Máxima<br>Promedia<br>Diaria<br>m <sup>3</sup> /s | Periodicidad | Descarga<br>Máxima<br>Promedia<br>Diaria<br>m <sup>3</sup> /s | Periodicidad |
| 1949-50 | 1189  | 19           | 965   | 33           |
| 1955-56 | 1175  | 18           | 875   | 8            |
| 1954-55 | 888   | 4            | 819   | 5            |
| 1953-54 | 818   | 3            | 866   | 7            |

Estas cifras indican que en Juanchito, que se toma como un índice de las condiciones que prevalecen en la zona inundada, las descargas de pico de 10 a 15 años de frecuencia, tienen magnitudes que están comprendidas entre las registradas durante las avenidas en 1949-50 y 1955-56. Las descargas de pico en la Balsa de periodicidad de 10 a 15 años, son menores de las registradas en estas dos fechas.

La determinación de la periodicidad del volumen de inundación es estorbada por el efecto de regulación entre la Balsa y Juanchito, que altera el hidrograma en Juanchito en una extensión tal que prácticamente no se puede distinguir entre los caudales de descarga y el escurrimiento normal. Por esta razón la descarga promedia anual en Juanchito se ha usado como indicación del volumen de las grandes avenidas. Las curvas de frecuencia de la descarga promedia anual en Juanchito se muestran en la Figura 16. Esta figura indica que la

descarga promedia anual en Juanchito en el año de 1950 fue de 485 m<sup>3</sup>/s. Esta descarga está muy por encima de la línea de frecuencia normal y tendría una periodicidad de 100 años aproximadamente. Aun cuando la periodicidad de la descarga promedio anual en 1950 no es necesariamente la misma que la del volumen de la avenida 1949-50, la magnitud del caudal anual es tal que demuestra que la periodicidad del volumen del caudal total en 1949-50 está muy por encima del requerido para un período de 10 a 15 años y si se usara para el diseño, resultaría en una provisión para control de avenidas mucho mayor de lo necesario. La misma conclusión es aplicable para el río Cauca en Suárez y en la Balsa.

Un examen de los hidrogramas en la Figura 19 revela que la inundación del año 1949-50 realmente consistió de una serie de inundaciones separadas, de las cuales la de mayor caudal ocurrió en Febrero de 1950. Las otras inundaciones que ocurrieron en Marzo, Abril, Mayo y Junio tuvieron picos de descarga inferiores, pero debido a su larga duración, contribuyeron grandemente a la alta cifra del caudal promedio anual registrado para 1950. Por esta razón, se le da consideración únicamente a aquella parte del caudal que descargó en Febrero de 1950.

Como más adelante se explica, el control de las avenidas del río Cauca requiere embalses tanto en Salvajina como en Timba. En la Tabla 5-4 se muestran los volúmenes de embalse necesarios para controlar los caudales máximos registrados, incluyendo el volumen mínimo indispensable en Timba. Puede verse que aun cuando los volúmenes totales de embalse requeridos arriba de Timba difieren únicamente en un 8% para las dos grandes avenidas de Febrero 1950 y 1956, los volúmenes mínimos determinantes del embalse en Timba, varían apreciablemente. Por otra parte, la avenida de 1954, que exigía un volumen de embalse arriba de Timba de aproximadamente la mitad del requerido por cualquiera de las dos grandes avenidas mencionadas, en Timba exige un volumen mínimo de más de tres veces el determinado por la avenida de 1956. Estas consideraciones destacan la importancia de la distribución por zonas de la escorrentía. Una comparación entre los hidrogramas de Febrero de 1950 y 1956, mostrados en las Figuras 18 y 19, indica que el caudal afluente, en la hoya de Juanchito hacia arriba, estuvo mucho más uniformemente repartido para la avenida de 1950 que para la de 1956.

Por consiguiente se decidió adoptar el hidrograma de caudal de Febrero de 1950 para el diseño de las obras de control ya que: a), la descarga de pico tiene una periodicidad mayor de los 10 a 15 años, aun cuando el volumen de embalse resultante es apreciablemente el mismo exigido por la avenida de 1956, que tiene una periodicidad más baja; b), la escorrentía sobre la hoya está uniformemente distribuida; c), la extensión del período del hidrograma para incluir los meses después de Febrero, habría dado un volumen de caudal mucho mayor del que se justifica económicamente y d), la periodicidad resultante que se considera ser de 1 en 15 años, es suficiente para proveer la protección necesaria para todos los cultivos en el valle, incluyendo la caña de azúcar.

Sin embargo, como resultado de limitar el caudal de diseño a una parte del de 1950, una repetición de la avenida total de 1950, habría causado inundaciones en el valle. La Figura 19 muestra los caudales del río Cauca, caso de repetirse la avenida 1949-50 y asumiendo que los embalses estuvieran diseñados para contener únicamente la parte de la creciento correspondiente a Febrero. Se observa que se habrían presentado inundaciones a mediados de Marzo que se extenderían en forma intermitente hasta fines de Junio. Para prevenir esto, el volumen para control de avenidas, requerido en Timba para un volumen de embalse constante en Salvajina de 400 millones de m<sup>3</sup>, habría tenido que aumentarse a 390 millones de m<sup>3</sup>, en lugar de los 140 millones de m<sup>3</sup> finalmente adoptado.

TABLA 5-4

EMBALSE REQUERIDO PARA PREVENIR INUNDACIONES DEL RIO CAUCA

| Avenida                    | Embalse Mínimo Necesario en Timba<br>m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> | Embalse Adicional Requerido en Salvajina<br>m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> | Embalse Total Requerido si se Construye el de Timba Únicamente<br>m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> |
|----------------------------|---|--|--|
| 1949-50 Total              | 100   | 695  | 795  |
| 1949-50 Febrero únicamente | 100   | 440  | 540  |
| 1954                       | 34  | 281  | 315  |
| 1955                       | 8   | 330  | 338  |
| 1956                       | 10  | 490  | 500  |

5.52 Tributarios

Los requisitos de diseño para las obras de los tributarios, deben tener en cuenta no solamente los caudales altos de los tributarios resultantes de fuertes lluvias locales, sino también una combinación de caudales medios de los tributarios con el efecto de remanso ocasionado por los caudales altos en el río Cauca, situación que frecuentemente es la más crítica.

Se decidió proveer una protección contra avenidas de los tributarios diseñando ya sea para: a), una avenida del tributario de 1 vez cada 10 años, cuando el caudal del Cauca esté bajo, o b), una avenida del tributario de 1 vez cada 5 años, en combinación con el nivel del río Cauca correspondiente a la avenida de diseño adoptada para éste.

## 5.6 METODOS ALTERNATIVOS DE CONTROL DE AVENIDAS

### 5.61 Información General

Como ya se demostró, cualquier plan efectivo para el control de avenidas en el valle del Cauca deberá incluir obras de protección, tanto para el río Cauca como para los tributarios que atraviesan la zona. El control de los tributarios sólo puede obtenerse mediante la construcción de jarillones y mejoras en los cauces, ya que las inundaciones que ellos determinan ocurren aun con caudales bajos del Cauca. Para el control de las inundaciones producidas por el río Cauca, se estudiaron varias posibles soluciones alternativas, como sigue:

- (a) Embalse en Salvajina únicamente.
- (b) Embalse en Timba únicamente o bien una combinación de embalses en Salvajina y Timba.
- (c) El uso de jarillones y rectificaciones sobre el Cauca únicamente, o bien en combinación con embalses en Salvajina o Timba.

Los detalles de comparación de costos de estas alternativas están en el Capítulo 7.

Se ha establecido en los informes anteriores y confirmado por observación que la capacidad del cauce del río Cauca es aproximadamente de  $550 \text{ m}^3/\text{s}$  en la Balsa y de  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  en Juanchito y por tanto, para obtener un control de avenidas efectivo en el río Cauca, se hace imperativo regular los caudales para que las capacidades anteriores no se excedan, o bien construir jarillones de suficiente altura para contener el caudal máximo esperado.

Debido a la regulación natural provista por la inundación de la llanura del valle, el hidrograma de avenida del río Cauca en Juanchito no será ya representativo de las condiciones que existirán una vez eliminadas dichas inundaciones. Por tanto, para examinar los efectos del control de avenidas, deben ajustarse los hidrogramas en Juanchito, teniendo en cuenta la eliminación del embalse natural por inundación, tal como se discute en el Apéndice B.

Los hidrogramas reconstituidos de las avenidas de 1949-50 y 1955-56, se ven en las Figuras 18 y 19. Se observa que al remover el efecto del embalse en el valle, la descarga de pico en Juanchito para la avenida de 1949-50 habría sido de  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$  en lugar del pico registrado de  $965 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para la avenida de 1956, el pico habría sido de  $1395 \text{ m}^3/\text{s}$  en lugar de  $788 \text{ m}^3/\text{s}$ .

5.62 Control de Avenidas con Embalse en Salvajina Únicamente

Para obtener el embalse necesario para proveer el control de avenidas por medio de Salvajina únicamente, se hicieron los estudios de las mayores avenidas tabulando los resultados en la Tabla 5-4. En cada caso, el caudal efluente del embalse se mantuvo al máximo compatible con la capacidad del cauce sin excederlo, tanto en la Balsa como en Juanchito. Se adoptó un promedio mínimo efluente del embalse de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , para permitir la operación de la planta de energía a capacidad máxima.

Las áreas de las hoyas aguas arriba de Salvajina, Timba y Juanchito, se detallan en seguida, evidenciándose que un embalse en Salvajina sólo tiene un control limitado sobre la escorrentía en Juanchito.

| Sitio     | Hoya<br>Area en $\text{Km}^2$ | Porcentaje<br>de la Hoya<br>hasta Juanchito |
|-----------|-------------------------------|---|
| Salvajina | 3.830                         | 43,1  |
| Timba     | 5.310                         | 59,5  |
| Juanchito | 8.890                         | 100   |

Según los cálculos hechos, la magnitud de la afluencia incontrolada entre Suárez y Juanchito, hace imposible mantener los caudales del Cauca dentro de los límites requeridos. Para conseguir esto, es necesario o bien proveer embalse adicional en Timba, o construir jarillones a lo largo del Cauca para aumentar la capacidad del cauce. Esto es cierto, aun en el caso de que la efluencia de Salvajina se redujera por debajo de los  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , mínimo requerido para energía.

Esta condición se demuestra gráficamente en la Figura 17 para la avenida de diseño de Febrero de 1950. El gráfico de la izquierda de esta figura, muestra los hidrogramas registrados en Suárez, la Balsa y Juanchito, así como el hidrograma de Juanchito, modificado con el efecto de la eliminación del embalse en la planicie del valle. El gráfico de la derecha muestra el efecto del embalse en Salvajina, y Salvajina y Timba combinados. Puede verse que:

(a) Con regulación únicamente en Salvajina, la descarga de pico en Timba se rebaja de  $1.180 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $620 \text{ m}^3/\text{s}$  aproximadamente, y en Juanchito rebaja de  $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $1.040 \text{ m}^3/\text{s}$ . De manera que entre estos lugares ocurrirán inundaciones todavía, a menos que se construyan jarillones para contener estas descargas.

(b) Con embalse adicional en Timba, la descarga de pico puede reducirse a la capacidad del canal, o sea  $550 \text{ m}^3/\text{s}$  en la Balsa y  $650 \text{ m}^3/\text{s}$  en Juanchito.



El embalse de Timba, además de proveer el control de las mayores avenidas, tiene otra función importante relacionada con las descargas de la planta de Salvajina, pues con una capacidad instalada de 430 mw, la descarga máxima de las turbinas con todas las unidades en operación será de 445 m<sup>3</sup>/s. Este caudal ocurrirá sólo por unas pocas horas al día, durante la carga de pico, y es mucho menor durante el resto de la jornada. Sin embargo, esta descarga de pico suplementada por el caudal de los tributarios entre Salvajina y Juanchito, causaría inundaciones varias veces al año. Es pues, esencial proveer una regulación aguas abajo de Salvajina, para tomar la descarga de las turbinas, o construir jarillones. Los cálculos muestran que un embalse de 10 millones de m<sup>3</sup> proveería la regulación necesaria.

En conclusión, la presa de Salvajina por sí sola, no puede proveer el control de avenidas y es necesario tomar medidas aguas abajo, para proveer la protección necesaria y regular la alta descarga de las turbinas.

#### 5.63 Control de Avenidas con Embalses en Timba y Salvajina

Como conclusión de informes previos, y como puede verse en la Tabla 5-4, un embalse de suficiente volumen en Timba es perfectamente capaz de controlar los caudales en la medida necesaria. En este caso, el embalse de Salvajina se operaría para energía únicamente, sin lugar a pérdidas por la operación para control de avenidas.

Sin embargo, proveyendo un almacenaje para control de crecientes en Salvajina, el volumen requerido en Timba puede reducirse hasta un mínimo de 100 millones de m<sup>3</sup>. La escogencia del volumen óptimo en Timba, es cuestión entonces de los resultados económicos que relacionan las pérdidas de energía en Salvajina con los respectivos volúmenes para control de avenidas, y las consiguientes variaciones en los costos de la presa de Timba. Estas comparaciones económicas se describen en el Capítulo 7, e indican que la distribución óptima de los volúmenes para control de avenidas es de 400 millones de m<sup>3</sup> en Salvajina y 140 millones de m<sup>3</sup> en Timba.

#### 5.64 Uso de Jarillones y Rectificaciones

Es posible también controlar las inundaciones del río Cauca, mediante la construcción solamente de jarillones a lo largo del río, que tengan altura suficiente para contener el caudal máximo de pico de la avenida de diseño, sin contar con el efecto de embalse en el valle, esto es, para una descarga en Juanchito de 1.600 m<sup>3</sup>/s, que es el pico estimado para Febrero de 1950. Por lo demás, debido a los niveles más altos de las aguas del río Cauca, los jarillones sobre los tributarios tendrían que aumentarse proporcionalmente.

Otro método para proveer el control de avenidas, consiste en la combinación de embalses en el río Cauca, con jarillones sobre el mismo, considerándose como óptima la que resulte más económica. Tal como se discute en el Capítulo 7, resulta más económico obtener el control de avenidas por medio de embalses que por cualquier otro método, tal como el de los jarillones. Para llegar a esta conclusión se consideró el uso de rectificaciones, es decir, cortes a través de los cuellos de los meandros. Estos cortes reducirían la longitud del río, y aumentarían la capacidad del cauce. Ya que el efecto de estos cortes es algo incierto, su principal ventaja se asume que es la reducción de la longitud y por consiguiente del costo de los jarillones. La solución a base de embalses y de cortes, pero sin jarillones, no se considera deseable ni necesaria.

Los datos básicos para las rectificaciones y los jarillones se toman del Informe Unificado. Ellos fueron obtenidos originalmente por observaciones y estimativos de campo. Algunos levantamientos que se hicieron en ese entonces no están disponibles. La Tabla 5-5 muestra la longitud de las rectificaciones y jarillones que se requerirían para protección contra inundaciones, para caudales en Juanchito que varían desde la capacidad segura del canal de 650 m<sup>3</sup>/s, para la cual no se necesitan jarillones, hasta la máxima descarga de 1480 m<sup>3</sup>/s que sería la que ocurriría si no se previera embalse. Los presentes estudios indican que esta descarga sería mayor, 1600 m<sup>3</sup>/s, pero ello no se tuvo en cuenta en el estudio de costos, bastando como consecuencia acentuar el énfasis sobre la economía de usar embalses únicamente.

TABLA 5-5

RECTIFICACIONES Y JARILLONES SOBRE EL RIO CAUCA

| Caudal en Juanchito<br>m <sup>3</sup> /s | Longitud jarillones sin rectificaciones<br>km | Longitud jarillones con rectificaciones<br>km | Longitud de las rectificaciones<br>km |
|--|---|---|---------------------------------------|
| 1480                                     | 565   | 335   | 38                                    |
| 1375 <sup>≠</sup>                        |   | 335   | 38                                    |
| 870                                      | 328   | 98  | 38                                    |
| 830 <sup>≠</sup>                         |   | 75  | 38                                    |
| 650                                      | 0   | 0   | 38                                    |

<sup>≠</sup> Caudal obtenido por interpolación entre otros tres valores.

## 5.7 SELECCION DEL PROGRAMA DE CONTROL DE AVENIDAS

Por la discusión anterior, se sigue que el embalse de Salvajina no puede por sí solo controlar las avenidas del Cauca, y deben tomarse medidas adicionales. El mejoramiento del canal del río constituye un medio más costoso de obtener control adicional, que el embalse en Timba y presenta además un mayor grado de incertidumbre respecto al estimativo del costo y al alcance de los problemas administrativos inherentes a su construcción. En consecuencia, se concluye que, el método más ventajoso para controlar las avenidas del río Cauca, consiste en construir un embalse de 400 millones de  $m^3$  en Salvajina y otro de 140 millones de  $m^3$  en Timba.

El mantenimiento de un nivel bajo en el embalse de Salvajina, para proveer almacenamiento para avenidas, causa una pérdida considerable de energía por la disminución de cabeza en las turbinas, pues el embalse debe operarse tan alto como sea posible. La curva de operación, que se muestra en la Figura 21, se trazó sobre la premisa de que la efluencia del embalse debe comenzar en Octubre 1º de cada año y continuar durante el mes para asegurarse que se llegará al nivel mínimo en Noviembre 1º. Octubre es uno de los meses más secos del año, de manera que aun para el caudal máximo registrado para este mes, es posible bajar el nivel del embalse del máximo al mínimo durante el mes, a través de las turbinas, sin causar inundaciones. El embalse permanecerá entonces al nivel mínimo hasta Febrero 1º, en cuya fecha empezará a llenar para llegar al máximo en Mayo 1º. Los registros de caudal indican sin embargo que en muchos años el embalse permanecerá por debajo de los niveles requeridos por la curva de operación durante este período debido a los caudales bajos de Febrero y Marzo.

El embalse de Timba permanecerá vacío a través del año a fin de poder recibir un volumen de 140 millones de  $m^3$  cuando fuere necesario; no obstante cabe la posibilidad de que pueda utilizarse después de Mayo, almacenando durante Junio, Julio y Agosto, para poder suministrar agua para irrigación durante el período seco, o para regular el caudal para el proyecto Cauca-Pacífico. Este aspecto de la utilización del embalse de Timba, requiere estudios adicionales.

Después de haber provisto la protección de avenidas del Cauca, se requiere todavía una protección contra la inundación por los tributarios. Varias medidas se han previsto, las cuales se muestran en la Figura 30, a saber: aumento de la capacidad de los canales por excavación, jarillones y desviaciones. Puesto que las tierras adyacentes están más bajas que las márgenes, tanto del río Cauca como de los tributarios, se incluyen estaciones de bombeo y canales para el avenamiento de esas zonas, lo cual permitirá usar la irrigación para ellas y para las tierras más altas.

TABLA 5-6

DIAS EN LOS CUALES EL CAUDAL EXCEDE DE 650 m<sup>3</sup>/s EN JUANCHITO

| Año  | Caudal Promedio Anual | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep | Observaciones                                       |
|------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---|
|      |                       |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1916 |                       |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1932 |                       |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1934 | 327                   |     |     |     | 3   |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Carretera Cali-Palmira inundada                |
| 1935 | 320                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Caminos inundados cerca a Juanchito            |
| 1936 | 260                   |     |     |     |     |     |     |     | 3    |     |     |     |     | S.R. Octubre a Diciembre                            |
| 1937 | 295                   | 8   | 5   |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Enero a Septiembre                             |
| 1938 | 372                   | 3   |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R.  |
| 1939 | 286                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Se cree haya sido igual a la creciente de 1950 |
| 1940 | 198                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Octubre a Diciembre                            |
| 1941 | 180                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1942 | 173                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1943 | 354                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1944 | 307                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1945 | 257                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1946 | 236                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1947 | 182                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1948 | 237                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1949 | 229                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1950 | 339                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1951 | 290                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. Octubre  |
| 1952 | 259                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1953 | 236                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1954 | 341                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1955 | 392                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1956 | 383                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1957 | 273                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1958 | 171                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1959 | 186                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1960 | 270                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1961 | 209                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1962 | 246                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1963 | 286                   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |   |
| 1964 |                       | 4   |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     | S.R. in registros                                   |

TABLA 5-7

DIAS EN LOS CUALES EL CAUDAL EXCEDE DE 550 m<sup>3</sup>/s EN LA BALSA

| Año  | Caudal Promedio Anual m <sup>3</sup> /s | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep |
|------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|      |   |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1946 | 176                                     |     | 3   |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1947 | 130                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1948 | 194                                     | 2   |     |     |     |     |     | 4   |      |     |     |     |     |
| 1949 | 176                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1950 | 321                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1951 | 197                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1952 | 182                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1953 | 163                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1954 | 218                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1955 | 289                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1956 | 299                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1957 | 167                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1958 | 124                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1959 | 139                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1960 | 155                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1961 | 145                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1962 | 165                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1963 | 215                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| 1964 | 168                                     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |

No hay registros de Mayo

TABLA 5-8

EXTENSION DE LAS ZONAS INUNDADAS

| Clasificación de las Avenidas | Zonas Sujetas a Inundación (ha) |               |                           | Total  |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------|
|                               | Arriba de Buga                  | Abajo de Buga | Entre Buga y Bugalagrande |        |
| <b>INFORME UNIFICADO</b>      |                                 |               |                           |        |
| En 1949-50                    | 47,800                          | 36,600        | -                         | 84,400 |
| En año promedio               | 41,200                          | 15,700        | -                         | 56,900 |
| Por tributarios               | -                               | -             | -                         | 15,300 |
| Por lluvias                   | -                               | -             | -                         | 15,200 |
| <b>ESTOS ESTUDIOS</b>         |                                 |               |                           |        |
| Ocasional                     | 10,845                          | -             | 8,195                     | 19,040 |
| Periódicas                    | 8,855                           | -             | 925                       | 9,780  |
| Frecuentes                    | 15,280                          | -             | 3,580                     | 18,860 |
| Permanentes                   | 4,180                           | -             | -                         | 4,180  |
| Total estos estudios          | 39,160                          | -             | 12,700                    | 51,860 |

NOTA: Las cifras del Informe Unificado incluyen Aguablanca y se refieren a todo el valle. Las cifras de estos estudios excluyen Aguablanca y comprenden el valle hacia el Norte, únicamente hasta Bugalagrande.

## CAPITULO 6

### IRRIGACION EN EL VALLE DEL CAUCA

#### 6.1 INTRODUCCION

El valle del río Cauca, es en general plano y fértil y por muchos años ha sido usado para agricultura, cultivándose una variedad de productos tales como caña de azúcar, café, arroz, maíz, algodón, plátano, soya, frijol y vegetales. Sin embargo en la actualidad, aproximadamente la mitad del área apta para agricultura es utilizada para pastoreo.

En muchas partes del valle, la producción agrícola está limitada por la falta de lluvia, que ocasiona períodos secos que dañan las cosechas. Para cultivos tales como frijol y maíz la incidencia de estos períodos secos hace que los agricultores demoren las siembras, tengan a veces que repetirlas y aun en ocasiones pierdan totalmente las cosechas, dando lugar a la reducción del período de cultivo y a rendimientos más bajos. Por lo tanto, como medio para mejorar la agricultura en el valle, se ha dado considerable atención en las dos últimas décadas a la irrigación. Para los dos cultivos principales, caña y arroz, la irrigación es virtualmente una necesidad y de hecho es utilizada por los mayores cultivadores.

En 1950, la firma de ingenieros consultores Olarte, Ospina, Arias y Payán (OLAP), publicó un informe titulado "Plan General de Irrigación". Este informe expone un plan de conjunto para la irrigación del valle, cuyos aspectos principales comprenden un embalse en Timba y dos canales a nivel superior que partiendo del embalse recorren las tierras agrícolas por ambas márgenes del río Cauca.

Posteriormente, en el "Informe Unificado", publicado en 1956, el plan de irrigación contempla dos canales a nivel inferior, a partir del túnel de fuga del Proyecto de Timba. De estos canales, el de la margen izquierda llega hasta Cali, y el de la margen derecha hasta el río Sonso, permitiendo regar por gravedad las tierras comprendidas entre sus cauces y el río Cauca. Para las zonas a nivel superior al de los canales, el riego se logra derivando aguas de los tributarios o por bombeo desde los canales, en tanto que la mayoría de las zonas del valle ubicadas abajo de la parte angosta del mismo, se irrigan por bombeo directo desde el río Cauca.

El esquema anterior constituye la conclusión del estudio más completo hecho respecto a irrigación del valle y, puesto que el análisis detallado de las obras necesarias para esta finalidad están fuera del alcance del presente informe, se adopta este plan como base para el estudio de los requisitos de irrigación y para el avalúo de los beneficios derivados del Proyecto Múltiple de Salvajina.

La función de Salvajina, por cuanto hace a la irrigación, será:

(a) Aumentar el caudal mínimo, tanto a la entrada de los canales como en el río, si ello fuere necesario.

(b) Minimizar el costo de las estructuras de desviación necesarias para los canales en Timba.

(c) Proveer protección contra las avenidas y facilitar avenamientos adecuados que permitan el uso de la irrigación en aquellas zonas donde hoy no es posible, debido a las inundaciones frecuentes.

## 6.2 ZONAS QUE PUEDEN MEJORARSE POR IRRIGACION

Desde la publicación de los informes antes mencionados, se han hecho investigaciones adicionales para los proyectos Roldanillo, La Unión-Toro (Referencia 54) y Cartago-La Victoria, ambas en el extremo norte del valle. Al mismo tiempo, se adelantó un levantamiento detallado de los suelos de la parte plana del valle, cuyos resultados fueron materia de un informe publicado en 1957 (Referencia 57). Un levantamiento más detallado, hecho recientemente, se está preparando para su publicación. Estas investigaciones indican que una irrigación propiamente ejecutada, puede aumentar considerablemente los rendimientos de los cultivos existentes y permitir otros cultivos de mayor rendimiento, en zonas en donde hoy no son posibles por la falta de agua.

Se estima que casi toda la extensión de la tierra plana, puede recibir el beneficio de la irrigación. Como parte del estudio de suelos mencionado, se hizo una evaluación de la adaptabilidad de los diferentes tipos de suelos para agricultura y se examinó la manera de mejorar el uso de la tierra. Se estima que para incrementar la productividad del total de las 425.110 ha levantadas, se deben tomar las siguientes providencias:

Control contra erosión para 11.115 ha  
Control de avenidas únicamente, para 47.745 ha  
Control de avenidas y avenamiento artificial  
para 62.930 ha  
Avenamiento artificial únicamente, para  
133.180 ha  
Irrigación para 170.140 ha

Estas conclusiones, aun cuando de carácter preliminar únicamente, indican sin embargo la importancia relativa de los varios tipos de mejoras y la necesidad de proveer tanto el control de avenidas como el avenamiento, en calidad de complementos para la irrigación, a fin de lograr el aprovechamiento total de las tierras.



Además, se ha encontrado que a causa de la alta alcalinidad y del ocasional contenido de sal de algunos suelos del valle, es recomendable ejecutar análisis de suelos antes de dar comienzo a proyectos costosos de irrigación.

El área total del valle en la parte plana, incluyendo el del Risaralda, es de 395.000 ha, de las cuales 73.000 ha están o estarán a corto plazo ocupadas por desarrollos urbanos, caminos, aeropuertos, ríos, etc. La zona está dividida en dos partes:

(a) La porción ancha, de Buga hacia arriba, con una superficie plana de 260.000 ha, que incluye una extensión neta estimada de 210.000 ha apta para agricultura, y

(b) La porción entre Buga y la Virginia, con una extensión plana de 135.000 ha, de las cuales 112.000 ha son apropiadas para la agricultura.

Los canales y acequias requeridos para una adecuada irrigación y avenamiento, reducen la superficie disponible para desarrollo en un 10%, de manera que la extensión que efectivamente puede irrigarse es de 290.000 ha aproximadamente, de las cuales, 190.000 ha están situadas de Buga para arriba y 100.000 entre Buga y la Virginia. No todos los tipos de suelos llenan los requisitos necesarios para producir cosechas sostenidas de alto rendimiento ni aun con irrigación, ni todos los agricultores tienen el suficiente capital para operar un sistema de irrigación con éxito. Por consiguiente, es necesario considerar una reducción adicional, que para los fines de este informe, se estima en 20%, o sea que sólo el 80% del área total agrícola, habrá de ser aprovechable para irrigación.

Según esto, la extensión irrigable del valle se estima finalmente en 152.000 ha arriba de Buga y en 80.000 ha entre Buga y la Virginia, o sea un total de 232.000 ha.

### 6.3 DISTRIBUCION DE CULTIVOS

Los consumos de agua para irrigación, dependen entre otras cosas de los tipos de cultivos que se explotan, cuyo plan de cultivos cambia continuamente, como puede verse en la Tabla 6-1, que muestra el porcentaje promedio de la tierra ocupada por los diversos cultivos en los años de 1956 y 1964. Asimismo, la tabla muestra las posibles distribuciones de siembras consideradas en el "Informe Unificado" y en el "Informe de Roldanillo", con base en la irrigación.

TABLA 6-1

DISTRIBUCION DE CULTIVOS EN EL VALLE DEL CAUCA

Porcentaje de Zonas en Uso Agrícola

| Cultivo        | Distribución Real |      | Distribución Supuesta con Base en Irrigación |                                |
|----------------|-------------------|------|--|--------------------------------|
|                | 1956              | 1964 | Según el Informe Unificado                   | Según el Informe de Roldanillo |
| Arroz          | 4                 | 2    | 10   | 20                             |
| Caña de Azúcar | 15                | 24   | 24   | 20                             |
| Maíz           | 4                 | 8    | 8  | 15                             |
| Hortalizas     | -                 | 2    | 8  | 5                              |
| Pastos         | 66                | 48   | 15   | 5                              |
| Vegetales      | -                 | 1    | 4  | 10                             |
| Fríjoles       | 3                 | 2    | 8  | 5                              |
| Algodón        | -                 | 9    | 7  | 20                             |
| Otros          | 8                 | 4    | 16   | -                              |
| TOTAL          | 100               | 100  | 100  | 100                            |

Una comparación entre los cultivos de 1956 y de 1964 y de los que se asumen con irrigación, indican una tendencia marcada hacia una reducción en los pastos y un aumento anual en los otros cultivos estacionales.

Puesto que ya se ha hecho un estudio completo del consumo de agua para los cultivos de Roldanillo-La Unión-Toro, estas mismas ratas se han hecho extensivas para los cultivos en todo el valle, comprobándose posteriormente que los estimativos del agua requerida para los dos planes de distribución mostrados arriba, dan resultados similares.

#### 6.4 CONSUMOS DE AGUA POR CULTIVOS

El agua que consumen las plantas para su crecimiento varía con el tipo de ellas, el clima y la fase de crecimiento. De conformidad con el "Informe Unificado" y con el "Informe de Roldanillo", el consumo de agua de las plantas se ha calculado por el método Blaney-Criddle, el cual consiste en determinar el consumo de agua, "U", por la fórmula  $U = KF$ , en la cual K es un coeficiente determinado empíricamente y F es una función de las condiciones climatéricas.

La Tabla 6-2 muestra una comparación de los valores de K usados en el "Informe Unificado" y en el "Informe de Roldanillo". Los usados en el "Informe de Roldanillo" son más bajos que los preliminares

del Informe Unificado. Sin embargo, la experiencia ha mostrado que los valores más bajos han dado resultados satisfactorios en climas más calientes y áridos que los del valle y son por tanto los que se usan en este informe.

TABLA 6-2  
COEFICIENTES (K) DE CULTIVOS

| Cultivo        | Informe Unificado | Informe de Roldanillo |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| Arroz          | 1,40              | 1,20                  |
| Caña de Azúcar | 1,00              | 0,90                  |
| Maíz           | 0,80              | 0,85                  |
| Plátano        | 1,20              | 0,80                  |
| Pastos         | 0,80              | 0,75                  |
| Frijoles       | 0,70              | 0,70                  |
| Vegetales      | 0,70              | 0,65                  |
| Algodón        | 0,80              | 0,63                  |

Puesto que los valores K usados, son más bajos que los del "Informe Unificado", el consumo total de agua para irrigación del valle con la base actual, será menor que el estimativo original.

#### 6.5 DEMANDA TOTAL DE AGUA PARA IRRIGACION

##### 6.51 Bases para la Determinación del Consumo Unitario de Agua

En el "Informe de Roldanillo", el consumo promedio diario de agua de irrigación de cada mes, se calculó para los años de 1946 a 1960, usando el plan de cultivos indicado previamente y cuyos valores se dan en la Tabla 6-3. El consumo para irrigación se define como el consumo del cultivo en sí menos la lluvia disponible. Aun cuando la precipitación pluvial en la zona de Roldanillo, no es exactamente la misma que en el resto del valle, durante los meses secos es lo bastante semejante como para permitir hacer extensivo el uso de los valores de irrigación en Roldanillo, al resto del valle.

Al determinar la cantidad de agua que debe suministrarse para irrigación, la condición crítica resulta de la combinación más desfavorable del consumo para irrigación y del caudal del río. La Tabla 6-4 muestra los caudales más bajos mensuales registrados en Juanchito en el período de 1946 a 1963. El examen de esta tabla conjuntamente con la Tabla 6-3, muestra que el caudal más bajo y el consumo para

irrigación más alto, ocurren en Septiembre. Este mes, en consecuencia, puede considerarse crítico para el establecimiento de los consumos de agua para irrigación. Puesto que no es económicamente deseable diseñar el sistema de irrigación para el período más seco registrado, se decidió hacer una previsión total, para un período seco de una periodicidad de 10 años. La Tabla 6-3 muestra también el consumo de agua de periodicidad de 1 en 10 años según una base mensual, de donde, como consumo de diseño para todo el valle, se escogió la cifra de 3,4 mm. Los registros de caudal del Cauca y sus tributarios muestran que los caudales para el mes de Septiembre de 1958 son muy bajos y que su periodicidad es de 10 años. Los caudales registrados durante dicho mes y que se muestran en la Tabla 6-5, se adoptaron para investigar la disponibilidad de agua necesaria para satisfacer los consumos de irrigación.

Aun cuando la cantidad de agua requerida por las plantas es la que se indica en la Tabla 6-3, el suministro real de agua a una finca debe ser obviamente superior, a causa de las pérdidas por percolación y otras. En este análisis se asume que la eficiencia de manejo del agua sea del 70% y además una pérdida adicional del 18% debida a la percolación y evaporación en los canales de alimentación, dando como resultado una eficiencia final de 57,5%. Así pues, aun cuando las plantas requieran únicamente 3,4 mm por día, o  $3,95 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$  en el período crítico, el suministro real de agua para satisfacer la demanda de las plantas debe ser  $6,90 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{ha}$ .

Un gran porcentaje de las pérdidas de irrigación proviene de la percolación. El agua que se pierde así en las zonas altas regresa al subsuelo y puede recuperarse en las zonas bajas bombeando de pozos, siendo así posible aumentar la eficiencia del uso del agua. En caso de que el caudal de percolación no se recupere, eventualmente volverá al río Cauca y podrá usarse nuevamente bombeando desde allí. Para los propósitos de este informe, se asume que únicamente 20% de las pérdidas totales no es recuperable ni por bombeo de pozos ni desde el Cauca.

#### 6.52 Plan de Irrigación Adoptado

Para la derivación del agua requerida, se ha adoptado el siguiente plan de irrigación para las diferentes zonas que se indican en la Tabla 6-6 y en la Figura 20, así:

- (a) Las tierras agrícolas localizadas en la cercanía de las cordilleras se regarán por agua tomada de los tributarios.
- (b) Inmediatamente aguas abajo de las zonas (a), se instalarán bombas para utilizar el caudal efluente de las tierras altas.

(c) Dos canales alimentadores principales se construirán partiendo de la presa de Timba, uno en la margen izquierda hasta Cali y otro en la margen derecha hasta Sonso.

(d) Las zonas aguas abajo de los canales se irrigarán directamente desde los mismos o por bombeo del caudal recuperado.

(e) Las zonas arriba de los canales se irrigarán por bombeo desde ellos mismos.

(f) Algunas zonas a lo largo de las márgenes del Cauca se irrigarán por bombeo directo desde el río.

### 6.53 Consumo Total de Agua en los Períodos Críticos de Irrigación

Usando los caudales para el período crítico de irrigación, Septiembre de 1958, mostrados en la Tabla 6-5, se encontró posible distribuir el caudal sin regular del río Cauca y el de sus tributarios, de manera que todas las tierras irrigables en el valle pudieran ser regadas (Véase Tabla 6-6 y Figura 20). Sin embargo, al hacer esto el caudal en el río en este mes seco bajaría a 15 ó 20 m<sup>3</sup>/s aguas abajo de Cali, que es considerablemente inferior al mínimo registrado en Juanchito de 53 m<sup>3</sup>/s. Es pues necesario determinar el caudal mínimo permisible.

Se considera que con modificaciones menores a la bocatoma del acueducto de Cali, se puede mantener un suministro adecuado de agua para la ciudad durante este período, fuera de que el canal principal de irrigación puede constituir una fuente alternativa de suministro. Pero aun cuando la planta de purificación parece capaz de resolver el problema de la polución del agua que resultaría de este caudal bajo, de todos modos la calidad final del líquido disminuiría por debajo de un nivel satisfactorio.

Además, aguas abajo de Cali, grandes cantidades de aguas residuales industriales entran al río, hasta tal punto que aún hoy día la fauna acuática se perjudica durante los períodos de caudal bajo. Por lo tanto, una mayor reducción del caudal aumentaría estos daños, y ofrecería peligro para la salud de los habitantes de la zona. Se cree que la situación puede mejorarse notablemente con tratamiento adecuado de los residuos industriales. Sin embargo, aun cuando se pudiera regular muy rígidamente el tratamiento de los residuos, el establecimiento de nuevas industrias contribuirá a aumentar la polución del río. Este problema ha sido investigado por personal de las Universidades del Valle y de Tulane, (Referencias 58 y 59), habiéndose llegado a la conclusión de que los proyectos sobre el río, deben propender a aumentar los caudales bajos actuales.

Por las razones anteriores, se decidió que una reducción de caudal en el río Cauca a un nivel tan bajo como 15 ó 20 m<sup>3</sup>/s no es aceptable. La determinación del valor aceptable del caudal mínimo que satisfaga todos los requisitos, incluyendo irrigación, polución, y la posible desviación al Pacífico, requiere se hagan estudios adicionales.

El aumento de la descarga del río Cauca durante los períodos de caudal bajo, que se consiga mediante la operación de los embalses de Salvajina y Timba, es esencial para mejorar las condiciones del río que permitan la irrigación total del valle a que se aspira, al mismo tiempo que se satisfacen los requisitos del mínimo caudal.

## 6.6 CONCLUSIONES

El anterior análisis de los requisitos para irrigación del valle, conduce a las siguientes conclusiones:

- (a) El río Cauca y sus tributarios disponen del caudal suficiente para permitir la irrigación de todas las tierras adecuadas del valle durante el mes crítico de periodicidad de 10 años, pero en tales condiciones, el caudal no regulado del río Cauca decrecería hasta un punto en que la polución sería inaceptable.
- (b) El proyecto de Salvajina entraña un beneficio de irrigación directo, ya que aumentará el caudal mínimo del río hasta el punto que se podrá realizar la irrigación total, al mismo tiempo que se mantendrán condiciones aceptables en relación con la polución, fauna acuática y salud pública.
- (c) Asimismo, Salvajina involucra un gran beneficio indirecto de irrigación, dado que como resultado del control de avenidas que provee, se hace posible irrigar una zona adicional de 50.000 ha, que de otro modo no serían aprovechables, debido a las frecuentes inundaciones.
- (d) La construcción de una presa en Timba, facilita y reduce el costo de la bocatoma para los canales principales de irrigación. La de la presa de Salvajina, no contribuye por este aspecto.

TABLA 6-3

PROMEDIO DIARIO DE LOS CONSUMOS PARA IRRIGACION  
EN EL VALLE DEL CAUCA (mm)

| Año  | 1947 | 1948 | 1949 | 1950 | 1951 | 1952 | 1953 | 1954 | 1955 | 1956 | 1957 | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | Uno en<br>Diez<br>Años |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|
| Ene  | 2,1  | 2,8  | 2,1  | 1,7  | 1,3  | 2,4  | 2,5  | 1,4  | 1,9  | 1,5  | 2,4  | 2,7  | 2,6  | 2,0  | 3,1  | 1,7  | 2,7                    |
| Feb  | 2,5  | 2,3  | 1,9  | 0,3  | 0,8  | 2,2  | 1,7  | 1,6  | 1,4  | 0,1  | 2,1  | 2,7  | 2,5  | 1,3  | 2,4  | 1,6  | 2,6                    |
| Mar  | 3,5  | 2,7  | 0,5  | 0,9  | 2,0  | 2,3  | 1,1  | 2,9  | 0,4  | 2,6  | 1,7  | 1,2  | 1,3  | 2,2  | 1,9  | 2,4  | 3,2                    |
| Abr  | 1,1  | 1,0  | 0,6  | 0,8  | 0,6  | 0,6  | 0    | 1,8  | 0    | 0,2  | 1,2  | 0,3  | 1,6  | 0,1  | 0,1  | 2,3  | 2,0                    |
| Mayo | 0,3  | 0    | 1,9  | 0    | 0,3  | 0,3  | 0,7  | 0,5  | 2,5  | 1,4  | 0,5  | 2,6  | 0,6  | 1,0  | 1,3  | 3,2  | 3,0                    |
| Jun  | 0,3  | 2,8  | 1,8  | 0,2  | 1,0  | 1,7  | 4,1  | 0,7  | 1,3  | 0,2  | 3,8  | 3,2  | 0    | 0,7  | 0,7  | 3,7  | 3,8                    |
| Jul  | 0,9  | 2,5  | 1,3  | 3,5  | 1,8  | 0,3  | 2,9  | 0,4  | 0,1  | 1,8  | 3,2  | 3,5  | 2,2  | 0,6  | 3,0  | 2,4  | 3,3                    |
| Ago  | 2,6  | 1,9  | 1,2  | 0,6  | 0,3  | 1,0  | 2,8  | 1,2  | 1,8  | 1,9  | 2,8  | 2,8  | 0,9  | 0,9  | 2,2  | 2,8  | 2,7                    |
| Sep  | 0,8  | 0,8  | 2,3  | 1,1  | 0,8  | 2,9  | 0,5  | 2,6  | 1,7  | 1,5  | 3,7  | 2,7  | 2,9  | 1,4  | 2,4  | 2,1  | 3,4                    |
| Oct  | 0,6  | 1,9  | 2,4  | 1,9  | 0    | 0,4  | 0,6  | 0,3  | 0,7  | 0    | 2,7  | 0    | 2,2  | 0,3  | 1,8  | 0,3  | 2,5                    |
| Nov  | 0,2  | 3,5  | 0,3  | 0,2  | 2,5  | 0,7  | 0,8  | 2,7  | 0    | 2,4  | 2,3  | 2,7  | 0    | 2,2  | 4,0  | 3,3  | 3,3                    |
| Dic  | 3,0  | 3,0  | 2,4  | 3,4  | 1,3  | 0    | 2,7  | 0    | 3,0  | 2,1  | 2,6  | 1,0  | 0,1  | 3,2  | 2,8  | 4,0  | 3,6                    |

TABLA 6-4

CAUDALES MINIMOS REGISTRADOS EN EL RIO CAUCA (m<sup>3</sup>/s)

|      | La Balsa         |                          | Juanchito        |                          |
|------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|
|      | Caudal<br>Mínimo | Segundo Caudal<br>Mínimo | Caudal<br>Mínimo | Segundo Caudal<br>Mínimo |
| Ene  | 138              | 159                      | 154              | 181                      |
| Feb  | 111              | 120                      | 126              | 144                      |
| Mar  | 93               | 110                      | 119              | 129                      |
| Abr  | 87               | 133                      | 115              | 160                      |
| Mayo | 115              | 139                      | 163              | 212                      |
| Jun  | 126              | 133                      | 161              | 183                      |
| Jul  | 91               | 103                      | 173              | 176                      |
| Ago  | 79               | 82                       | 100              | 104                      |
| Sep  | 53               | 58                       | 71               | 74                       |
| Oct  | 70               | 83                       | 91               | 95                       |
| Nov  | 116              | 142                      | 213              | 230                      |
| Dic  | 169              | 181                      | 217              | 255                      |



TABLA 6-5

## DESCARGA PROMEDIA MENSUAL DEL RIO CAUCA Y DE SUS MAYORES TRIBUTARIOS

EN SEPTIEMBRE 1958

| Río                      | Area de la Hoya<br>km <sup>2</sup> | Descarga<br>m <sup>3</sup> /s |
|--------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Río Cauca en La Balsa    | 5.310                              | 59                            |
| Río Cauca en Juanchito   | 8.890                              | 74                            |
| Río Cauca en Buga        | 12.760                             | 96 <sup>#</sup>               |
| Río Cauca en La Virginia | 22.440                             | 143                           |
| Río Jamundí              | 98                                 | 1,0                           |
| Río Claro                | 101                                | 1,3                           |
| Río Palo, aguas arriba   | 926                                | 5,4                           |
| Río Amaime               | 447                                | 3,4                           |
| Río Cali                 | 115                                | 1,0                           |
| Río Tuluá                | 684                                | 4,4                           |
| Río La Vieja             | 2.870                              | 21,0                          |

# Estimado

Nota: Las hoyas y caudales se toman de "Información Hidráulica zona 6 - Alto Cauca", publicado por el Instituto de Aprovechamiento de Aguas y Fomento Eléctrico, Bogotá, 1964.

TABLA 6-6

DISTRIBUCION DE ZONAS IRRIGABLES EN LA PARTE PLANA DEL VALLE DEL CAUCA  
(Superficie en Hectáreas)

|                  | Area Plana<br>Total | Area Neta<br>Irrigable | Areas irrigadas (ha) :                        |                           |                                      |
|------------------|---------------------|------------------------|---|---------------------------|--------------------------------------|
|                  |                     |                        | Por Desviación<br>de Tributarios<br>del Canal | Por Gravedad<br>del Canal | Por Bombeo<br>del Canal<br>del Cauca |
| Arriba de Buga   |                     |                        |   |                           |                                      |
| Margen izquierda | 211.000             | 130.000                | 33.700  | 65.000                    | 31.300                               |
| Margen derecha   | 49.000              | 22.000                 | 5.300   | 16.700                    |                                      |
| Total            | 260.000             | 152.000                | 39.000  | 81.700                    | 31.300                               |
| Abajo de Buga    |                     |                        |   |                           |                                      |
| Margen izquierda | 91.000              | 54.000                 | 37.300  |                           | 16.700                               |
| Margen derecha   | 44.000              | 26.000                 | 15.000  |                           | 11.000                               |
| Total            | 135.000             | 80.000                 | 52.300  |                           | 27.700                               |
| Gran Total       | 395.000             | 232.000                | 91.300  | 81.700                    | 31.300                               |
|                  |                     |                        |   |                           | 27.700                               |

## CAPITULO 7

### ORDENACION DE ALTERNATIVAS PARA EL PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA

#### 7.1 INTRODUCCION

##### 7.11 Descripción General

Este capítulo tiene esencialmente los dos objetivos siguientes:

(a) Formular los estimativos de costos para todos los planes alternativos considerados en el estudio del proyecto múltiple de Salvajina, tal como se explican en los Capítulos 4, 5 y 6, y

(b) Describir y comparar las principales alternativas estudiadas para una presa en el sitio de Salvajina, con la altura, volumen de embalse, y capacidad instalada, que se adoptaron como resultado de los estudios del proyecto hasta ahora realizados.

El capital y los costos anuales de los proyectos de energía de los sistemas interconectados, usados en la comparación de las diferentes secuencias de construcción de plantas del Capítulo 4, así como los costos de las plantas térmicas, están incluidos en dicho capítulo. Respecto a los costos y beneficios para el proyecto de Salvajina, que finalmente se adoptaron, se insertan en el Capítulo 9.

En este capítulo sólo se tratan las variaciones más importantes que se consideraron para la presa de Salvajina, en tanto que en el Octavo, se hacen las comparaciones más detalladas de los diferentes aspectos del proyecto que condujeron a la disposición final escogida.

##### 7.12 Bases para Costos

Todos los costos que aquí se establecen están basados en los niveles de precios para construcción local en 31 de Octubre de 1964.

En la Tabla 7-1, se indican los costos indirectos, expresados en proporción a los costos directos, usados para establecer los valores totales comparativos de todos los tipos de proyectos considerados en los estudios de factibilidad. Cuando quiera que la comparación de costos se hizo para variaciones dentro de una misma estructura, como por ejemplo un cambio en la altura de la presa en Salvajina o la variación en la localización del vertedero, los valores de la columna "Costos Comparativos Indirectos", se aplicaron a los costos directos, para obtener el "Costo Total Comparativo", y cuando la comparación de costos se hizo para estructuras de diferentes tipos o localización, tal como la presa de Timba y el mejoramiento del río Cauca, o entre

las presas de Timba y Salvajina, los valores de la columna "Costos Totales Indirectos" se aplicaron a los costos directos para obtener "Costos Totales de Construcción", cuyas cifras se han utilizado para las comparaciones.

Asimismo, la Tabla 7-1 tabula los porcentajes de costos de capital que deben aplicarse anualmente para operación, mantenimiento, seguros, y reposiciones transitorias para las diferentes estructuras; estos gastos anuales se convirtieron a costos de capital, que se agregaron a los costos totales, cuando quiera que estos cargos anuales difirieron en los aspectos que se comparan. El efecto de incorporar los cargos anuales, adquiere significación cuando se comparan los costos de las estructuras de mejoramiento de los ríos, en donde los costos anuales de operación y mantenimiento son altos, con otros medios alternativos de control de avenidas, tales como las presas de Timba y Salvajina.

## 7.2 ESQUEMAS ALTERNATIVOS CONSIDERADOS PARA LA FORMULACION DEL PROYECTO

### 7.21 Presa de Salvajina

#### (a) Escogencia del Sitio

El sitio para la presa de Salvajina, toma su nombre de la quebrada Salvajina (ver Figura 2) y ha sido considerado como posible ubicación para una presa por más de veinte años, y tanto los reconocimientos hechos en estudios pasados, así como en los actuales llevados a cabo por CVC, no han puesto en evidencia un sitio más adecuado. Tanto los estudios geológicos como topográficos, muestran que el lugar es apropiado para la construcción de una presa alta, y con la ventaja que la zona cubierta por el embalse, no está explotada y se encuentra más bien deshabitada.

#### (b) Estudios Anteriores

El estudio anterior más reciente para la presa de Salvajina, fue hecho en 1956 y publicado en el "Informe Unificado", que proponía una presa alta, con elevación máxima del embalse a la cota de 1174 m y volumen útil de 800 millones de m<sup>3</sup> para energía y de 250 millones de m<sup>3</sup> para control de avenidas. La capacidad instalada inicial era de 180 mw y la final de 270 mw.

Este proyecto era no obstante de carácter preliminar, y estaba basado en estudios geológicos superficiales, ya que por ese tiempo no se hicieron exploraciones del subsuelo. El proyecto comprendía una presa de concreto de gravedad de eje ligeramente curvo, una casa de máquinas localizada en el lecho del río al pie de la presa,

y un rebosadero de canal inclinado en el estribo derecho. Un único túnel de desviación, estaba situado también en el estribo derecho.

(c) Estudios Preliminares del Tipo de Presa

Aun cuando el proyecto del informe de 1956, asumía la construcción previa de una presa en Timba, se juzgó propio utilizarlo al comienzo de los presentes estudios y, en consecuencia, se hicieron inicialmente investigaciones comparativas para presas con una elevación normal máxima del embalse de 1174,0. Existiendo grandes cantidades de gravas gruesas, procedentes de desechos de dragado, en la proximidad del sitio de la presa y hacia aguas abajo, se proyectó una presa de relleno usando este material, y se comparó su costo con el de un dique de gravedad en concreto. Inmediatamente se hizo evidente que la presa de relleno era considerablemente más barata. Estudios posteriores de una presa de enrocado, indicaron economías aún mayores, por lo cual las comparaciones finales de alturas de presa, se hicieron para este tipo de material.

(d) Altura Optima de la Presa, Volumen del Embalse y Capacidad de la Planta

Para hacer los estudios de energía y control de avenidas, y para determinar la altura óptima de la presa, el volumen del embalse y la capacidad de la planta (ver Capítulo 4), fue necesario estimar los costos para estas variables, elaborándose los estimativos para alturas de presa correspondientes a elevaciones normales del embalse de 1163, 1174 y 1198 m, y capacidades de planta desde 210 mw hasta 430 mw. Los resultados aparecen en la Tabla 7-2, y corresponden a un proyecto de presa de enrocado de características similares a las que finalmente se adoptaron. En las curvas de la Figura 11, que se usaron para determinar la altura de la presa y el volumen del embalse, se ajustaron los costos en correspondencia con los volúmenes activos de embalse indicados.

(e) Proyecto Exclusivo de Energía

Con el objeto de distribuir los costos del proyecto múltiple (ver Capítulo 9), fue necesario determinar los costos para proyectos separados de energía y de control de avenidas, en el sitio de Salvajina, cada cual capaz de proveer los mismos beneficios respectivos del proyecto múltiple.

Para el proyecto separado de energía, se consideró una presa de enrocado similar a la del proyecto múltiple. El volumen activo de embalse para generación fue de 76 millones de  $m^3$ , y la elevación máxima normal se fijó en 1167,0 m. La cabeza neta promedio fue la misma que la del proyecto múltiple y la capacidad instalada 430 mw como antes. La localización del rebosadero, conductos de carga y estructuras, al igual que el plan general de desviación, son idénticos al del proyecto múltiple.

La consideración de un proyecto exclusivo para energía en Salvajina, requiere la provisión de un embalse que regule las descargas de la planta, aguas abajo de ésta. A este fin se localizó unos 9 km abajo de Salvajina y a través del río, una estructura de concreto de poca altura, con compuertas, capaz de proveer un embalse de 10,75 millones de m<sup>3</sup> (9 millones útiles). La estructura alberga tres compuertas radiales de 15,0 x 6,6 m soportadas en machones anclados sobre un umbral de concreto, en forma de cresta, que se profundiza hasta encontrar el suelo apropiado, que se completa con rellenos de tierra a cada lado de la estructura. También se previó construir una losa de entrada hasta la cresta y una estructura de salida, diseñadas para disipar la energía cuando las compuertas estuvieran parcialmente abiertas. Se incluyó además un muro de cortina al final de la estructura, que se bajaría hasta encontrar fundación firme. Aun cuando en este sitio no se han hecho exploraciones para estudio de fundaciones, el examen del terreno muestra afloraciones de roca al nivel del río, el cual corre formando rápidos, de manera que es razonable suponer haya de encontrarse suelo rocoso para fundación a poca profundidad.

El costo total de construcción (sin incluir los gastos anuales) para el proyecto separado de energía, es el equivalente a US\$88'811.000, que adicionado con el costo del embalse de regulación aguas abajo, de US\$2'554.000, da un total de US\$91'365.000.

(f) Proyecto Exclusivo para Control de Avenidas

Para el proyecto exclusivo de control de avenidas, en el sitio de Salvajina, se consideró una presa de enrocado, con una elevación en la cresta de 1146,5 m, la cual proveería un embalse para control de avenidas de 400 millones de m<sup>3</sup>, complementada con el mismo embalse adicional de 140 millones de m<sup>3</sup>, programado en Timba para el proyecto múltiple. Los dos túneles de desviación, fueron localizados sobre el estribo izquierdo y finalmente formarían parte del túnel del vertedero, además de la posibilidad de ser usados para la descarga normal del río. El túnel del rebosadero estaría formado por dos pozos gemelos inclinados, controlados cada uno por una compuerta radial de 10,5 x 11,0 m, y que terminan en un cuenco de dispersión alejado del pie de la presa. La descarga normal del río se controlaría por medio de una compuerta reguladora, localizada en un "by-pass" alrededor de cada uno de los tapones de los túneles. Estas salidas se diseñaron para permitir el paso de 350 m<sup>3</sup>/s, supuesta una elevación del embalse de 1080 m, que corresponde al nivel del umbral del pozo de entrada de 4,0 m de diámetro que conecta con cada túnel. Se previó además un acceso a estas compuertas, a través de un túnel que arranca del talón de aguas abajo de la presa.

El costo total de construcción, (sin incluir gastos anuales), para el proyecto exclusivo de control de avenidas en Salvajina, es equivalente a US\$35'313.000, que sumado al costo total de construcción de la presa para control de avenidas de Timba, de US\$15'596.000, da un total de US\$50'909.000.

## 7.22 Mejoras en el Río Cauca

### (a) Descripción General

El "Informe Unificado" de 1956, consideró la solución del control de avenidas mediante la operación, regulada según una cierta curva, de los embalses de Salvajina y Timba, conjuntamente con el mejoramiento del canal del río Cauca aguas abajo de las presas. El mejoramiento del cauce considerado para el proyecto de Timba, representaba un costo de 16 millones de pesos y US\$ 3,6 millones, o sea un total de US\$10,0 millones (actualmente el equivalente es US\$12,4) y requería además la construcción de 98 km de jarillones con alturas variables entre 1,50 y 2 m, y el dragado de 38 km de rectificaciones en el río.

Puesto que no es posible conseguir el control completo del río Cauca, únicamente con una presa en el sitio de Salvajina, estos estudios investigan la posibilidad, tal como se describe en el Capítulo 5, de obtener control adicional de avenidas, aguas abajo de Salvajina, con una presa en el sitio de Timba, jarillones y rectificaciones del río Cauca, o una combinación de los tres.

### (b) Bases para Costos

Los costos para los jarillones y rectificaciones, correspondientes a diferentes descargas en Juanchito, se han determinado tomando como base las longitudes establecidas en los estudios hechos en 1955 para el "Informe Unificado". Los resultados están resumidos en el Capítulo 5. De acuerdo con dicho informe, se consideraron jarillones de una altura media de 2 m desde la Balsa hasta Buga, y de alrededor de 1,5 m abajo de dicha ciudad. El área de las zonas inundadas que originan los jarillones, se asumió como antes y las adquisiciones de tierras se estimaron en el equivalente de US\$1.000 por hectárea.

Los jarillones se han presupuestado con base en el costo de la excavación y colocación del material con cuchara de arrastre y su regado y compactación por buldozer; el material para la construcción se ha asumido extraerlo del río, con la previsión adecuada para pérdidas y encogimiento, y para el caso de que este material no fuera adecuado, se obtendría de préstamos en las zonas vecinas interiores al jarillón. El costo unitario directo para la construcción de los jarillones (incluyendo todas las estructuras y adquisición de zonas) se estableció como el equivalente a US\$0,80 por m<sup>3</sup>, lo que da un costo por kilómetro que varía entre US\$6.400 y 16.300, según la altura del jarillón.

Para ejecutar las rectificaciones, se asumió el empleo de dos dragas hidráulicas de 14", del mismo tipo de la que está operando en el embalse de Anchicayá en la remoción de sedimentos. Suponiendo un costo, puestas en Cali, de US\$400.000 por cada draga, y asumiendo

los gastos de mantenimiento y operación como iguales a los de la draga de Anchicayá, se ha obtenido un costo unitario directo para la construcción de las rectificaciones, de US\$0,30 por  $m^3$ , o el equivalente de US\$61.800 por kilómetro, aceptando que no se obtenga ningún valor de recuperación de las dragas al final del trabajo. Basados en la experiencia de otras rectificaciones en ríos parecidos, es razonable suponer que la draga necesita excavar únicamente un canal piloto, pues el río removerá entonces una cantidad sustancial de material en su proceso de autoestabilización sobre el nuevo cauce a través del canal piloto, que para los fines de estas comparaciones, se ha supuesto excavar de una sección igual a la mitad del cauce actual del río.

Los puentes y otras obras locales, se han estimado actualizando los costos que para estas estructuras se determinaron en el mencionado informe de 1956 y representan entre el 1,5% y el 4,5% del valor total de los jarillones y rectificaciones, según el plan que para estos trabajos se haya considerado. Para los prospectos de control de avenidas que contemplan el mejoramiento del cauce del río únicamente, se ha agregado el costo de remoción de sedimentos que se depositarían en el río Cauca, con un volumen igual a la mitad del que se acumularía en el embalse de Timba.

A todos los costos directos se agregaron los costos indirectos y los de operación y mantenimiento, capitalizados.

#### (c) Comparación de Jarillones y Rectificaciones

Los costos totales comparativos del mejoramiento del cauce del río Cauca abajo de Timba, por medio de jarillones y rectificaciones, se han determinado para una serie de descargas del río en Juanchito. De estos costos, se llegó a la conclusión de que la construcción total de las rectificaciones en longitud de 38 km, en lugar de jarillones adicionales, desde el punto de vista económico, se justifica sólo para descargas del río superiores a  $735 m^3/s$ .

#### (d) Comparación del Control de Avenidas por Medio de Presas en Salvajina y en Timba y por el Mejoramiento del Cauce del Río.

Los estudios preliminares han indicado que la distribución óptima de los embalses para control de avenidas es de 400 millones de  $m^3$  en Salvajina y 140 millones de  $m^3$  en Timba. Esta combinación suministra la protección requerida contra las inundaciones aguas abajo, sin necesidad de mejorar el cauce del río, con una descarga máxima en Juanchito de  $650 m^3/s$ .

Se han hecho investigaciones posteriores, para determinar la posibilidad económica de construir mejoras en el cauce del río Cauca, que permitieran reducir el tamaño de la presa de Timba. En todos los casos resultó más económico proveer los 140 millones de  $m^3$



de embalse en Timba, en lugar de cualquier otra combinación de un embalse menor y mejoras en el cauce del río.

El sólo costo de construir jarillones y rectificaciones para control de avenidas, resultó mayor que el valor de una presa para control de avenidas en Timba, que llene el mismo propósito, con una economía de US\$2'500.000. En consecuencia no se ha dado más consideración al mejoramiento del cauce del río Cauca, proveyendo el control de avenidas únicamente mediante las presas de Salvajina y Timba.

## 7.23 Presa de Timba

### (a) Estudios Anteriores

El informe de Timba de 30 de Abril de 1958, elaborado por OLAP, G&H y TAMS, contemplo una presa de tierra de 40 m de altura sobre el lecho del río, localizada entre dos colinas angostas separadas 1 kilómetro aproximadamente, en la vecindad del caserío de la Balsa (véase Figura 2). Un vertedero de canal inclinado, e instalaciones para generar 60 mw, se dispusieron cerca al estribo izquierdo. En este informe se incluyó la geología detallada del sitio de la presa y los resultados de las exploraciones y ensayos de materiales. Un informe interno suplementario, elaborado por CVC en Marzo de 1963 (Referencia 16), describe las exploraciones para las fundaciones y los ensayos de materiales que se hicieron con posterioridad a las que se habían adelantado para el informe de 1958.

### (b) Comparación entre Presas para Control de Avenidas

Puesto que los estudios hidráulicos, (ver Capítulo 5), indican la necesidad de proveer una presa de control de avenidas en Timba con un embalse de por lo menos 100 millones de  $m^3$ , para combinarlo con el embalse de control de Salvajina para tener un total de 540 millones de  $m^3$ , se hizo una investigación del costo de transferir, parte del volumen para control de avenidas, de Salvajina a Timba. En seguida se estimaron los costos para la presa de Timba correspondientes a cuatro diferentes volúmenes de embalse, que varían entre 100 millones de  $m^3$  y 465 millones de  $m^3$ , cuyos detalles se muestran en la Tabla 7-3.

La sección de la presa en cada caso, es similar a la que se adoptó para el proyecto escogido (ver Figura 29) y el tratamiento de los estribos sigue muy de cerca el procedimiento usado en el dicho proyecto, tal como se describe en el Capítulo 8. Para la presa más baja que se consideró, el vertedero consistía de una estructura de compuertas radiales, con salidas de desfogue para las descargas normales y un embalse para amortiguación de energía, localizado en el estribo izquierdo y cimentado completamente sobre el conglomerado recién excavado. Para las presas más altas, se encontró que era más económico

construir rebosaderos y obras de descarga separadas, ambas cimentadas en el conglomerado recién excavado del estribo izquierdo.

Los estudios de costos, se hicieron comparando el aumento de costo causado por el aumento de volumen de embalse en Timba, por encima de los 100 millones de  $m^3$ , que es el mínimo requerido, con la disminución del valor de las instalaciones de energía y aumento de ésta en Salvajina, resultantes de la disminución del volumen para control de avenidas allí. El resultado de estos estudios, demuestran que la solución óptima será un volumen de embalse en Timba un poco mayor que el mínimo requerido. Los volúmenes finalmente escogidos fueron 140 millones de  $m^3$  en Timba y 400 millones de  $m^3$  en Salvajina. La presa para control de avenidas correspondiente a este volumen, se muestra en la Figura 29 y se describe en el Capítulo 8; es una presa con cresta a la elevación de 1011,7 m que crea el almacenamiento de 140 millones de  $m^3$ , entre las elevaciones 1000,0 m y 1008 m.

El proyecto escogido, además de proveer el control de avenidas, sirve como embalse regulador de las descargas de la planta de Salvajina y para los proyectos futuros de irrigación aguas abajo. Puesto que el objetivo básico de este estudio, era comparar la sustitución de capacidad de control de Salvajina por su equivalente en Timba, no se hicieron estudios detallados para instalación de energía en Timba. Sin embargo, basándose en los cálculos aproximados del costo de instalaciones de energía del informe de 1958, parece que económicamente es dudosa la ventaja de instalar energía en Timba, si se compara con otras fuentes potenciales. Además, una instalación de energía ahora, aumentaría considerablemente el costo de capital del proyecto múltiple de Salvajina, que no es deseable. Puesto que la construcción de la presa de Timba, sólo se iniciará tres años después de la de Salvajina, hay tiempo suficiente para estudiar más detalladamente el desarrollo óptimo del sitio, teniendo en cuenta los aspectos de generación e irrigación. Este tema formará parte de los planeamientos futuros de CVC.

(c) Presa de Control de Avenidas para Base de Distribución de Costos

Se hizo también un diseño para una presa de control de avenidas que produjera un almacenaje de 540 millones de  $m^3$ , con elevaciones de embalse entre 1001,0 m y 1023,0 m. Este diseño es similar al de la Figura 29, pero la presa tiene una elevación en la cresta de 1026,0 m, o sea una altura sobre el lecho del río de 36 m. Debido al aumento de altura de la presa, se consideraron estructuras separadas de salida, adyacentes al estribo izquierdo, consistentes en tres ductos de 3,93 m de diámetro, con compuertas operadas a control remoto, ubicadas en un pozo vertical, construido dentro del relleno, justamente hacia arriba del coronamiento de la presa. Estos ductos se diseñaron para descargar un total de 550  $m^3/s$  con una elevación del embalse de 1001,0 m, desembocando en un embalse común

de amortiguación por resalto. El rebosadero fue localizado a cierta distancia de la salida de descarga, sobre el estribo izquierdo de la presa, con un diseño similar al del proyecto escogido, esto es, del tipo de canal inclinado, controlado por compuertas y con embalse amortiguador de energía. Tanto la estructura de descarga como el rebosadero, estarán cimentados sobre el conglomerado recién excavado.

El valor total de la construcción de este proyecto, resulta equivaler a US\$26'033.000, que representa el costo de proveer el volumen total para control de avenidas, en Timba únicamente, y se emplea para la distribución de los costos del proyecto a las presas de Timba y Salvajina, tal como se describe en el Capítulo 9.

Se intentó asimismo una comparación de costos de presas en Timba, con menor volumen de embalse para control de avenidas, en combinación con mejoras en el cauce del río, en una forma similar a la discutida previamente. Esta solución resultó ser más costosa que la de la presa de Timba únicamente, que da la misma protección.

#### 7.24 Desviación del Río Ovejas

##### (a) Descripción General

El río Ovejas desemboca en el río Cauca, apenas abajo de Suárez. En las etapas iniciales de los estudios para el informe de factibilidad, se fijó la atención al hecho de la proximidad de este río al embalse de Salvajina y a que la hoya del río Ovejas en este sitio, es aproximadamente el 22% de la del río Cauca en Salvajina (ver Figura 51). En consecuencia, tal como se vió en el Capítulo 4, se hicieron estudios para investigar la posibilidad de desviar aguas del río Ovejas al embalse de Salvajina para aumentar los beneficios de energía del proyecto. Puesto que la ruta del posible túnel de desviación intercepta el río Pescador, se vió la posibilidad de desviar también este río. Tal como se indica en el Apéndice B, se dispone de estaciones de aforos en los ríos Ovejas y Pescador. Sin embargo, se hizo necesario estudiar la correlación de los caudales para determinar el promedio a largo plazo que pueda desviarse.

Puesto que el único mapa existente es el del IGAC, con curvas de nivel cada 25 m, fue entonces necesario hacer levantamientos del sitio, tal como se discute en el Apéndice C.

##### (b) Localización de los Túneles de Desviación y Bocatomas

Los estudios iniciales asumían un túnel parcialmente revestido, que no interceptaba al río Pescador, y contemplaba la desviación de un caudal promedio de largo plazo, de 14,0 m<sup>3</sup>/s, del río Ovejas. Se consideraron diferentes localizaciones de túneles

y bocatomas, con presas de alturas variables, y se hicieron los presupuestos para comparar sus costos y capacidades de desviación. Se llegó a la conclusión de que la solución más económica era la de una bocatoma con una presa de altura mínima y el túnel más corto posible. Sobre esta decisión influyeron varios factores, tales como la longitud de los túneles (alrededor de 7 km) y la pendiente mínima del río Ovejas, y la dificultad de obtener embalse económicamente en éste.

Los estudios iniciales asumían un túnel sin revestimiento, por lo cual se hizo deseable mantener condiciones del caudal por debajo del flujo crítico, a todo lo largo del túnel. De acuerdo con esto, el alineamiento se estableció asumiendo condiciones de descarga libre con el túnel operando a una profundidad de 0,8 del diámetro para la descarga máxima. El trazado cruzaba el río Pescador y se compararon dos métodos de efectuar este cruce a saber: la construcción de un sifón invertido, totalmente revestido, bajo el río Pescador, o cambiar la localización del cruce del túnel, aguas arriba, para mantenerlo bajo tierra en toda su longitud. Los estudios indicaron que la primera alternativa daba una economía equivalente a US\$800.000.

Aun cuando para esta desviación no se realizaron exploraciones del subsuelo, durante el curso de los estudios se hizo un reconocimiento geológico de la ruta del túnel, y con base en él, se consideró recomendable, para los efectos de este informe de factibilidad, asumir un túnel totalmente revestido, determinando un aumento del costo comparativo de US\$1'400.000. Puesto que el revestimiento produce condiciones de escurrimiento supercríticas, que presumiblemente pueden causar inestabilidad del régimen del caudal en el codo del túnel y en la unión con el río Pescador, se determinó posteriormente utilizar un túnel a presión. Otro resultado de la consideración de revestir el túnel, fue el bajar el alineamiento, para mantener el túnel enterrado en toda su longitud y desviar a él el caudal del río Pescador, por medio de una bocatoma de caída. Este último diseño fue el escogido para los estudios más detallados, tal como se describe en seguida.

### (c) Diseño Final

El túnel se dimensionó para un caudal promedio de 22,8 m<sup>3</sup>/s, supuesto el embalse de Salvajina a un nivel máximo normal de 1175,0 m. El diámetro interno resultó ser de 2,90 m para el sector entre el río Ovejas y el Pescador, y de 3,25 m de este punto para abajo. Con este diseño es posible la desviación de un caudal máximo de 50 m<sup>3</sup>/s. Estudios posteriores, indican que si el túnel se dimensiona para descargar el caudal máximo de 50 m<sup>3</sup>/s, localizando la salida por debajo del nivel mínimo del embalse a la elevación de 1155,0 m, los diámetros se reducen a 2,80 m y 3,10 m respectivamente, pudiéndose obtener una economía equivalente a US\$300.000. La disminución de la capacidad del túnel a 41 m<sup>3</sup>/s, con el embalse de Salvajina a la elevación 1175,0 m, no es crítica, puesto que esto sólo ocurrirá en los meses de verano, cuando los caudales del río Ovejas

son únicamente del orden de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ . La Figura 31 muestra la desviación del río Ovejas, tal como se considera actualmente. El costo total de construcción, es equivalente a US\$9'840.000.

#### (d) Estudios Futuros

Los estudios económicos de la desviación del río Ovejas (Capítulo 4), indican que con toda probabilidad este proyecto es financieramente atractivo. Sin embargo, puesto que para una definición más precisa de la factibilidad económica del proyecto, se necesitan registros más prolongados de caudales, y complementar los levantamientos topográficos y las exploraciones del subsuelo, no es deseable incluir en este momento esta desviación como parte del proyecto múltiple de Salvajina. Además, los estudios indican que la desviación propuesta no tiene efecto de significación sobre los parámetros de la presa escogida para Salvajina (altura de presa, volumen de embalse, y capacidad instalada), y por tanto su construcción podrá adelantarse en cualquier tiempo futuro. Mientras tanto, se están elaborando planos aerofotogramétricos de la zona del túnel, como parte del mapa general de Salvajina que se adelanta, se seguirán registrando los datos de caudal en forma continua y podrán acometerse los estudios para la exploración del subsuelo y ensayos de materiales, como se recomienda en el Apéndice A.

### 7.3 ESQUEMAS ALTERNATIVOS CONSIDERADOS PARA LA PRESA ADOPTADA EN SALVAJINA

#### 7.31 Descripción General

En el presente artículo se comparan las alternativas más importantes, consideradas en relación con la presa de Salvajina, adoptada para una elevación normal del embalse de 1175,0 m, una disponibilidad para control de avenidas de 400 millones de  $\text{m}^3$  y una capacidad instalada de 450 mw. Las características de la presa que como consecuencia de estos estudios se escogió, se describen en detalle en el Capítulo 8.

En general, las comparaciones se hicieron para una presa con un nivel máximo normal de embalse de 1174,0 m, que fue el usado en el "Informe Unificado" de 1956, ya que los primeros estudios aproximados de energía que se hicieron, indicaron este nivel para la altura óptima de la presa. La elevación máxima normal del embalse finalmente determinada, difirió del valor asumido únicamente en 1 m. También, puesto que los estudios de energía se adelantaron paralelamente con las investigaciones alternativas de proyectos de presa, la capacidad de la planta no se estableció sino hasta que muchas de las comparaciones se habían completado.

Los primeros estudios se basaron en una capacidad de 280 mw; las comparaciones de la presa de concreto de gravedad, de relleno de grava, y de relleno de enrocado, se refirieron a una planta de 350 mw de capacidad, ya que los estudios de energía, aun cuando incompletos en ese entonces, indicaban esa cifra. Sin embargo, una revisión final de los costos para cada tipo de presa, y el del proyecto adoptado, (capacidad instalada de 430 mw), hicieron ver que el aumento en capacidad instalada, no afecta en forma significativa el costo comparativo de cada proyecto de presa.

Las conclusiones derivadas de los estudios comparativos de presas, son por consiguiente válidas para el proyecto adoptado.

### 7.32 Determinación del Tipo de Presa

#### (a) Estudios Anteriores

Como ya se dijo, el estudio más reciente para una presa en el sitio de Salvajina, el "Informe Unificado" de 1956, propone una presa de concreto de gravedad, localizada en el sitio actual. En este informe se hizo también referencia a la posibilidad de construir una presa de arco de concreto. Un informe anterior elaborado por OLAP entre 1947 y 1949, contemplaba la construcción de una presa alta de enrocado, construida en dos etapas.

#### (b) Origen de los Materiales de Construcción

A distancia razonable del sitio de la presa, existen amplios depósitos de materiales, ya sea para una presa de concreto, o de relleno (ver Figura 34). En ambas orillas del río, entre Suárez y Timba, existe abundante cantidad de gravas gruesas dejadas por el dragado de las minas auríferas de Aznazú, en los últimos 30 años. Como consecuencia del dragado, las partículas del tamaño de las arenas se depositaron abajo, más o menos al nivel de la tabla de agua. Estos materiales se consideran adecuados como agregados para una presa de concreto y las gravas gruesas, como fuente apropiada para una presa de relleno de grava.

Para una presa de relleno de roca, existen dos posibles fuentes de material para extracción en cantera. La una, es un gran bloque de diorita, situado a unos 2 km aguas arriba del sitio de la presa en la orilla izquierda del río. La segunda, consiste de los yacimientos de cuarzita y de conglomerado ubicados más arriba de los estribos de la presa. Se escogió la zona de diorita, que da un material de superior calidad y resulta más económico.

El material impermeable para el núcleo de una presa de relleno, se encuentra dentro de un radio de 2 a 3 km del sitio; está constituido por pizarras residuales, depósitos de materiales desintegrados, sedimentos volcánicos y diorita intensamente descompuesta, que cubre la zona de la cantera, aparentemente en gran cantidad.

#### (c) Tipos de Presa Considerados

Varios tipos de presa se han examinado en los presentes estudios, dándose consideración a la posibilidad de construir una presa de arco, o una de losa y contrafuertes. Sin embargo, la topografía del sitio, que presenta estribos angostos y los resultados de las exploraciones geológicas detalladas, indican que el lugar no es adecuado para presas de este tipo y altura. Por consiguiente, no se hicieron estudios detallados para estos tipos de presas, salvo un diseño preliminar para la presa con contrafuertes, que resultó ser más costosa que el proyecto escogido.

Los estudios comparativos, quedaron pues restringidos a la presa de concreto de gravedad y a las presas de relleno de grava o de roca.

#### (d) Presa de Concreto de Gravedad

El esquema inicial para una presa de concreto, estuvo basado en la localización presentada en el informe de 1956 para una planta de 280 mw. Las exploraciones del suelo, iniciadas por CVC en la última parte de 1963, despertaron dudas sobre la validez de algunas de las suposiciones que se habían hecho previamente, relacionadas con la presa y la naturaleza de la fundación. Pronto se hizo obvio, que la presa de concreto propuesta en el Informe de 1956, estaría fundada en gran parte sobre una pizarra no muy buena, en lugar de una capa gruesa de cuarzita, como se había supuesto primero. En consecuencia, fue necesario relocalizar el eje de la presa, alguna distancia aguas arriba del sitio originalmente propuesto, ocasionando así un aumento considerable del volumen respectivo. El descubrimiento posterior de depósitos profundos de material aluvial, ubicados en el canal principal del río, excluyó la localización en condiciones económicas, de la casa de máquinas en el pie de la presa. El cambio en la localización del eje, requirió así la introducción de una pronunciada curvatura en el coronamiento, y el desplazamiento del punto medio del mismo unos 125 m aguas arriba. Los esquemas se basaron en excavaciones para fundaciones de 12 m en los estribos y de 30 m en el cauce del río. Las exploraciones posteriores indicaron que para alcanzar una fundación apropiada para una presa de concreto de esta altura, las profundidades anotadas debían aumentarse.

Para este diseño se previó un rebosadero con compuertas de vertedero, localizado sobre la presa, con un embalse amortiguador de energía al pie de aquélla y un túnel de concreto de 10 m de diámetro para la desviación, que se situó en el estribo derecho, ya

que por los estudios previos, se había llegado a la conclusión de que todas las soluciones para rebosadero, conductos de carga y casa de máquinas, esta disposición era la más económica. Una planta de cuatro unidades con capacidad de 350 mw estaría localizada en el estribo izquierdo, adyacente pero separada, del embalse de amortiguación del rebosadero. Para esta solución, se hizo el cálculo detallado del costo.

(e) Presas de Relleno de Grava y Enrocado

Inicialmente, la alternativa básica de la presa de concreto de gravedad pareció ser una presa de grava, hecha utilizando los desechos gruesos de dragado que se encuentran aguas abajo entre Suárez y Timba. La sección de la presa estaba definida por taludes exteriores de 2,4 : 1 aguas arriba y 2,0:1 aguas abajo, con un núcleo central impermeable de taludes de 0,5 a 1, a ambos lados, construido con material obtenido de la formación Popayán, zona de préstamo "C" (ver Figura 34). Durante las exploraciones del subsuelo, se descubrió que una zona considerable del estribo derecho, en el lado de abajo de la presa, consistía en materiales descompuestos y aluviones, con profundidades hasta de 50 m. Los diseños de la presa por consiguiente, incorporaron dos alternativas, una de las cuales contemplaba la remoción de todo este material hasta llegar a la pizarra firme y la otra, la utilización de una berma de 75 m de ancho a la elevación 1075 m. Debido a la profundidad de este terreno descompuesto y aluvial, tanto el vertedero como la casa de máquinas se localizaron en el estribo izquierdo. Un solo túnel de carga, de 10 m de diámetro, que se usaría también para desviación, alojaría una única tubería de carga, para alimentar una instalación de energía, similar a la de la presa de concreto.

Como otra alternativa más, se estudió hacer la presa utilizando roca extraída de la cantera diorítica de la zona de préstamo ubicada 2 km aguas arriba del sitio. En este caso, para la sección de la presa se adoptaron taludes exteriores de 2,0 a 1 aguas arriba y 1,8 a 1 aguas abajo, y un núcleo central impermeable similar al de la presa de grava, considerándose también las dos alternativas de excavar hasta la pizarra firme en el lado de aguas abajo, o de construir una berma.

El rebosadero, túnel de desviación y casa de máquinas considerados, son similares a los de la presa de grava. Para todas las presas de relleno, se ha estimado que la profundidad de cimentación será hasta 30 m en el lecho del río, y que en los estribos, habrá de ser de 10 m para el núcleo y de 3 m para los rellenos permeables.

Para todas estas alternativas, se elaboraron estimativos detallados de los costos y se encontró que si en la presa de grava hay lugar a una economía evidente como resultado del uso de la berma, en el caso de la presa de roca la diferencia es insignificante.



(f) Escogencia del Tipo de Presa

La comparación de costos entre la presa de gravedad de concreto y la presa de relleno de grava, muestran una diferencia de costo equivalente de US\$16'300.000 en favor de la de grava. Además, las condiciones adversas de las fundaciones que se hicieron presentes a medida del avance de las exploraciones, despiertan serias dudas sobre la posibilidad de obtener una fundación adecuada para la presa de concreto, dentro de límites prácticos de profundidades de excavación. Por todo esto, se prescindió de la presa de concreto.

Como por su parte, la comparación entre los costos de las presas de grava y de roca arroja una economía en favor de esta última de US\$13'600.000, se adoptó finalmente la presa de relleno de roca.

El examen de los resultados de las últimas exploraciones y los ensayos de materiales, incluyendo la inspección ocular in-situ de los apiques, determinó que no sería prudente cimentar una presa de la altura que se contempla, sobre taludes aluviales y puesto que el aumento en el costo derivado de remover este material no es significativo, se decidió fundar la presa completamente sobre la roca, eliminándose por tanto la berma de aguas abajo. El diseño adoptado para la presa, se muestra en la Figura 23 y las secciones del relleno, en la Figura 24.

7.33 Conductos de Carga

(a) Tipos Considerados

Desde el principio, teniendo en cuenta la altura de la presa y la proximidad de los conductos de carga tanto al relleno como a los estribos, se decidió proveer un revestimiento de acero para la parte de los conductos del lado de aguas abajo de la presa. De esta manera, el escape del agua a alta presión a través de posibles fisuras del concreto, hacia los estribos y hacia el relleno permeable de aguas abajo, queda restringido en grado considerable.

Los primeros esquemas estudiados para las presas de relleno, contemplaban un único túnel que se usaba inicialmente para la desviación; se asumía revestimiento de acero en toda su longitud y se bifurcaba cerca a la casa de máquinas. Esta decisión era el resultado de estudios preliminares, los cuales indicaban una economía de costo, al compararlo con un esquema que incluyera dos túneles. Sin embargo, al cabo de análisis más detallados, se escogió el diseño de dos túneles, por razón de sus ventajas inherentes, ya que se obtienen tamaños de tubería que no son demasiado grandes para su transporte y montaje, se anticipa la puesta en marcha de la primera unidad,

y además se hace posible el mantener la planta en operación con dos unidades, mientras las otras dos o la tubería de admisión, se estén reparando.

La consideración inicial del uso de un revestimiento de acero para la sección de aguas abajo de los túneles, ya fuera antes o después de la desviación, se comparó con la instalación de tuberías de carga libremente soportadas dentro de los túneles, cuyo montaje puede hacerse una vez que los túneles no se requieran ya para la desviación. Estos estudios revelaron que las tuberías libremente soportadas son más económicas, tanto por razón del costo total del conducto, como por el de las pérdidas de carga, y puesto que además la instalación de tubería libre facilita su montaje y la inspección del túnel, ella se escogió definitivamente.

#### (b) Comparación de Localizaciones

A causa del temprano descubrimiento de los profundos depósitos de material descompuesto, que se encontraron en el estribo derecho, en los primeros esquemas la casa de máquinas y los conductos de carga se localizaron sobre la margen izquierda. Sin embargo, a medida que se recogieron más datos sobre estos depósitos, se hicieron diseños para las instalaciones citadas, localizándolas sobre el estribo derecho, obteniéndose un menor costo de US\$700.000 para el total del presupuesto comparativo y se eliminaban además los problemas derivados de la proximidad entre los conductos de carga y el rebosadero en el lado izquierdo, y la gran excavación requerida para los portales de entrada de los túneles. El diseño final escogido para los conductos de carga, se muestra en la Figura 27.

Para la presa de concreto, los conductos de carga estarían localizados en el estribo izquierdo, disposición que resulta más económica que en el estribo derecho, pero puesto que el costo determinante en el caso de la presa de concreto, es el de la presa misma, se prescindió de hacer estudios comparativos más detallados.

#### 7.34 Desagüe de fondo

Inicialmente se contempló una salida a bajo nivel, para el vaciado del embalse en situaciones de emergencia, tales como deslizamientos, o fallas en las fundaciones de la presa o en los estribos. El diseño que se preparó, utilizaba bocatomas separadas, localizadas cerca a la entrada de los túneles de desviación, con cámaras de compuertas de emergencia, ubicadas en los tapones de dichos túneles, y además dos válvulas de control de 2,29 m de diámetro, instaladas sobre derivaciones construidas en el extremo de las tuberías de carga, que desaguaban en los túneles de desviación. El costo comparativo total de estas obras resultó ser mayor de US\$1'360.000.

El vaciado mediante estos dispositivos, utilizando simultáneamente la descarga máxima de las turbinas, tomaría por lo menos un mes para bajar el embalse una tercera parte de su altura. Por lo tanto, desde el punto de vista de la seguridad de la presa, es evidente que no podría obtenerse a tiempo un vaciado suficiente del embalse, en forma de constituir una medida adecuada de seguridad. Además, aun en el caso de que económicamente fuera posible obtener una descarga que permitiera el vaciado rápido del embalse hasta el nivel deseado, las medidas para remediar posibles daños en la presa y sus fundaciones, serían aun muy difíciles de ejecutar. Una solución más práctica y lógica, consiste en disponer una galería permanente a lo largo de las fundaciones de la presa, con acceso por los estribos, que permita la inspección, el tratamiento de las fundaciones y la aplicación de cualquier medida necesaria al efecto. En relación con la posibilidad de deslizamientos incipientes sobre el embalse, se considera que puesto que es posible en cuestión de días bajar su nivel hasta el de la cresta del rebosadero, elevación 1164,5 m, ello permite disponer de suficiente borde libre para todas las ocurrencias, salvo las más catastróficas. En consecuencia, se decidió prescindir del desagüe de fondo para vaciados del embalse.

Por otra parte, la provisión de un pequeño desagüe para desviación del caudal que alimenta la planta no es necesario, ya que gracias a la existencia de dos tuberías de carga, es posible el paso del agua, aun en el caso de que un conducto estuviera cerrado, fuera del hecho de que la confluencia del río Cauca y el Ovejas está solamente a 3,5 km abajo de la casa de máquinas.

### 7.35 Rebosadero

#### (a) Descripción General

La hidrología básica y los caudales de avenidas usados en el diseño del rebosadero, se discuten en el Apéndice B, estableciéndose como pico máximo probable de avenida el de 3.640 m<sup>3</sup>/s, al cual corresponde un pico de 3.460 m<sup>3</sup>/s para la salida. Según los estudios para el borde libre, descritos en el Capítulo 8, se determinó un margen por encima del nivel normal máximo del embalse (incluyendo la sobrealtura por la avenida máxima probable) de 5,0 m. La mayoría de los diseños comparativos de rebosaderos, se hicieron respecto a los proyectos con presas de relleno. Las comparaciones para los rebosaderos de las presas de concreto, contemplaban un vertedero central con compuertas. Los diseños preliminares para estos rebosaderos y para los de otros tipos de presas, no se describen en este informe.

#### (b) Estudios Comparativos de Crestas

Los estudios económicos para el diseño de las estructuras de cresta, basados en la avenida máxima de diseño, indican que la economía en el costo total comparativo, para un rebosadero con

compuertas, al compararlo con uno sin compuertas, es de US\$2'750.000. Igualmente se estableció un valor inicial para el ancho económico de la cresta. Con el fin de proteger el relleno, se consideró necesario desde el principio, que las compuertas radiales deberían operar automáticamente, pero dotándolas además para operación manual y control de emergencia. Una consideración básica de diseño fue la de controlar el caudal efluente, por el rebosadero, en forma de que sea menor que el afluente, a fin de limitar el efecto de las avenidas aguas abajo del embalse. El costo total comparativo de restringir el caudal de salida al 90% del pico afluente, comparado con el de equilibrar los caudales de entrada y salida lo más posible, resultó ser de US\$2'200.000. Finalmente se decidió limitar la descarga al 95% de la afluencia en cualquier condición. Otro criterio adoptado fue el de que el rebosadero debería dimensionarse para permitir el paso de la avenida máxima, con una compuerta cerrada, sin que el nivel rebase el del coronamiento de la presa.

### (c) Comparaciones Básicas del Rebosadero

Se hicieron diseños comparativos para las alternativas de rebosadero de canal inclinado y túnel, disponiéndolos en cada caso tanto en el estribo derecho como en el izquierdo. También se consideraron variantes de estos diseños, para tener en cuenta diferentes localizaciones de las instalaciones de energía.

El empleo de rebosaderos de túnel, en cualquiera de los estribos, fue desechado para todas las combinaciones comparativas, ya que su costo total comparativo excedía en US\$1'600.000 al de los tipos de canal inclinado. Se encontró también, que no se obtenía ventaja económica al prolongar el túnel del rebosadero hacia aguas arriba, para utilizarlo en la desviación. Se prescindió además de localizar el rebosadero de canal inclinado sobre el estribo derecho, principalmente por motivo de no encontrarse suelo de fundación adecuado para un alineamiento práctico. Por lo demás, aun la más optimista interpretación de las condiciones de cimentación en el estribo derecho habría requerido el uso, en esta localización, de un embalse para amortiguación muy costoso, por causa de su proximidad al pie de la presa, hecho suficiente para prescindir de este esquema por el aspecto economía. En cambio, el rebosadero de canal inclinado sobre el estribo izquierdo, está localizado de manera que la descarga se efectúa favorablemente, a unos 200 m del pie de la presa, no requiriéndose embalse amortiguador, bastando un cuenco de dispersión fundado en la roca firme de pizarra. Detalles completos del diseño escogido para el rebosadero, aparecen en la Figura 26.

### 7.36 Casa de Máquinas

Las primeras consideraciones de la disposición del proyecto, contemplaban una casa de máquinas de superficie, localizada al pie de la presa, en el estribo izquierdo. Como ya se explicó, los estudios comparativos determinaron que las instalaciones de energía se trasladaran a su localización actual sobre la margen derecha. Todos los estudios preliminares fueron hechos asumiendo una casa de máquinas de interior, con el patio de conexiones sobre la cubierta. En el Capítulo 8, se discuten en detalle las comparaciones hechas respecto a la planta, cuya capacidad instalada y disposición se escogió finalmente. Los diseños de la casa de máquinas se muestran en la Figura 28.

TABLA 7-1  
COSTOS INDIRECTOS Y COSTOS ANUALES

| TIPO<br>DEL<br>PROYECTO                            | COSTOS INDIRECTOS  |   | COSTOS ANUALES<br>(Porcentaje del Costo<br>de Capital) (1) |                                      | VIDA<br>DEL<br>PROYECTO |
|--|--|---|--|--------------------------------------|-------------------------|
|  | Imprevistos en<br>porcentaje de<br>los costos di-<br>rectos de<br>construcción | Ingeniería (diseño<br>y supervisión del<br>contrato) en por-<br>centaje del costo<br>directo más impre-<br>vistos | Operación<br>manteni-<br>miento y<br>adminis-<br>tración   | Reposi-<br>ciones<br>tempo-<br>rales |                         |
| Total  |  | Compa-<br>rativo  | Total  | Comparativo                          |                         |
| <u>HIDROELECTRICO Y DE CONTROL DE AVENIDAS</u>     |  |   |  |                                      |                         |
| Proyecto múltiple de Salvajina                     | 15   | 7   | 9  | 3                                    | 0,2                     |
| Salvajina - Planta separada de energía             | 15   | 7   | 9  | 3                                    | 0,2                     |
| Salvajina - Planta separada de control de avenidas | 15   | 7   | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Timba - Planta separada de control de avenidas     | 15   | 7   | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Timba múltiple                                     | 15   | 7   | 12   | 3                                    | 0,2                     |
| Salvajina - Embalse de aguas abajo                 | 20   | 10  | 12   | 3                                    | 0,2                     |
| <u>MEJORAS DEL RIO</u>                             |  |   |  |                                      |                         |
| Jarillones   | 20   | 10  | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Rectificaciones                                    | 20   | 10  | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Trabajos menores                                   | 20   | 10  | 12   | 3                                    | -                       |
| Estaciones de bombeo                               | 15   | 7   | 12   | 3                                    | 0,2                     |
| <u>PLANES DE IRRIGACION</u>                        |  |   |  |                                      |                         |
| Presas de desviación                               | 20   | 10  | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Canales principales                                | 20   | 10  | 12   | 3                                    | 0,1                     |
| Otros  | 20   | 10  | 12   | 3                                    | (3)                     |
| <u>LINEAS DE TRANSMISION</u>                       |  |   |  |                                      |                         |
| Salvajina - Yumbo                                  | 10   | 5   | 9  | 3                                    | US\$300/km              |
| <u>PLANTAS TERMICAS</u>                            |  |   |  |                                      |                         |
| Salvajina - Alternativa térmica                    | 10   | 5   | 10   | 3                                    | 0,25                    |
|  |  |   |  |                                      | 0,35                    |

(1) Los costos de capital incluyen los costos directos de construcción, ingeniería, imprevistos e intereses durante la construcción. Las ratas de interés son 6% para US dólares y 10% para pesos.

(2) Salvo derechos de zona y trabajos menores. (3) Se asume como parte del costo de la explotación agrícola.

TABLA 7-2

PRESA DE SALVAJINA  
 COSTOS PARA ALTURAS VARIABLES MAXIMAS  
 DEL EMBALSE Y DE CAPACIDAD DE LA PLANTA

Equivalente en Miles de Dólares

| Elevación<br>Máxima<br>Normal<br>del Embalse<br>(m) | Capacidad<br>Instalada<br>(mw) | Costos<br>Directos | Costos<br>Indirectos<br>(11,4%) | Costo<br>Total<br>Comparativo |
|---|--------------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1163  | 210                            | 57.160             | 6.516                           | 63.676                        |
|   | 280                            | 63.010             | 7.183                           | 70.193                        |
|   | 350                            | 67.650             | 7.712                           | 75.362                        |
| 1174  | 280                            | 67.320             | 7.674                           | 74.994                        |
|   | 320                            | 70.110             | 7.993                           | 78.103                        |
|   | 350                            | 71.930             | 8.200                           | 80.130                        |
|   | 430                            | 77.450             | 8.829                           | 86.279                        |
| 1198  | 350                            | 92.020             | 10.490                          | 102.510                       |
|   | 430                            | 97.070             | 11.066                          | 108.136                       |

NOTA:

1. Los costos indicados arriba corresponden a volúmenes activos de embalse de 300, 400, 640 millones de m<sup>3</sup>, para elevaciones máximas normales de 1165, 1174 y 1198 m, respectivamente.

TABLA 7-3

COMPARACION ENTRE PRESAS DE CONTROL DE INUNDACIONES EN SALVAJINA Y TIMBA

| SALVAJINA                          |                       |                                     |  | TIMBA                     |   |                                    |                                     | COMPARACION ECONOMICA               |  |   |                           |       |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|---------------------------|---|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---------------------------|-------|
| Elevación coronamiento de la presa | Energía continua (mw) | Capacidad para sedimentación        | Embalse para energía y control de avenidas | Nivel mínimo para energía | Costo de capital equivalente en (US\$ x 10 <sup>3</sup> ) | Elevación coronamiento de la presa | Embalse para sedimentación          | Embalse para control de avenidas    | Costo de capital equivalente en (6)+(10) | Costo Total de Capital de energía (11)-(12) | Diferencia (11)-(12)      |       |
| (m)                                | (2)                   | (3)                                 | (4)  | (5)                       | (6)   | (7)                                | (8)                                 | (9)                                 | (10)                                     | (11)  | (13)                      |       |
| (m)                                | (mw)                  | (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> ) | (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> )        | (m)                       | (US\$ x 10 <sup>3</sup> )                                 | (m)                                | (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> ) | (m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> ) | (US\$ x 10 <sup>3</sup> )                | (US\$ x 10 <sup>3</sup> )                   | (US\$ x 10 <sup>3</sup> ) |       |
| 1180,0                             | 151                   | 150                                 | 440  | 1153                      | 112640  | 1009,0                             | 19                                  | 100                                 | 15000                                    | 127640                                      | 59000                     | 68640 |
| 1180,0                             | 153                   | 150                                 | 400  | 1155                      | 112340  | 1011,7                             | 20                                  | 140                                 | 15770                                    | 128110                                      | 59800                     | 68310 |
| 1180,0                             | 158                   | 150                                 | 250  | 1163                      | 111170  | 1016,7                             | 22                                  | 290                                 | 20520                                    | 131690                                      | 61760                     | 69930 |
| 1180,0                             | 162                   | 150                                 | 75   | 1171                      | 109790  | 1022,7                             | 25                                  | 465                                 | 24360                                    | 134150                                      | 63320                     | 70830 |

- NOTAS:
1. Costos de capital incluyen costos directos, ingeniería, imprevistos e intereses durante la construcción (7,3%).
  2. Costo de energía basado en US\$0,0045/kwh.
  3. Energía capitalizada por 50 años, al 10% anual.



## CAPITULO 8

### DESCRIPCION DE LOS ASPECTOS PRINCIPALES DE LA ALTERNATIVA ESCOGIDA

#### 8.1 INFORMACION GENERAL

Este capítulo describe las obras integrantes del proyecto escogido, y la manera general de operación para cumplir sus funciones múltiples. El criterio general que determinó la escogencia de las estructuras principales, así como los estudios más detallados que se hicieron para determinar sus tipos y dimensiones, se explican también aquí.

En el Capítulo 7 se describieron las variantes principales consideradas en el proceso de los estudios, hasta llegar al diseño escogido. En el Apéndice A, a su vez, se explican en detalle las consideraciones de ingeniería hechas en relación con las fundaciones para las diferentes estructuras del proyecto, conjuntamente con los resultados de las exploraciones y ensayos de materiales que hasta ahora se han realizado.

El proyecto múltiple de Salvajina se compone de tres partes principales a saber:

(a) La presa de Salvajina y su correspondiente planta de energía, localizada unos 2 km aguas arriba de Suárez, sobre el río Cauca.

(b) La presa de Timba, localizada sobre el río Cauca, adyacente a la Balsa, unos 20 km aguas abajo del sitio de Salvajina.

(c) Mejoras en los tributarios del río Cauca, que consisten en canales de avenamiento, diques y estaciones de bombeo, para los ríos afluentes, entre Timba y Bugalagrande.

Estas tres partes principales se describen en detalle a continuación.

#### 8.2 PRESA DE SALVAJINA

##### 8.21 Embalse

La localización del embalse se muestra en la Figura 2, y el área, volumen y curvas de regulación en la Figura 21. La elevación máxima normal es 1175,0 y la mínima normal, 1155,0 m. El embalse activo para control de avenidas, de 400 millones de m<sup>3</sup>, queda comprendido entre las elevaciones 1156,0 y 1175,0, márgenes dentro de los cuales será operado, tanto para la generación como para el control de avenidas. La elevación mínima normal, 1155,0, se determinó considerando un almacenaje de 10 millones de m<sup>3</sup>, por debajo del asignado al

control de avenidas, para la regulación diaria de la operación de energía, conjuntamente con una reserva para la sedimentación dentro del embalse activo. Las bocatomas de los conductos de carga están localizadas a las elevaciones 1131 y 1121, de manera que será posible utilizar un volumen activo mayor, de requerirlo posteriormente la operación combinada con la desviación del río Cauca al Pacífico. La elevación máxima del embalse proveniente de la avenida máxima probable es 1178,4.

El embalse para uso múltiple se operará para control de avenidas de acuerdo con la curva de regulación que se muestra en la Figura 21, según la cual, hacia Noviembre 1º, el embalse habrá bajado hasta la elevación 1156,0. Utilizando todo el caudal afluente en la generación de energía, podrá mantenerse este nivel hasta el 31 de Enero. Después del 1º de Febrero, se permitirá llenar el embalse nuevamente, de acuerdo con la curva de regulación, hasta que la elevación máxima normal se alcance en 30 de Abril. Desde Mayo 1º hasta Septiembre 30, no se requiere proveer disponibilidad para control de avenidas y sólo durante el mes de Octubre, el embalse se vaciaría nuevamente, a fin de que esté listo para almacenar las crecientes. Esta forma de operación, combinada con la del embalse de control de avenidas en Timba, asegura el grado deseado de protección contra inundaciones, sin afectar la capacidad de la planta.

Puesto que el embalse activo por debajo de las curvas de regulación es aprovechable para operación de energía, el almacenaje fluctuará entre 420 millones de m<sup>3</sup>, disponibles al comienzo de la estación seca, hasta 20 millones de m<sup>3</sup> al principio de la época de avenidas. Sin embargo, dada la gran capacidad de la planta, y la existencia de embalses tales como Guatape y Calima, normalmente será posible utilizar prácticamente todo el caudal del río para generar energía, con una fluctuación muy pequeña en el embalse, del orden de 10 millones de m<sup>3</sup>.

En el Apéndice B se hace un estimativo de la cantidad de sedimentación en el embalse. El embalse muerto de 757 millones de m<sup>3</sup>, se considera adecuado para contener el sedimento acumulado durante 250 años, y así no constituye problema para este proyecto.

Las únicas actividades mineras de cierta importancia que últimamente se han desarrollado dentro de la zona del embalse, son las de explotación de minas de oro, en el sitio propuesto para la cantera destinada a extraer la roca de la presa (Zona de Préstamo A), según se muestran en la Figura 34. La mina se conoce con el nombre de "Las Lajas" y la operación consiste en la extracción del oro de vetas cuarzosas relativamente angostas, incorporadas en la roca de cuarzita-diorita. Las operaciones de explotación fueron suspendidas varios meses antes de la fecha de este informe, y todo el equipo fue retirado. La CVC está gestionando para sí la concesión de todas las reservas minerales de la zona del embalse.

## 8.22 Terraplén

### (a) Descripción General

En la Figura 23 se muestra el plano general de la presa. La geología y la topografía del sitio, conjuntamente con el tratamiento para las fundaciones del terraplén, las zonas de préstamo escogidas y los resultados de los ensayos de los materiales para construcción, se describen detalladamente en el Apéndice A. Las exploraciones del sitio y zonas de préstamo, así como su programa futuro y el de ensayos de materiales, se discuten también en dicho apéndice.

### (b) Sección del Terraplén

En la Figura 24 se muestra la sección del terraplén. Este consiste de un relleno de roca de una altura máxima de 180 m sobre las fundaciones, con un núcleo relativamente grueso, la mayor parte del cual se encuentra aguas arriba del eje de la presa. Los taludes exteriores son: 2 a 1 aguas arriba y 1,8 a 1 aguas abajo; la cresta tiene un ancho de 12 m y una longitud de 422 m. El eje tiene una curvatura nominal hacia arriba, (750 m de radio) con el objeto de proveer una localización más favorable del núcleo en las caras de aguas arriba de los angostos estribos. Además, esta curvatura tiene la ventaja de que con la aplicación de la carga de agua el efecto de empuje resultante tendría la tendencia de cerrar cualquier fuga potencial que se localice en el núcleo o en el contacto de éste con el estribo.

En la Figura 24 se muestran los detalles de las diferentes zonas del terraplén, y los métodos previstos para la compactación de cada una. La disposición escogida para el núcleo impermeable fue el resultado de un análisis económico de los diferentes materiales disponibles. Puesto que la diorita descompuesta debe removerse de la cantera que proveerá la roca de la presa, (Zona de Préstamo A), antes de cualquier trabajo de extracción, resulta ventajoso utilizar una cantidad considerable de este material en la zona impermeable (Zona 2). La Zona 1, parte de arriba del núcleo, está formada por pizarras descompuestas, tiene más plasticidad, y es más impermeable que el material de la Zona 2. Los límites de aguas arriba para la Zona 1, se determinaron mediante un análisis de estabilidad del efecto de este talud sobre el de aguas arriba del relleno de roca de la presa. El talud de 0,7 a 1 escogido, no produjo reducción en la estabilidad del terraplén al compararlo con taludes más inclinados. Además, esta disposición permitió una localización más favorable de la fundación del núcleo en el lado de aguas arriba de los estribos. Se consideró necesario proveer una excavación en trinchera para todo el núcleo, con un ancho igual a 0,6 de la altura de la presa; hacia abajo, la excavación para la fundación del núcleo será esencialmente igual en profundidad a la que se use para el relleno permeable.

Las proporciones de los materiales de desecho de dragado y de relleno de roca compactado, que deben usarse en las Zonas 4 y 5 respectivamente, se determinaron por un análisis económico. Algunas porciones de la Zona 5 se indican como compactadas en capas de 1 m, de manera que se reduce el asentamiento, con el consiguiente aumento de la estabilidad y apoyo más firme para el núcleo. Los materiales fuera de estos límites, se compactarán más económicamente, en capas de 3 m. El enrocado localizado en el talón de aguas arriba de la presa (Zona 6), que hace parte de las etapas iniciales de construcción, para los fines de desviación, no es exigido para la estabilidad de la sección y puede rellenarse en capas de 10 m.

La estabilidad del terraplén se analizó en forma preliminar, utilizando tanto el método del círculo crítico, como el de las cuñas, y asumiendo ángulos de fricción de  $45^{\circ}$  para el relleno y  $28^{\circ}$  para el núcleo. El análisis dió como resultado factores de seguridad de más de 2,0 para el estado normal de embalse lleno y percolación constante, y mayores de 1,5 para las condiciones de descenso rápido del nivel de agua o durante la construcción, por todo lo cual la sección escogida presenta estabilidad adecuada. Se hizo asimismo un análisis simplificado de los lomos de los estribos, obteniéndose nuevamente un factor adecuado de seguridad, respecto a su estabilidad.

El ancho de la cresta de la presa se escogió en consideración a varios factores, siendo necesario proveer una cresta con suficiente anchura como para permitir algún desplazamiento o deslizamiento del terraplén por motivo de movimientos sísmicos, sin que se reduzca en forma apreciable el ancho libre. El ancho de cresta escogido armoniza adecuadamente por este aspecto con la altura y condiciones de cimentación de la presa, y es ampliamente suficiente para un camino y para acomodar en forma práctica la junta de las diferentes zonas sobre la cresta.

El asentamiento del terraplén se ha estimado que tendrá un valor máximo de 2,0 m, con base en pasadas experiencias y en consecuencia al coronamiento se le dará este peralte, merced al aumento de inclinación de los taludes exteriores cerca a la cresta, lo cual se traduce en una importante economía.

#### (c) Tratamiento de las Fundaciones

Los detalles de las inyecciones y avenamiento de las fundaciones, propuestas para la presa, se muestran en la Figura 25. El alcance de la cortina de inyecciones y el avenamiento, son consecuencia de un estudio detallado de la fundación para el terraplén y de las zonas de estribos. El tratamiento persigue mejorar la estabilidad de los estribos, reduciendo la filtración a través de ellos, y hasta donde sea posible, evitar que la filtración alcance el talud escarpado de aguas abajo de los estribos. Los socavones para las inyecciones y desagüe, se extenderán dentro de los estribos hasta donde la filtración ya no se considere un problema serio. Los coeficientes de permeabilidad,

se establecieron por medio del análisis de los resultados de los ensayos con agua de las perforaciones, y la filtración total aproximada en las galerías y accesos, se estimó en dos pies cúbicos por segundo. Un sistema de bombeo con sus tuberías correspondientes, conducirá las aguas de infiltración hasta abajo de la presa.

La provisión de los socavones y de la galería para inyección de fundaciones, facilitará notablemente la construcción, puesto que permitirá colocar el relleno sin interferir las operaciones de inyección y además inspeccionar en el futuro las fundaciones y aplicar medidas correctivas que fueren necesarias.

Adicionalmente a las inyecciones, se ha previsto la consolidación a baja presión de una carpeta de poca profundidad que cubra toda el área de la fundación del núcleo.

(d) Desviación

El criterio adoptado para el diseño del sistema de desviación del río, durante la construcción del terraplén, es el siguiente:

(1) Considerar como caudal por desviar, durante la primera estación lluviosa de la construcción, el correspondiente a una avenida de periodicidad de 1 en 10 a 1 en 20 años. Para conseguir la desviación, se prevé la utilización de una ataguía, limitada a una altura tal, que al ser rebasada por una mayor avenida que se presentara, sólo implique un riesgo pequeño para las vidas aguas abajo, y para que los daños resultantes y las demoras en la construcción sean apenas nominales.

(2) Para las estaciones lluviosas segunda y tercera, durante la construcción del terraplén, disponer una capacidad de desviación, compatible con la avenida de 1 en 200 a 1 en 400 años. El esquema escogido, mostrado en la Figura 24, comprende lo siguiente:

(1) Una ataguía, aguas arriba de la presa, con altura de 24 m aproximadamente y coronamiento a la elevación 1052,5. Al subir el agua a la elevación 1052,0, los dos túneles de desviación podrán evacuar la avenida de 1 en 20 años, que corresponde a la máxima registrada, o sea una descarga de 1020 m<sup>3</sup>/s.

(2) Un terraplén de primera etapa, construido como parte integrante del terraplén principal, con el coronamiento a la elevación 1064,0 m, provisto de un delgado núcleo, inclinado por la cara de arriba, (Zona 1A), y un relleno de enrocado, (Zona 6). Con el agua a la elevación 1063,0 m, los dos túneles de desviación son capaces de descargar el caudal resultante de la avenida de 1 en 400 años de frecuencia. El pico de afluencia será de 1640 m<sup>3</sup>/s y el de la efluencia, de 1350 m<sup>3</sup>/s.

(3) Una ataguía, aguas abajo de la casa de máquinas, con el coronamiento a la elevación 1035,0, o sea, unos 7 m sobre el lecho del río, destinada a proteger las excavaciones de la fundación, del efecto de remanso del caudal evacuado por los túneles, para la avenida de 1 en 400 años de frecuencia.

Para escoger el esquema definitivo, se compararon varias alternativas, tales como el incorporar la ataguía dentro de los límites del lado de arriba del terraplén, haciendo el cierre del río durante los meses del caudal bajo, Agosto y Septiembre. En esta forma sólo se dispondría de un lapso de 4 a 5 meses, durante los cuales los caudales del río serían lo suficientemente bajos como para que permitieran hacer la excavación de las fundaciones y colocación del relleno, pero dado el considerable volumen de obra requerido para alcanzar la altura de la ataguía, esta solución no se aviene con el tiempo disponible.

Inicialmente, la ataguía de aguas arriba se dimensionó para permitir la descarga de una avenida de 1 en 5 años, pero como al levantar el coronamiento otros 4 m para conseguir una altura total de 24 m, se obtiene protección contra una avenida de 1 en 20 años, se consideró ventajoso hacerlo así. Otra alternativa más, la de disponer un canal de desviación para obtener la protección de 1 en 20 años, en lugar de aumentar la ataguía en 4 m, no resultó económica.

Originalmente, la altura del terraplén de primera etapa se determinó para la avenida de 1 en 200 años, pero luego se encontró que levantando la cresta de este terraplén unos pocos metros, se obtenía una protección para avenidas de 1 en 400 años, sin costo adicional probablemente. El alto de la presa adoptada, es asimismo satisfactorio, por cuanto que el talud de aguas abajo resultante, no interfiere la trinchera del núcleo impermeable, de la presa principal.

Con base en el programa de construcción que se muestra en la Figura 32, el cierre del primer túnel de desviación está fijado para el 1º de Abril de 1970, época para la cual el coronamiento de la presa debe encontrarse a la elevación 1130 m. En estas condiciones, el túnel que queda puede evacuar avenidas de frecuencias de 1 en 400 años y de 1 en 1000 años, con el nivel del agua a las elevaciones 1088 y 1094 m respectivamente. Por lo demás, un análisis de los registros de caudal para el mes de Mayo, indican que la frecuencia con que tales avenidas pueden ocurrir durante este mes, es aún menor que la que corresponde a una base anual. La clausura definitiva de la desviación, está programada para el mes seco de Agosto, época para la cual tanto la presa como el rebosadero estarán terminados.

## 8.23 Conductos de Carga

### (a) Tuberías de Carga y Revestimientos de Acero

En la Figura 23 se muestran los dos conductos de carga en planta y en perfil, y sus detalles, en la Figura 27. El tramo inclinado del túnel de carga, hasta el pozo de compuertas, va revestido en acero. Se considera que cualquier filtración a través de grietas en el revestimiento de concreto, que por la ausencia de blindaje de acero pudiera ocurrir, no tiene mayores consecuencias. Para la parte inferior de los conductos de carga, la solución más económica se obtiene mediante sendas tuberías de carga de 6,60 m de diámetro, libremente soportadas, que se instalarán en cada uno de los túneles de desviación de 8,10 m de diámetro, una vez clausuradas como conductos de desviación. Esta disposición se conserva hasta la bifurcación de cada tubería en ramales de 4,65 m de diámetro, en la vecindad de la casa de máquinas.

El diámetro de la tubería se determinó asumiendo un aumento máximo de la velocidad de la turbina del 45%, y el del túnel de desviación, se ajustó para facilitar el espacio libre requerido para el acceso y pintura de la tubería. La velocidad máxima en la tubería es de 6,5 m/s. Esta tubería podrá transportarse al sitio sin mayores dificultades, una vez que la nueva carretera a Buenaventura esté terminada. Sin embargo, para lograr cabida por los túneles de la carretera y no exceder la capacidad de la grúa en el puerto (60 ton), el largo del tramo de tubería no debe ser mayor de 4,10 m.

El espesor de la tubería se estableció asumiendo acero Europeo St 52, diseñado para resistir la presión interna resultante del cierre a plena carga de todas las unidades, en un tiempo de 6 segundos. Se necesitan estudios ulteriores para determinar si la sección cilíndrica asumida es en realidad la más económica y establecer la disposición y diámetro óptimo de la tubería, de acuerdo con los requisitos de regulación de las turbinas.

### (b) Revestimiento del Túnel

El revestimiento de concreto de la parte inferior de los túneles de desviación y los túneles más pequeños de carga, se diseñó para resistir la presión externa del agua, resultante de filtraciones, pero teniendo en cuenta una reducción en la magnitud de esta presión externa, debido a la existencia de un sistema de avenamiento en las fundaciones. Puesto que la parte de aguas arriba de los túneles de desviación está siempre expuesta a la presión interna correspondiente a la cabeza del embalse, las presiones exteriores no son entonces críticas. Los espesores de revestimiento calculados, se revisaron luego a la luz de los requisitos prácticos de construcción, basándose en experiencias recientes para túneles de las mismas dimensiones generales. Los revestimientos del túnel de desviación se han provisto con refuerzo suficiente para resistir presiones internas correspondientes

al nivel de agua 1063,0 m, que ocurrirían con avenidas de 1 en 400 años de frecuencia. Los túneles horizontales localizados justamente aguas abajo de la bocatoma están provistos con refuerzo suficiente para resistir la presión interna total del agua sin tener en cuenta el soporte de la roca.

(c) Bocatomas

Al principio se consideró la posibilidad de utilizar estructuras de toma inclinadas, localizadas en los estribos de la presa. Sin embargo, las exploraciones para las fundaciones indicaron que no era posible obtener una fundación adecuada para tal estructura, sin incurrir en excavaciones considerables que harían esta solución antieconómica. Por consiguiente se escogió la solución de entradas de nivel bajo y pozo de compuertas revestido, excavado en la roca a la elevación 1180,0 m. Con base en las comparaciones económicas relativas a los diámetros de los túneles de carga, horizontales e inclinados, incluyendo el efecto de las pérdidas de cabeza, se escogió para el tramo inclinado un diámetro igual al de la tubería metálica (6,6 m), y para los tramos superiores horizontales, un diámetro igual al de los túneles de desviación. Se hizo además un estudio para establecer las dimensiones óptimas del pozo de compuertas, teniendo en cuenta el valor de la pérdida de carga a través de la abertura de la compuerta.

8.24 Rebosadero

(a) Descripción General

En la Figura 23 se muestra la planta del rebosadero, y en la Figura 26 los perfiles y detalles. El diseño escogido se compone de un canal inclinado, con compuertas a la entrada, ubicado en el estribo izquierdo, y que termina en un cuenco de dispersión, que descarga a prudente distancia del pie de la presa.

En el Capítulo 7, se explicaron los criterios generales usados para calcular las avenidas de diseño del rebosadero. La determinación del máximo hidrograma probable se discute en el Apéndice B, resultando un pico afluente de 3640 m<sup>3</sup>/s.

(b) Operación de la Compuerta

La operación de las compuertas del rebosadero se hará mecánicamente, contemplándose que los malacates eléctricos operados a control remoto desde la casa de máquinas, hayan de actuar como medio normal de control, pero pudiéndose además operar desde el puente del rebosadero, sobre el cual igualmente será instalado un grupo moto-generador a gasolina, para emergencia, de capacidad suficiente para el accionamiento de los malacates en el caso de fallar la corriente. No obstante, ante la contingencia de una falla mecánica



de los malacates de las compuertas durante una avenida, se ha previsto la operación hidráulica completamente automática, regulada por el nivel del agua en el embalse.

Como seguridad adicional, un mecanismo de emergencia producirá el llenado de los pozos de los flotadores y consecuentemente la abertura de las compuertas, una vez que el embalse alcance cierto nivel. Esta operación automática se considera esencial para la protección del terraplén, especialmente si se tiene en cuenta la naturaleza errática del escurrimiento de la hoya y la dificultad de prever los caudales de avenidas, aún en el caso de que se dispusieran en la zona, estaciones pluviométricas del tipo de transmisión.

(c) Bordo Libre

El rebosadero se diseñó para dejar pasar la avenida máxima probable al alcanzar el nivel del embalse la elevación superior correspondiente a control de avenidas (1175 m). El pico efluente resultante es de 3460 m<sup>3</sup>/s y la correspondiente elevación del embalse de 1178,4 m. Se revisó también la descarga sobre la base de una avenida más pequeña, de 1 en 1000 años de frecuencia, pero bajo la hipótesis de una ola severa de origen sísmico. Las alturas de las olas se determinaron usando el criterio de cálculos del cuerpo de ingenieros de Estados Unidos. El alcance efectivo máximo en el embalse es 3,8 km, y usando una velocidad del viento de 100 km/h, resulta que la formación de la ola se estabilizará en una media hora. Como se explica en el Apéndice B, no se espera que en esta zona el viento alcance altas velocidades, ni que se mantenga en una dirección constante, salvo por períodos muy cortos y por consiguiente un viento de 100 km/h durante 30 minutos, resulta ser una hipótesis amplia para obtener los valores necesarios en la determinación de la altura de las olas.

La altura significativa de la ola resultante,  $H_s$ , es de 1,60 m, y la ola máxima de  $H_m = 2,50$  m. El peralte hidráulico es despreciable y el efecto de rompiente sobre el enrocado no sobrepasa la altura de la ola. Para el diseño del bordo libre total, por encima del nivel del embalse de 1175,0 m se compararon los siguientes criterios:

Una sobrecarga máxima probable de avenida de 3,4 m que sumada a una altura de ola de 1,60 m, da un total de 5 m.

Una sobrecarga máxima probable de 4,6 m con una de las tres compuertas atascada en posición cerrada.

Una avenida de frecuencia de 1 en 1000 años con sobrecarga de 0,6 m, una ola máxima de 2,50 m y el asentamiento de la presa por causa de un temblor fuerte, de 1 m, combinados para dar un total de 4,1 m.

En adición a los criterios anteriores, se consideró necesario proveer una altura libre sobre el nivel máximo normal, para que una ola causada por un derrumbe sobre el embalse no sobrepase la presa. Se considera que una previsión de 5 m es razonable, puesto que la amenaza de un posible derrumbe sobre el embalse sería conocida con la anticipación suficiente para permitir bajar el embalse hasta el nivel de la cresta del rebosadero, 1164,5 m.

La elevación del coronamiento de la presa, resultante, es de 1180,0 m, a la cual se agrega el peralte, como ya se explicó.

(d) Estudios Comparativos

Se hicieron estudios económicos detallados de las diferentes disposiciones de la estructura de cresta y las alturas de presa correspondientes. El diseño escogido comprende tres compuertas de 10,67 m x 10,80 m con una elevación de cresta del rebosadero de 1164,5 m.

Igualmente se hicieron los estudios económicos correspondientes al ancho del canal y al perfil del mismo. El ancho óptimo se estableció en 15 m. Sin embargo, se sugiere hacer ensayos hidráulicos de modelos, para verificar o modificar el diseño, si ello fuera necesario.

8.25 Casa de Máquinas

(a) Capacidad Instalada

La capacidad segura de la planta es de 430.000 kw para la elevación mínima normal del embalse de 1155,0 m, provista por cuatro unidades de 107.500 kw de capacidad. La capacidad máxima de la planta es de 486.000 kw desarrollados por las cuatro unidades simultáneamente, trabajando a 121.500 kw que corresponde al rendimiento máximo de los generadores de 135.000 kw a 0,9 de factor de potencia.

Las turbinas son de tipo Francis, de eje vertical, que para los propósitos de este informe se considera operen a 225 rpm. Estudios posteriores pueden llegar a indicar que la velocidad deba ser ligeramente menor. Cada turbina será diseñada para producir 150.000 hp, a plena abertura y para una cabeza neta promedia de 121 m. Esta energía corresponde a una descarga de 427 m<sup>3</sup>/s para todas cuatro turbinas operando con una elevación del embalse de 1155,0 m.

El hecho de existir dos conductos de carga iguales, obliga a la selección de un número par de unidades de generación. Si sólo se instalaran dos unidades, su tamaño sería excesivo. Además, la salida de línea de una de estas unidades causaría una reducción del 50% en la descarga máxima posible a través de la planta, afectando adversamente la operación para control de avenidas del embalse de

Salvajina. Por consiguiente se optó por la instalación de cuatro unidades, arreglo que se considera apropiado para satisfacer los requisitos de control de avenidas con una unidad inoperante y además es más económico que si se adoptara un mayor número de unidades. No se esperan dificultades especiales para el transporte de turbinas de este tamaño.

#### (b) Casa de Máquinas

La casa de máquinas está localizada en el lado derecho del río, en el talón de aguas abajo de la presa, tal como se muestra en la Figura 23. Los planos detallados y las secciones se indican en la Figura 28. La planta es del tipo convencional de interior, con un patio de servicio al extremo de abajo. Las dimensiones totales, incluyendo el patio de servicio son 88,0 x 32,7 m.

La superestructura consiste de columnas y muros de concreto reforzado, que soportan un techo de estructura de acero. Un puente-grúa de 250 ton de capacidad, con dos malacates, sirve para dar servicio a las unidades. A la entrada de la caja del caracol de cada turbina, se dispondrá una válvula de mariposa, para poderlas cerrar independientemente en caso de emergencia. Inmediatamente abajo de cada válvula, se instalará un acople de montaje. Se incluyen además dos compuertas de mamparo, tipo tubo de aspiración con su respectivo malacate de operación, para poder reparar cada unidad individualmente.

Se hicieron estudios comparativos para una planta de interior y de exterior, con los transformadores localizados ya sea arriba o ya sea abajo de la casa de máquinas. Estos estudios preliminares indicaron una ventaja aparente desde el punto de vista de costo, para la planta de exterior, pero se planea un estudio más detallado teniendo en cuenta los costos de mantenimiento y operación. Para el propósito de este informe de factibilidad se considera prudente usar la casa de máquinas de interior que se muestra en la Figura 28. Esta disposición aparece también como más económica que aquella con los transformadores localizados en un puente, encima de los tubos de aspiración.

#### (c) Transformadores

Los cuatro transformadores principales (14,4/230 kv, 125 mva) están localizados en el lado de las tuberías de carga de la casa de máquinas. Estos transformadores, si se fabrican como bancos convencionales trifásicos, serán seguramente demasiado grandes para el transporte y excederán la capacidad de la grúa en el puerto de Buenaventura. Por consiguiente, para este informe se han considerado transformadores trifásicos armados en el sitio. Se considera que en las especificaciones finales para licitación se dará la alternativa de suministrar bien sea transformadores trifásicos armados en el sitio o

transformadores monofásicos. No se considera que haya lugar a dificultades de transporte para los dos transformadores trifásicos de 230/69/13,2 kv, 15 mva, requeridos para la conexión al sistema de CEDELCA y para el servicio de la estación.

Los transformadores principales estarán conectados individualmente a cada generador por barraje aislado y la línea de 230 kv pasará sobre el techo de la casa de máquinas en su ruta al patio de conexiones. Los transformadores de 230/69/13,2 kv irán localizados en el patio de conexiones.

#### 8.26 Patio de Conexiones

El patio de conexiones de 230/69/13,2 kv, quedará localizado sobre un relleno en el lecho primitivo del río, en el talón aguas abajo de la presa y adyacente a la casa de máquinas como se muestra en la Figura 23. Se dispondrán zapatas ensanchadas para todas las estructuras. El esquema escogido resultó ser el más económico y práctico, entre las diferentes alternativas comparadas, inclusive algunas con el patio de conexiones sobre el techo de la casa de máquinas y también en una zona excavada adyacente al cuenco de dispersión.

El patio de conexiones consiste de nueve crujías de 16 m de ancho, con posibilidades de extensión hacia el Este. Los barrajes de desconexión de 230 kv serán del tipo de columna sencilla (pantógrafo) con los cables de enlace suspendidos de las cabezas de desconexión. Las conexiones a los cortacircuitos pasarán por encima de los barrajes y estarán suspendidos entre dos filas de pórticos.

#### 8.27 Líneas de Transmisión, Comunicaciones y Energía para Construcción

##### (a) Líneas de Transmisión de 230 kv

El grueso de la energía generada en Salvajina se transmitirá al centro de carga en Cali, mediante dos líneas de un solo circuito, equipadas con dos conductores por fase, tipo de manejo de 500 MCM, ACSR. Para aumentar la seguridad, cada circuito irá instalado en torres separadas. Para reducir las oscilaciones de la impedancia de la línea, se usarán conductores en atado de manera que en una emergencia toda la generación de Salvajina pueda ser transmitida dentro de los límites de estabilidad estática por un solo circuito. Las líneas estarán equipadas con cortacircuitos monopolares de cierre rápido para mejorar la estabilidad dinámica del sistema de transmisión bajo condiciones de fallas transientes.

(b) Comunicaciones

Se usará el sistema de ondas portadoras, de equipo múltiple transistorizado, de banda sencilla (SSB), sobre la línea de 230 kv. El equipo portante se acoplará de línea a línea a través de trampas de banda ancha, y los canales múltiples de frecuencia en la banda de 4 kilociclos. Se contemplan además, un teléfono de canal doble; un teleimpresor de canal doble; un canal para señales desde Cali, para el control de carga; tres canales telemétricos a Cali, para el total de vatios, el total VAR y el nivel del embalse, y en fin, dos canales para protección de línea en cada dirección con equipo de elevador de potencial de salida. Un conmutador automático privado en la casa de máquinas, conectará dos líneas externas y hasta 25 extensiones, a través de cuatro equipos de conexión interna.

(c) Energía para Construcción

Actualmente Suárez recibe energía a 13,2 kv de las pequeñas hidroeléctricas de los ríos Ovejas y Asnazú. Para proveer la energía requerida para la construcción del proyecto, se planea la construcción de una línea de 69 kv de Mondomo a Salvajina (aproximadamente 25 km). Esta línea se operará a 34,5 kv durante el período de construcción y mediante un transformador temporal en Salvajina, se rebajará el voltaje al valor requerido. Esta línea servirá posteriormente como conexión permanente de 69 kv a CEDELCA, que permitirá la transmisión hasta 30 mw de Salvajina a ese sistema.

8.28 Caminos de Acceso

Existe una carretera pavimentada de Cali a Jamundí; desde allí hasta unos 10 km antes de llegar a Timba, la carretera no tiene pavimento pero sus características son aceptables. El resto del camino hasta Timba es muy deficiente y requiere ser mejorado antes del comienzo de los trabajos. Una trocha para jeep, que cruza el río Timba por un puente de una sola vía, conecta a Timba con Suárez (Figura 2), bordeando el río Cauca. Para permitir el acceso adecuado para el equipo de construcción, será necesario mejorar sustancialmente este camino. La parte de esta vía entre San Francisco y Suárez, una vez mejorada, será la carretera permanente de acceso a la presa. El tramo de abajo entre San Francisco y Timba será inundado por el embalse de Timba y es necesario relocalizarlo. Como obras que constituirán acceso permanente, se han trazado la carretera de Suárez a la corona de la presa, por la margen izquierda del río (2 km), y la carretera a la casa de máquinas, que conecta con el camino futuro de Suárez, pasando sobre el cuenco de dispersión del rebosadero y por la berma del talón de aguas abajo de la presa (Figura 23).

## 8.3 PRESA DE TIMBA

### 8.31 Embalse

La localización del embalse se muestra en la Figura 2 y las curvas de área y de volumen en la Figura 21. La elevación máxima normal del embalse es 1008,0 m y la elevación mínima, que permita una descarga de 300 m<sup>3</sup>/s a través de las salidas, es 1000,0 m. El embalse activo para control de avenidas, entre estas dos elevaciones, es de 140 millones de m<sup>3</sup>. La elevación máxima del embalse, correspondiente a la avenida máxima probable será 1010,2 m.

El embalse se operará conjuntamente con el de Salvajina para el control deseado de avenidas aguas abajo. El embalse no se operará de acuerdo con una curva de regulación, sino que, en general, se mantendrá al nivel más bajo posible, excepto en cuanto lo requiera la regulación de la descarga de las turbinas de Salvajina, o para futuras necesidades de riego.

Como se describe en el Apéndice B, se estima que el embalse tiene suficiente capacidad para acumular la sedimentación durante 125 años, que es más de lo necesario.

En el informe de Timba de 1958, se incluyó la discusión detallada del uso de la tierra y de las actividades mineras en la zona del embalse. De ese tiempo hasta ahora, sin embargo, el panorama en cuanto a la minería de oro y carbón ha cambiado un tanto. La mina de carbón de San Francisco sólo está operando en pequeña escala y otras minas de carbón de la zona están siendo explotadas apenas por pequeños empresarios. Dentro de los límites del embalse, no se ejecutan ya más dragados para extracción de oro y no parece que se esté planeando ninguno nuevo. Sin embargo, bien podrían presentarse reclamaciones sobre los depósitos auríferos, a la hora de la adquisición de las zonas. Parece por tanto recomendable seguir el procedimiento indicado en el informe de Timba, de notificar a todos los propietarios de que su tierra quedará inundada, y que el hecho de no explotar cualquier depósito mineral dentro de un plazo razonable, se tomará como indicación de que tal explotación no es económicamente factible.

Los pueblos de Timba, Valle y Timba, Cauca, quedarán inundados por el embalse. En el presupuesto que se describe en el Capítulo 9, se incluye la relocalización de estos pueblos con casas modernas y servicios públicos.

El embalse inundará también el ferrocarril y la carretera. La sección del ferrocarril de Cali a Popayán entre la Ferreira y San Francisco quedará inundada, así como el ramal de Santander. La relocalización de la línea férrea entre la Ferreira y San Francisco se situará por encima de la elevación 1012. La relocalización del ramal a Santander empezará en Guachinte y empatará con la línea antigua en

el puente de la Balsa. El total de relocalización de línea férrea es de 23 km. Una nueva carretera permanente de acceso a Salvajina, se construirá por encima del nivel del embalse de Timba, con unos 13 km de longitud, como se indica en la Figura 2.

### 8.32 Terraplén

#### (a) Descripción General

Los planos y secciones de la presa se muestran en la Figura 29. En el Apéndice A, se describen la geología y la topografía del sitio, el tratamiento de las fundaciones de la presa, las canteras para los materiales del terraplén y los resultados de los ensayos. Las exploraciones del sitio, así como los programas para futuras exploraciones y ensayos de materiales, se discuten también en este apéndice.

#### (b) Secciones del Terraplén

El terraplén estará constituido por un relleno de grava de una altura máxima de 28 m sobre las fundaciones, con un núcleo impermeable de considerable espesor. Los taludes exteriores son de 2,5 a 1 aguas arriba y de 2 a 1 aguas abajo. La cresta tiene un ancho de 7 m y una longitud de 1020 m. El núcleo impermeable se profundizará a través de la sobrecapa de arena y grava, hasta fundarlo sobre el conglomerado descompuesto, relativamente impermeable. Puesto que no es práctico ni se considera necesario inyectar la fundación de la zona impermeable, se escogió un núcleo relativamente grueso para obtener una trayectoria adecuada para la percolación en la superficie de contacto de la fundación. Este material puede obtenerse a un costo relativamente bajo en las proximidades del sitio.

#### (c) Tratamiento de los Estribos

El tratamiento de los lomos angostos que forman los estribos, se ciñe en general al propuesto en el informe de 1958, como se explica en el Apéndice A.

El criterio general utilizado aquí para determinar la extensión de la protección de los taludes es esencialmente el mismo del informe mencionado. Sin embargo, no se considera deseable proveer excavaciones en los taludes de los estribos, como se había hecho previamente, sino más bien colocar los materiales de protección del talud directamente contra el estribo, sin alterar éste. Los detalles de este tratamiento se muestran en la Figura 29.

#### (d) Desviación

La presa principal se construirá en dos etapas. Durante la primera, el río continuará corriendo por su cauce actual. La construcción del rebosadero y de unos 900 m lineales de terraplén, en la planicie saturada, se ejecutarán (dentro de la zona circunscrita por una cortina impermeable), excavando a través de las arenas y gravas hasta el conglomerado. Se abatirá el nivel freático, bombeando desde la trinchera de fundación de la ataguía.

Para encontrar el método más económico de construir la cortina perimetral, se hizo una comparación preliminar entre una trinchera ancha, excavada con pala de arrastre y luego rellena con material impermeable y una trinchera angosta, excavada utilizando lechada de bentonita y luego rellena, resultando más económica la primera.

La segunda etapa de desviación se hará a través de las salidas del río, ensanchando un canal existente para verterlo por el canal del rebosadero y la estructura de salida. Puesto que la construcción de la presa en la segunda etapa se hará en la estación seca, sólo será necesario evacuar caudales normales de verano.

Para poder desaguar durante la construcción de la trinchera del núcleo en la segunda etapa, se construirán dos ataguías localizadas 50 m arriba y abajo respectivamente, de los talones de la presa. Ambas ataguías estarán provistas con cortinas para cortar la filtración, similares y conectadas a las que se construirán para la primera etapa.

### 8.33 Rebosadero y Estructura de Salida

#### (a) Descripción General

En la figura 29 se muestran los detalles del rebosadero y de la estructura de salida. La disposición escogida consiste en un canal inclinado, con compuertas radiales de entrada y que termina en un embalse amortiguador, localizado en el estribo izquierdo, y provisto de compuertas de fondo para la descarga normal del río. La determinación del hidrograma máximo probable se discute en el Apéndice B, y dió como resultado un pico afluente de 4330 m<sup>3</sup>/s.

#### (b) Compuertas del Rebosadero

El sistema de compuertas del rebosadero y el método de operación es idéntico al de Salvajina. El esquema escogido consiste en tres compuertas de 12 x 12 m, con una elevación de cresta de 996,3 m. La operación de los malacates puede hacerse a control remoto, desde la planta de Salvajina, y también directamente en el sitio mismo del rebosadero.



### (c) Diseño Hidráulico

El rebosadero se diseñó para pasar la avenida máxima probable, estando el embalse a la elevación más alta correspondiente al almacenaje de control (1008,0 m). El pico de la capacidad combinada de descarga a través del rebosadero y de las compuertas, es de 4207 m<sup>3</sup>/s y la elevación correspondiente del embalse 1010,2 m. La altura de ola se determinó de acuerdo con el criterio del cuerpo de ingenieros de U.S. La longitud máxima expuesta a la acción del viento es de 4,5 km, que con una velocidad de 100 km/h y duración de media hora, producirá una ola de 1,50 m de altura. La correspondiente elevación del coronamiento de la presa, es de 1011,7 m.

Puesto que el rebosadero está localizado en un material relativamente erosionable, se consideró necesario proveer un embalse amortiguador para disipar la energía de la descarga del rebosadero y de las compuertas de fondo. Puesto que la estructura es bastante baja, el índice Froude del caudal que entra al embalse de amortiguación es pequeño, (4,1), necesitándose disponer dos filas de bloques de piso para proveer la adecuada disipación de energía.

Las dos compuertas de 2,50 m x 4,3 m se diseñaron para pasar un total de 300 m<sup>3</sup>/s con el embalse al nivel mínimo para almacenaje de control, (1000 m), y se usarán para la descarga y regulación de los caudales de avenida.

### (d) Suministro de Energía y Comunicaciones

La energía eléctrica para la presa de Timba, será principalmente la requerida por la operación de las compuertas del rebosadero y de las compuertas de descarga y normalmente será alimentada por la línea de 13,2 kv de Timba. Además, se dispondrá un grupo motor-generador de emergencia, a gasolina, para el caso de falla de la línea de 13,2 kv.

Las señales indicadoras de la posición de las compuertas y del nivel del embalse de Timba, se transmitirán a la planta de Salvajina usando el mismo sistema previsto para la operación a control remoto de los malacates de las compuertas. Por medio del sistema portador general, descrito previamente, se podrán a su vez transmitir a Cali estas informaciones. Entre Salvajina y Timba, los cables de comunicación serán instalados sobre postes aparte .

## 8.4 MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS DEL CAUCA

Adicionalmente al control de avenidas provisto por las presas de Salvajina y Timba, se construirán mejoras en los tributarios del río Cauca, desde Timba hasta Bugalagrande, para conseguir el grado

de protección deseado. Las mejoras contempladas, cubren lo siguiente:

Construcción de jarillones en ambas márgenes de los mayores tributarios, para prevenir inundaciones ya sea por estos ríos, o por el Cauca en la época de grandes caudales de éste. Al mismo tiempo, la capacidad de descarga de los tributarios se aumentará anchando y ahondando sus cauces. Los jarillones se asumen de 4 m de ancho en la corona y con taludes de 2 a 1. Se ha previsto una zona de tierra de 10 m de ancho, entre el talón del jarillón y el borde del cauce. La altura del jarillón y profundidad del canal se escogieron de tal manera de poder construir el jarillón con el material procedente de la excavación del cauce.

Por razón de las partes bajas de la zona inundable del río Cauca, los jarillones a lo largo de los tributarios impedirán el desagüe, por lo cual en el proyecto se han incluido canales de avenamiento que desembocan en alguno de los tributarios o en el río Cauca. Al final de cada canal de avenamiento, está prevista una estación de bombeo para asegurar la descarga del agua durante los períodos de niveles altos en los ríos. Cada estación de bombeo estará provista de por lo menos dos bombas centrífugas de eje vertical de suficiente capacidad para evitar inundaciones durante las fuertes lluvias.

En los períodos de aguas bajas en los tributarios, los canales desaguarán naturalmente por gravedad por salidas especiales, provistas de compuertas de chapaleta que impedirán la entrada de agua en las épocas de caudales altos.

Los canales se asumen con taludes de 2 a 1 y de suficiente sección para descargar la avenida de diseño con una velocidad no mayor de 1 m /s.

En algunos casos los tributarios están tan próximos entre sí que resulta antieconómico construir un canal y estación de bombeo para cada uno. En tal caso, los tributarios más pequeños se desviarán a los mayores. Los canales de desviación se dimensionarán para descargar la avenida de diseño con una velocidad que no exceda 1 m /s. El material procedente de la excavación de los canales de desviación se usará para rellenar los cauces antiguos y nivelar el terreno en general.

## 8.5 PROGRAMA DE CONSTRUCCION

### 8.51 Descripción General

En la Figura 32 se muestra el programa general de diseño y construcción, para la terminación en el menor tiempo posible de la presa de Salvajina (correspondiente al Programa A), el cual incluye las presas de Salvajina y Timba. El programa para el mejoramiento de los tributarios se describe más adelante. Las fechas

críticas establecidas para la presa de Salvajina, son las siguientes:

|  |                    |
|--|--------------------|
| Licitación para el contrato principal de construcción            | Septiembre 1, 1965 |
| Adjudicación del contrato principal                              | Enero 1, 1966      |
| Adjudicación de contratos de suministro para el equipo principal | 1967 a 1968        |
| Primera unidad en servicio                                       | Noviembre 1, 1970  |
| Terminación del contrato   | Julio 1, 1971      |

El contrato principal de construcción deberá adjudicarse el 1º de Enero de 1966, para que sea posible que la primera unidad entre en servicio en Noviembre 1º de 1970, asumiendo rendimientos de trabajo razonables, para las partes principales del trabajo consideradas.

El tiempo disponible sólo permitirá la preparación de los planos de licitación para el contrato de construcción, teniéndose que elaborar los planos de detalle, a medida que el contrato progresa.

Los programas de exploraciones y ensayos de materiales, son adecuados para cumplir el plan de trabajo. La mayor parte de las investigaciones correspondientes a exploraciones y ensayos de materiales para las fundaciones, se deberán terminar a mediados de 1965.

Se está considerando las alternativas de licitar separadamente las presas de Timba y Salvajina, o en conjunto, y también la posibilidad de hacer un contrato separado para la instalación de las partes principales de equipo eléctrico y mecánico.

#### 8.52 Presa de Salvajina

El período total de construcción para la presa de Salvajina, incluyendo los trabajos preparatorios, es un poco mayor de seis años. Previamente a la adjudicación del contrato principal, debe avanzarse la adquisición de tierras, caminos de acceso, campamentos y energía para la construcción. Los dos primeros años de construcción incluyen la excavación de los túneles de desviación y el descapote y las excavaciones de los estribos para las fundaciones. La colocación del terraplén, tratamiento de las fundaciones y construcción del rebosadero, empezarán a principios de 1968 y continuarán hasta mediados de 1970. Los conductos de carga, rebosadero, casa de máquinas y facilidades de transmisión no se consideran críticos, en términos de su efecto sobre el programa conjunto de construcción, y pueden comenzarse a fines de 1968. El cierre final de los túneles de desviación y el principio del llenado del embalse, coincidirán con la terminación del

terraplén en 1970. Como previamente se dijo, no hay ninguna ventaja económica en hacer la instalación de las unidades por etapas. Por consiguiente se programa la instalación de una sola vez, en un lapso de siete meses.

Las partes que se consideran críticas, para poder mantener el programa de construcción, son las siguientes:

- (a) El cierre del río y la construcción de la atagüía.
- (b) La excavación del canal del río, y de la trinchera para el núcleo.
- (c) La inyección de la trinchera para el núcleo.
- (d) La colocación del terraplén principal y la terminación del tratamiento de las fundaciones.
- (e) El cierre de los túneles de desviación y
- (f) La instalación de las tuberías de carga.

Se ha hecho un estudio detallado de estas partes, para asegurarse de que el programa de construcción podía cumplirse.

La parte principal de construcción es la de la colocación del terraplén de la presa, que se extiende por un período de tres años y requerirá un esfuerzo concentrado del contratista en el planeamiento del trabajo.

### 8.53 Presa de Timba

El programa de construcción de la presa de Timba está íntimamente relacionado con el de Salvajina, puesto que su terminación está planeada para coincidir con las operaciones iniciales para control de avenidas y generación de energía en Salvajina. Además, el plan para el trabajo en Timba se ha determinado asumiendo el uso óptimo del equipo y del potencial laboral para ambas presas. Si un solo contratista asume la construcción de ambas presas, los campamentos que pueden localizarse en Salvajina servirán también para el trabajo en Timba.

El trabajo inicial de adquisición de tierras y relocalización, debe comenzar a mediados de 1968 y continuar durante todo el período de construcción, e incluye la relocalización del ferrocarril, de las carreteras y de los pueblos de Timba, Valle y Timba, Cauca. Una vez completada la primera etapa de desviación, podrá ejecutarse la mayor parte del terraplén y construir el rebosadero y compuertas de salida. El volumen principal del terraplén puede completarse en un poco menos

de un año. La desviación de segunda etapa, utilizando las compuertas de salida, se hará en la estación seca de 1970, y así la sección de cierre podrá colocarse en unos tres meses aproximadamente.

8.54 Mejoramiento de los Tributarios del Río Cauca

Puesto que es difícil estimar el programa probable de construcción para el mejoramiento de los tributarios del río Cauca, no se ha preparado un programa detallado. Como se dijo en otra parte, el programa completo podrá realizarse en un período de unos 10 años, empezando 2 años antes de la terminación de Salvajina y Timba; para que esto sea posible, los diseños y estudios deben iniciarse no más tarde de 1966. Se supone que la construcción se hará por etapas para seguir a compas el desarrollo agrícola.

## CAPITULO 9

### COSTOS Y BENEFICIOS

#### 9.1 COSTO ESTIMADO

##### 9.11 Descripción General

Los costos están basados en el programa de construcción del proyecto que se discute en el Capítulo 8. Todos los costos locales se han determinado sobre la base del equivalente en dólares a la tasa de 1 dólar igual a 9 pesos, que era la tasa en vigor en Octubre de 1964.

Los términos usados aquí, y que se refieren a los costos de las tres partes principales del proyecto múltiple de Salvajina, (presa de Salvajina, presa de Timba y mejoramiento de los tributarios), son los siguientes:

Costo Directo Total - Incluye el total de todos los costos que se pueden cargar directamente a la construcción de la parte principal correspondiente y es en esencia el presupuesto de ingeniería del valor del contrato, pero sin incluir reajuste de precios.

Costos Indirectos - Tal como se usan en este informe, los costos indirectos son aquellos que se agregan a los costos directos totales para imprevistos e ingeniería; al aplicar a este costo acumulado el reajuste de precios, resulta el costo total de construcción.

Imprevistos - Es el monto que se asume en calidad de reserva, para dificultades imprevisibles o condiciones geológicas inesperadas durante la construcción y los cambios en diseño correspondientes.

Ingeniería - Incluye los costos de diseño, en la oficina y en el campo, supervisión e interventoría durante la construcción y los cargos por administración de la oficina principal de CVC.

Reajuste - Es el estimativo por concepto del aumento normal del costo de la vida en la mano de obra, costos de materiales y equipo y servicios de ingeniería, que se prevé puedan ocurrir entre 1964 y el fin del contrato de construcción.

Costo Total de Construcción - Incluye el total de costos directos, imprevistos, ingeniería y reajuste de precios.

Costo Total de Capital - Incluye el costo total de construcción conjuntamente con los intereses cargados al préstamo durante la construcción del proyecto.

Aun cuando los costos totales de capital y de construcción para el proyecto múltiple de Salvajina deben comprender necesariamente una

previsión para los reajustes de precios durante el período de construcción, se incluyen también los costos sin reajuste, a fin de facilitar la revaluación de los costos apropiados para otras diferentes ratas de reajuste.

## 9.12 Bases de los Costos

### (a) Costos Directos

Los costos unitarios para las partes principales del trabajo de las presas de Salvajina y Timba, se determinaron en detalle, después de un análisis de la mano de obra, materiales, equipo, utilidad del contratista y gastos generales respectivos. Además estos costos fueron revisados comparándolos con los presupuestos preparados para obras similares recientemente contratadas en Colombia. Como una comprobación adicional, estos costos se compararon con los presupuestos para contratos últimamente celebrados en U.S.A. y Canadá, previo ajuste por concepto de precios de mano de obra y materiales. El costo de equipos está basado en las tarifas normales de alquiler, conjuntamente con los costos de operación, incluyendo los transportes desde el puerto marítimo más cercano en los Estados Unidos. Los costos de mano de obra se revisaron de acuerdo con la experiencia del contratista de Calima I, incluyendo subsistencia, sobretiempo, y todas las prestaciones sociales y gastos generales del contratista.

Puesto que el costo del terraplén en el sitio de Salvajina, representa la mayor parte del costo del proyecto, los precios unitarios para el movimiento de tierras se calcularon en detalle y fueron motivo de una revisión independiente, por un ingeniero consultor especializado en costos de construcción.

Para la presa de Timba se usó un análisis similar, habiéndose hecho también una investigación cuidadosa de los costos de túneles para diferentes diámetros, usando la información disponible localmente y de los Estados Unidos.

El costo de las tuberías de carga se determinó usando los precios corrientes para obras similares cotizadas localmente por fabricantes europeos. Las compuertas y otras estructuras metálicas se avaluaron de acuerdo con licitaciones recientes teniendo en cuenta el montaje local y la fabricación. Para el equipo principal, turbinas, válvulas de admisión, generadores, transformadores, cortacircuitos y grúa de la casa de máquinas, se obtuvieron cierto número de cotizaciones, de manera que los costos usados para este equipo en el presupuesto, se consideran bien establecidos.

El precio de compra de la tierra se computó considerando el uso actual de la tierra y los precios vigentes para las diferentes zonas de terreno. El valor de la relocalización de los pueblos de Timba, Valle y Timba, Cauca, que serán inundados por el embalse de Timba, se estudió con cierto detalle, habiéndose inspeccionado los

sitios y determinado el número exacto y calidad de las construcciones que deben relocalizarse. En seguida se estimó el costo para la construcción de los nuevos pueblos en localidades cercanas, fuera de los límites del embalse, asumiendo que se reemplazarán las construcciones antiguas por modernas, incluyéndose el sistema de acueducto y de tratamiento de aguas para cada pueblo. El costo de relocalización del ferrocarril se determinó de acuerdo con las informaciones suministradas por los Ferrocarriles Nacionales de Colombia, basados en su experiencia reciente de construcciones semejantes. La relocalización de la carretera, se presupuestó de acuerdo con los costos de obras similares realizadas por la CVC.

El costo de la línea de transmisión de 230 kv entre Cali y Yumbo se derivó del costo de las líneas construidas localmente, haciendo los ajustes correspondientes al mayor voltaje. Estos costos se compararon también con los de la Comisión Federal de Energía de los Estados Unidos, para líneas similares, haciendo los ajustes correspondientes a las condiciones locales. Una comprobación adicional de estos costos se obtuvo por comparación con el presupuesto de los consultores IIMA para las líneas de transmisión del sistema interconectado.

El costo para las estaciones de bombeo de los tributarios del río Cauca, está basado en la experiencia de la CVC para estructuras similares construidas recientemente y ajustado de acuerdo con las descargas en cada estación de bombeo. Los costos de excavación y de jarillones, para el mejoramiento de los tributarios, se derivaron de un análisis del equipo y mano de obra necesarios, y se asemejan muy de cerca a los que se obtuvieron para parecidas obras de mejora para el río Cauca, tal como se describen en el Capítulo 7.

#### (b) Imprevistos

Una previsión para contingencias, se aplicó individualmente a las partes principales de los presupuestos de las presas de Salvajina y Timba, basándose en las dificultades que se anticipan, bien sea de construcción o de otro orden, en relación con cada parte del trabajo. El porcentaje de imprevistos que se aplicó a Salvajina es el 15% del costo directo total, considerando un 10% para el equipo principal y un promedio de 16,5% para las obras. Para Timba igualmente se estimaron los imprevistos en el 15% del costo directo total. Teniendo en cuenta el programa completo de exploraciones y el diseño detallado para ambas presas, la apropiación para imprevistos adoptada se considera conservativa.

Para el mejoramiento de los tributarios, se tomaron como imprevistos, el 20% del costo directo para el movimiento de tierras y el 15% para las estaciones de bombeo.



(c) Ingeniería

El costo de ingeniería para el proyecto de Salvajina se calculó en detalle, tanto para el diseño, como para la supervisión durante la construcción. El costo total para ingeniería, incluyendo estudios preliminares, asciende al 8,4% de la suma del costo directo más imprevistos. El costo de ingeniería total tanto para Timba como para el mejoramiento de los tributarios, es del orden de 12% de la suma del costo directo e imprevistos.

(d) Reajuste de Precios

Se ha hecho un estudio detallado de la información disponible de los índices de mano de obra en Colombia en los últimos diez años. Los datos se obtuvieron de las publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y de los boletines mensuales del Departamento Nacional de Estadísticas del Banco de la República. Además, la relación peso-dólar, se investigó durante el mismo período. Estos estudios muestran que en los últimos diez años, los costos locales de construcción han aumentado a la rata de 15,5% anual en promedio, al mismo tiempo que el peso en relación con el dólar ha disminuido a la rata de 12,5% anual. Así pues, aun cuando el aumento de costo con relación al tiempo es considerable, esto es parcialmente compensado por un cambio progresivo en la rata del cambio del peso con relación al dólar, en forma que si los costos locales de construcción se expresan en términos del equivalente en dólares, se ve que ellos crecen a una rata un poco mayor del 3% anual, aumento muy similar al del costo en dólares. Por consiguiente, para calcular el reajuste de los costos directos e indirectos, se tomó una rata de aumento anual del 3%, tanto para los costos en dólares como en pesos, expresados ambos en US dólares.

De lo anterior se deduce que la porción en pesos del costo estimado del proyecto, al incluir el efecto del reajuste, es correcto únicamente cuando se considera en términos de su equivalente en dólares, tal como se discutió. Para estimar el valor real en pesos necesario para completar la construcción del proyecto, debe hacerse una suposición realística del aumento del costo del peso, durante el período de construcción. A causa de la dificultad obvia para predecir el aumento futuro en los costos locales, se consideró apropiado utilizar el concepto del valor equivalente en dólares. Sin embargo, basados en pasadas experiencias el número real de pesos requerido durante el período de construcción será considerablemente mayor que el obtenido convirtiendo el valor equivalente en dólares a pesos a la rata de \$9 igual a 1 dólar. Por esta razón, los costos totales de construcción y de capital, para las presas de Salvajina y Timba, también se presentan con exclusión del efecto de reajuste, a fin de facilitar la revaluación de estos costos, para cualquier otra rata de escalación.

Los costos del mejoramiento de los tributarios del Cauca no se han reajustado pues se propone que estas obras se construyan por etapas, bajo contratos de plazo corto, que se extenderían hasta 1979 y sólo se financiarán al tiempo de la construcción. No es pues prudente incluir reajustes bajo estas circunstancias, ya que al contrario, podrían llevar a resultados errados.

(e) Intereses Durante la Construcción

Los intereses durante la construcción se han calculado sobre la base del programa para diseño y construcción del proyecto. Las ratas de interés usadas han sido del 6% para préstamos extranjeros (gastos en US dólares) y 10% en préstamos locales. Aun cuando los gastos locales para Salvajina pueden ser en gran parte financiados por el Gobierno Nacional con fondos del mismo, para efectos de presupuesto y evaluación económica, se incluyen intereses como de préstamos locales. Para las presas de Salvajina y Timba, los suministros de equipo principal se asume serán pagados en la forma siguiente: 20% a la adjudicación del contrato, 40% a la entrega de los equipos, 30% al terminar la instalación y 10% a la terminación del contrato principal de construcción. Las inversiones del contrato principal de construcción se determinan reteniendo 10% del valor de cada parte hasta la fecha en que el 50% de la construcción esté completa y nada después. El monto retenido que representa el 5% del valor de cada parte, se asume que será pagado a la terminación del contrato. Además, para tener en cuenta los gastos de movilización del equipo para construcción, se asume que se le pagará al contratista el 90% de este valor, al tiempo de la entrega del mismo en el sitio.

Puesto que es difícil estimar con precisión el programa para el mejoramiento de los tributarios, se asume que los costos se distribuyen uniformemente durante el período de los diez años de la construcción y que los intereses durante el mismo, se determinan suponiendo una serie de contratos de corta duración (1 año).

9.13 Costo Final

El costo total de capital del proyecto múltiple de Salvajina es el equivalente de US\$159'727.000 que incluye US\$101'970.000 y una cantidad de pesos equivalente a US\$57'757.000 basado en una tasa de cambio de 1 US\$ = 9 pesos. El costo total de capital, excluyendo el reajuste de precios, es el equivalente de US\$142'472.000 dentro del cual hay US\$90'530.000 y una cantidad de pesos equivalente a US\$51'942.000. En la Tabla 9-1 se muestra un resumen de los costos del proyecto con reajuste de precios y sin él.

TABLA 9-1

PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA

RESUMEN DE COSTOS

|  | Costo Total de Construcción                       |            | Costo Total de Capital                       |             |
|--|---|------------|--|-------------|
|  | Equivalente en dólares del costo en pesos         |            | Equivalente en dólares del costo en pesos    |             |
|  |   | US\$       |  | US\$        |
| Presa de Salvajina   | 33.141.000  | 77.016.000 | 43.765.000                                   | 88.984.000  |
| Presa de Timba   | 9.569.000   | 8.289.000  | 10.990.000                                   | 8.961.000   |
| Mejoramiento de Tributarios                                    | 2.708.000   | 3.777.000  | 3.002.000                                    | 4.025.000   |
| Total Proyecto Múltiple de Salvajina                           | 45.418.000  | 89.082.000 | 57.757.000                                   | 101.970.000 |
|  | Costo Total de Construcción (Excluyendo Reajuste) |            | Costo Total de Capital (Excluyendo Reajuste) |             |
|  | Equivalente en dólares del costo en pesos         |            | Equivalente en dólares del costo en pesos    |             |
|  |   | US\$       |  | US\$        |
| Presa de Salvajina   | 29.474.000  | 67.787.000 | 39.311.000                                   | 78.683.000  |
| Presa de Timba   | 8.368.000   | 7.227.000  | 9.629.000                                    | 7.822.000   |
| Mejoramiento de Tributarios                                    | 2.708.000   | 3.777.000  | 3.002.000                                    | 4.025.000   |
| Total Proyecto Múltiple de Salvajina (sin reajuste de precios) | 40.550.000  | 78.791.000 | 51.942.000                                   | 90.530.000  |

Los presupuestos de costos para el proyecto múltiple de Salvajina se muestran en la Tabla 9-13 (17 hojas). La descomposición en costos directos e imprevistos, expresados en el equivalente en dólares para cada parte principal de las presas de Salvajina y Timba y para el mejoramiento de los tributarios, aparece en las Tablas 9-10 a 9-12 respectivamente. Los costos directos más imprevistos, expresados tanto en pesos como en moneda

extranjera, para cada una de estas tres partes principales del proyecto, aparecen en las Tablas 9-7 a 9-9; los costos totales de construcción correspondientes y los costos de capital se muestran también en estas tablas.

## 9.2 PROGRAMA DE INVERSIONES

El programa de inversiones, que muestra los fondos requeridos en cada año para el proyecto múltiple de Salvajina, se indica en la Tabla 9-2. Este programa incluye los costos de construcción, intereses durante la misma, y los costos de capital tanto en moneda local como extranjera, pero sin reajuste de precios. Además, el programa para los costos de capital incluyendo el reajuste, para las presas de Salvajina y Timba, se da también en esta tabla.

## 9.3 DISTRIBUCION DE COSTOS

### 9.31 Bases para la Asignación

El proyecto múltiple de Salvajina, una vez terminado, proveerá un gran número de beneficios sustanciales. No todos ellos pueden valorarse directamente en términos de dinero y por consiguiente se omiten del análisis financiero. Para el propósito de este informe, se considera pertinente tener en cuenta únicamente aquellos beneficios derivados de la venta de energía y del aumento de la producción agrícola, merced al control de inundaciones.

Otros beneficios, tales como las posibilidades de irrigación del valle y la desviación del río Cauca al Pacífico, no se han incluido por las razones que se discutirán luego.

Puesto que el proyecto múltiple de Salvajina provee tanto el control de avenidas como la generación de energía simultáneamente, se hace necesario repartir equitativamente el costo total del proyecto entre estas dos funciones. El procedimiento usado aquí para conseguir este fin es el denominado "costos separables-beneficios remanentes" y es el recomendado generalmente por las agencias federales de los Estados Unidos.

En este método a cada función se le asigna su costo separable, esto es el costo que puede identificarse para esta función. A ésta se le agrega una parte de los costos conjuntos proporcionada de acuerdo con los remanentes encontrados al deducir los costos separables de cada función, de lo que resulte menor entre: a) beneficios, o b) el costo alternativo más barato de obtener los mismos beneficios. El resultado es el costo asignado para cada función.

El costo separable de cada función del proyecto se define como la diferencia entre el costo del proyecto múltiple y el costo del mismo proyecto sin la característica múltiple. Puesto que en este caso, se refiere únicamente a dos funciones, el costo separable de una función, es pues el costo del proyecto múltiple, menos el costo de un proyecto simple para la otra función.

TABLA 9-2  
 PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA  
 PLAN DE INVERSIONES

| Año   | Moneda Local<br>(En Miles de Dólares Equivalentes) |   |  | Moneda Extranjera<br>(Miles de Dólares)                       |  |                     | Costo de<br>Capital<br>de<br>Capital<br>Año |
|-------|--|---|--|---|--|---------------------|---|
|       | Costo de<br>Construc-<br>ción (sin<br>reajuste)    | Intereses Du-<br>rante la Cons-<br>trucción (sin<br>reajuste) | Costo de<br>Capital<br>(sin rea-<br>juste) | Intereses Du-<br>rante la Cons-<br>trucción (sin<br>reajuste) | Costo de<br>Capital<br>(sin rea-<br>juste) | Costo de<br>Capital |   |
| 1964  | 733  | --  | 733  | --  | 359  | 359                 | 1964  |
| 1965  | 2.823  | 37  | 2.860                                      | 11  | 931  | 952                 | 1965  |
| 1966  | 4.120  | 218   | 4.338                                      | 49  | 10.614                                     | 11.171              | 1966  |
| 1967  | 2.144  | 587   | 2.731                                      | 399   | 7.925                                      | 8.578               | 1967  |
| 1968  | 6.164  | 956   | 7.120                                      | 957   | 13.276                                     | 14.761              | 1968  |
| 1969  | 10.354   | 1.448   | 11.802                                     | 1.606   | 16.768                                     | 19.113              | 1969  |
| 1970  | 10.454   | 2.420   | 12.874                                     | 2.535   | 25.513                                     | 29.924              | 1970  |
| 1971  | 1.898  | 5.520   | 7.418                                      | 6.010   | 12.407                                     | 14.375              | 1971  |
| 1972  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1972  |
| 1973  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1973  |
| 1974  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1974  |
| 1975  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1975  |
| 1976  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1976  |
| 1977  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1977  |
| 1978  | 248  | 25  | 273  | 21  | 363  | 363                 | 1978  |
| 1979  | 124  | 31  | 155  | 25  | 196  | 196                 | 1979  |
| TOTAL | 40.550   | 11.392  | 51.942                                     | 11.739  | 90.530                                     | 101.970             |   |

La aplicación de este método requirió, además del estimativo usual de costos para el proyecto múltiple, un cierto número de otros cómputos para determinar el costo, en cada caso, de los proyectos de fin exclusivo y también de proyectos alternativos. Cada uno de los proyectos exclusivos debe ser capaz de llenar la misma respectiva función del proyecto múltiple. Los detalles de cada uno de estos proyectos adicionales y sus costos de construcción se dan en el Capítulo 7; estos costos y sus valores actuales, se insertan en la Tabla 9-3 y los beneficios para cada función, en la Tabla 9-5.

Para hacer las asignaciones, se supone lo siguiente:

(a) La asignación está basada en el valor actual de todos los costos y beneficios, a la fecha en la cual la primera unidad entra en servicio, e incluye todos los costos anuales computados sobre la base de los valores de la Tabla 7-1.

(b) Los costos y beneficios de todos los proyectos, están basados en los precios vigentes en Octubre de 1964 (sin reajustes). Los intereses durante la construcción se incluyen al aplicar el método del costo actual.

(c) En las discusiones siguientes, el término "costo total de construcción", significa la suma de todos los costos directos, imprevistos e ingeniería. El término "costo de capital", significa el costo total de construcción, más los intereses durante la construcción.

(d) Para estar de acuerdo con las suposiciones hechas en el Capítulo 4, al comparar los programas se usa un promedio de intereses a la rata del  $7\frac{1}{2}\%$ .

### 9.32 Definición de las Partes Asignadas

(a) Costo del Proyecto - Significa el costo del proyecto múltiple de Salvajina, incluyendo la presa y todas las obras correspondientes, la línea de transmisión a Yumbo, la presa de control de avenidas en Timba y el mejoramiento de los tributarios en el río Cauca.

(b) Costo Separable para Energía - Es el costo total del proyecto múltiple de Salvajina, menos el costo de un proyecto exclusivo para control de avenidas en Salvajina, con un embalse para control de 400 millones de  $m^3$ , de una presa en Timba con embalse de 140 millones de  $m^3$  también para control, y el mejoramiento de los tributarios, (ver sección 7-21f).

(c) Costo Separable para Control de Avenidas - Es el costo total del proyecto múltiple, menos el costo de un desarrollo exclusivo en Salvajina con la misma capacidad instalada y que produzca la misma cantidad de energía. Para este desarrollo de energía, la

elevación normal máxima del embalse, se basa en la misma altura de carga promedia del proyecto múltiple, pero con un embalse activo de sólo 76 millones de m<sup>3</sup>. La altura de la presa es por consiguiente más baja que la del proyecto múltiple. En el costo del desarrollo de energía estará incluido un embalse de amortiguación de energía y regulación para la descarga de las turbinas. El detalle del proyecto exclusivo para energía se da en la Sección 7.21.e.



TABLA 9-3

RESUMEN DE COSTOS DEL PROYECTO PARA LA DISTRIBUCION DE COSTOS

| Proyecto  | Costos en Miles de Dólares Equivalentes   |   |                                      |                          |
|---|---|---|--------------------------------------|--------------------------|
|   | Costo<br>Total<br>de<br>Construc-<br>ción | Valor<br>Actual<br>de<br>Construc-<br>ción<br>Total | Valor<br>de los<br>Gastos<br>Anuales | Valor<br>Total<br>Actual |
| <b>PROYECTO MULTIPLE DE SALVAJINA</b>                         |   |   |                                      |                          |
| Presa de Salvajina  | 97.261                                    | 114.190   | 15.820                               | 130.010                  |
| Presa de Timba  | 15.595                                    | 17.320  | 2.450                                | 19.770                   |
| Mejoramiento de los Tributarios                               | 6.485                                     | 5.320   | 1.540                                | 6.860                    |
| Total   | 119.341                                   | 136.830   | 19.810                               | 156.640                  |
| <b>PROYECTO DE ENERGIA DE SALVAJINA</b>                       |   |   |                                      |                          |
| Presa de Salvajina  | 88.811                                    | 103.830   | 14.340                               | 118.170                  |
| Embalse de Amortiguación                                      | 2.554                                     | 2.830   | 400                                  | 3.230                    |
| Total   | 91.365                                    | 106.660   | 14.740                               | 121.400                  |
| <b>PROYECTO PARA CONTROL DE AVENIDAS EN SALVAJINA</b>         |   |   |                                      |                          |
| Presa de Salvajina  | 35.313                                    | 39.210  | 5.020                                | 44.230                   |
| Presa de Timba  | 15.595                                    | 17.320  | 2.450                                | 19.770                   |
| Mejoramiento de los Tributarios                               | 6.485                                     | 5.320   | 1.540                                | 6.860                    |
| Total   | 57.393                                    | 61.850  | 9.010                                | 70.860                   |
| <b>PROYECTO ALTERNATIVO PARA CONTROL DE AVENIDAS EN TIMBA</b> |   |   |                                      |                          |
| Presa de Timba  | 26.033                                    | 28.910  | 3.700                                | 32.610                   |
| Mejoramiento de los Tributarios                               | 6.485                                     | 5.320   | 1.540                                | 6.860                    |
| Total   | 32.518                                    | 34.230  | 5.240                                | 39.470                   |

**NOTA:** No se incluyen reajustes de precios. Los valores actuales se calculan para la fecha en la cual la primera unidad entre en servicio.

(d) Costo Alternativo para Control de Avenidas - Es el costo del proyecto alternativo más barato que puede proveer el mismo grado de protección contra avenidas. Tal como se describe en la Sección 7.23.c, se encontró que la alternativa más barata consistía de una presa de control en Timba, con volumen de embalse de 540 millones de m<sup>3</sup>, conjuntamente con la mejora de los tributarios. El costo se muestra en la Tabla 9-3.

(e) Costo Alternativo de Energía - Es el costo del proyecto más barato que produzca la misma capacidad y energía. En este informe el costo alternativo es el correspondiente a una planta térmica equivalente, que genere 149,5 mw continuos al año y que tenga una capacidad de 417 mw, habida cuenta de las pérdidas de transmisión.

(f) Beneficio de Energía - Es la utilidad que puede obtenerse de la venta de energía y es por consiguiente dependiente de la estructura tarifaria del servicio. Como luego se discute, para obtener una indicación razonable de este beneficio, se utilizó el costo de proveer una planta térmica de la misma capacidad y energía. El beneficio y el costo alternativo para energía, son por consiguiente los mismos.

No obstante, también se consideró el usar, como beneficio de energía, el costo de energía obtenido del proyecto múltiple de Salvajina. Esto presume que el próximo desarrollo en el sistema debe ser de un tamaño que haga posible la obtención de costos similares a los derivados del proyecto múltiple. Se encontró que esta suposición de hecho no cambia la asignación de costos en una cantidad importante, ya que en los cálculos para la asignación, el beneficio remanente para control de avenidas resulta pequeño. Por consiguiente, el efecto producido por el uso de estos beneficios remanentes para proporcionar los costos residuales, variaron la asignación total en una fracción muy pequeña solamente.

(g) Beneficio de Control de Avenidas - Es el aumento neto en las entradas, resultante del uso de la tierra mejorada y tiene un valor actual equivalente de US\$10'750.000 tal como luego se describe.

### 9.33 Resumen de los Resultados de Asignación de Costos

Los varios componentes de los costos del proyecto, se usaron en la Tabla 9-4 para asignar la proporción de costos que se debe aplicar a cada función. Como puede verse, del total del valor actual, incluyendo costos anuales, del equivalente de US\$156'640.000 para el proyecto múltiple de Salvajina, se asignan US\$120'220.000 a generación de energía y US\$36'420.000 a control de avenidas. Esto representa una proporción de 76,8% para energía y 23,2% a control, la cual aplicada al costo total de capital (sin reajustes) del proyecto múltiple de US\$142'472.000, significa una asignación de US\$109'418.000 para energía y de US\$33'054.000 para control de avenidas.

## 9.4 BENEFICIOS

### 9.41 Descripción General

Los beneficios computados aquí, se obtuvieron sobre las mismas bases de la asignación de costos. El método del valor actual se escogió para comparar los costos y beneficios, teniendo en cuenta las variaciones en el desarrollo agrícola en los primeros 10 años y para obtener valores comparables entre los diferentes programas de desarrollo, tal como se discute en el Capítulo 4. Para facilitar los cálculos, se usa un interés a la rata promedio de  $7\frac{1}{2}\%$  en la determinación de los valores actuales, para todos los estudios comparativos.

### 9.42 Beneficios de Energía

El proyecto múltiple de Salvajina tendrá una capacidad firme de 430 mw y producirá 152 mw de energía promedio anual para ser usada en el sistema interconectado.

Aun cuando el beneficio directo de energía es el producido de la venta de energía, el uso de este dato al comparar los costos y beneficios no es significativo, ya que el precio de venta de la energía está a su vez basado en el costo del proyecto. Por consiguiente, el beneficio se determina por el costo de instalar y operar una planta térmica de la misma capacidad y factor de carga que la planta de Salvajina, teniendo en cuenta las pérdidas por transmisión. Este sistema constituye un método consistente, para comparar el valor económico de varios proyectos hidroeléctricos.

El cálculo del costo de la planta térmica se discute en el Capítulo 4, y estos valores, incluida la consideración de las pérdidas por transmisión ocasionadas por la diferencia en localización entre Salvajina y las plantas térmicas, se usan para obtener el beneficio de energía tal como se ve en la Tabla 9-5. La relación de beneficio-costo así obtenida es 1,77. Esta relación indica que el proyecto de Salvajina es una fuente de energía, económicamente de méritos iguales a otras plantas hidroeléctricas.

TABLA 9-4

DISTRIBUCION DE COSTOS PARA SALVAJINA

|   | Valor Actual en Miles de<br>Dólares |                           |         |
|---|-------------------------------------|---------------------------|---------|
|   | Energía                             | Control<br>de<br>Avenidas | Total   |
| 1. Proyecto Múltiple de Salvajina                             |                                     |                           | 156.640 |
| 2. Beneficios   | 213.700                             | 114.200                   | 327.900 |
| 3. Costos Alternativos  | 213.700                             | 39.470                    | 253.170 |
| 4. Beneficios Limitados por los<br>Costos Alternativos        | 213.700                             | 39.470                    | 253.170 |
| 5. Costos Separables  | 85.780                              | 35.240                    | 121.020 |
| 6. Beneficios Remanentes                                      | 127.920                             | 4.230                     | 132.150 |
|   | (96,8%)                             | ( 3,2%)                   | ( 100%) |
| 7. Costos Residuales (1-5)                                    | -                                   | -                         | 35.620  |
| 8. Costos Residuales Asignados                                | 34.440                              | 1.180                     | 35.620  |
| 9. Costos Totales Asignados (5+8)                             | 120.220                             | 36.420                    | 156.640 |
| 10. Asignación de Costos como Porcentaje<br>de Costos Totales | (76,8%)                             | (23,2%)                   | ( 100%) |

NOTA: En todos los costos se excluyen los reajustes. Los valores actuales se calculan para las fechas de entrada en servicio de la primera unidad.

#### 9.43 Beneficios de Control de Avenidas

El beneficio del control de avenidas se ha calculado como el valor actual del incremento en entradas netas derivadas de la mayor producción agrícola adicional obtenible merced a la protección contra inundaciones. Esta producción agrícola mejorada se relaciona con las 51.860 ha que se consideran sujetas a inundaciones, tal como se describe en el Capítulo 5. Una descripción detallada del cálculo de este beneficio, sobre una base anual, está contenida en el Apéndice D. El valor anual de este beneficio resultó ser \$96'735.000, o sea el equivalente en dólares US\$10'750.000, asumiendo el desarrollo integral de la zona.

Sin embargo, puesto que aún después de lograda la protección contra inundaciones, pasará algún tiempo antes de que toda la tierra llegue a ser plenamente explotada, se supone que este beneficio se acumula en un período de 10 años, empezando un año después de la terminación del primer proyecto de mejoramiento en un tributario. A su vez, el mejoramiento de tributarios está programado para iniciarlo dos años antes de la terminación de las presas de Salvajina y Timba. El aprovechamiento y el beneficio agrícola, se estima que hayan de desarrollarse uniformemente, a la rata de 10% por año, hasta completar el período de 10 años, con la excepción de que el primer año únicamente se considera la mitad del beneficio, mientras se terminan los embalses. Pasados los 10 años, el beneficio total se aplica cada año, por el resto de la vida económica del proyecto. El beneficio así calculado, se considera conservativo por las siguientes razones:

(a) No se ha tomado en consideración ningún beneficio resultante de la mejora del avenamiento de las tierras adyacentes a las zonas inundadas.

(b) Se ha supuesto que el desarrollo agrícola se suceda de acuerdo con el uso actual, en lugar del aprovechamiento óptimo de la misma.

(c) No se ha tenido en cuenta el efecto de la irrigación en el cálculo económico. De haberse hecho, parte de los costos de la presa de Timba y de los trabajos de avenamiento, se hubiera asignado a esta función. Un aumento adicional en la producción agrícola será el resultado de las provisiones conjuntas para control de avenidas e irrigación, tal como se discute más adelante, respecto de los beneficios de irrigación.

(d) Se despreciaron los beneficios indirectos del desarrollo agrícola que se describen en el Apéndice D.

Tal como se muestra en la Tabla 9-5, la relación de beneficio-costo fue de 3,1, cifra que indica que las medidas propuestas son económicamente atractivas.

TABLA 9-5  
COSTOS Y BENEFICIOS

ENERGIA

Características de la planta térmica equivalente

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Capacidad instalada en Salvajina                                 | 430 mw                    |
| Pérdidas de transmisión hasta el sitio de la planta térmica (3%) | 13 mw                     |
| Capacidad requerida en la planta térmica equivalente             | 417 mw                    |
| Energía promedia anual generada en Salvajina                     | 1.330x10 <sup>6</sup> kwh |
| Pérdidas de transmisión al sitio de la planta térmica (1½%)      | 20x10 <sup>6</sup> kwh    |
| Energía requerida de la planta térmica equivalente               | 1.310x10 <sup>6</sup> kwh |

Costo Equivalente en Miles de Dólares

Planta térmica equivalente

|   |         |
|---|---------|
| Costo total de construcción (417 mw a US\$170/kw) | 70.890  |
| Valor actual del costo total de construcción      | 76.300  |
| Valor actual de reposición después de 25 años     | 12.400  |
| Valor actual de los cargos fijos anuales          | 45.700  |
| Valor actual del costo de combustible             | 79.300  |
| Valor actual de la estación térmica equivalente   | 213.700 |

Proyecto múltiple de Salvajina

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Valor actual asignado a energía | 120.220 |
|---------------------------------|---------|

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| <u>Relación beneficio-costo</u> | <u>1,77</u> |
|---------------------------------|-------------|

CONTROL DE AVENIDAS

Proyecto múltiple de Salvajina

|  |        |
|--|--------|
| Valor actual de costo asignado a control de avenidas | 36.420 |
|--|--------|

Beneficios de control de avenidas

|   |         |
|---|---------|
| Valor actual de beneficios de control de avenidas | 114.200 |
|---|---------|

|  |             |
|--|-------------|
| <u>Relación beneficio-costo para control de avenidas</u> | <u>3,14</u> |
|--|-------------|

|   |             |
|---|-------------|
| <u>Relación beneficio-costo - Proyecto Múltiple</u> | <u>2,09</u> |
|---|-------------|

NOTA: Todos los costos excluyen reajustes. Los valores actuales se calculan para la fecha en la cual entra en servicio la primera unidad.

#### 9.44 Beneficios de Irrigación

Los beneficios de irrigación incidirán en todo el Valle del Cauca, merced a la provisión de embalses capaces de almacenar el agua requerida para los períodos secos, una vez terminados los sistemas de riego y avenamiento. El almacenamiento requerido será provisto por los embalses de Salvajina y Timba, al mismo tiempo que los trabajos de avenamiento en los tributarios del río Cauca, harán posible la irrigación. Además, la presa de Timba facilitará y reducirá el costo de las obras de captación de los futuros canales principales de irrigación.

Un nuevo beneficio indirecto, resulta del hecho de que la tierra, ya libre de inundaciones, puede ser irrigada. El aumento resultante de los ingresos, constituye un beneficio conjunto, atribuible tanto al control de avenidas como a la irrigación, puesto que ambas realizaciones son necesarias para obtener el beneficio.

Como consecuencia de lo anterior, la asignación de la parte proporcional de beneficios correspondientes a irrigación, es algo compleja, y puesto que este cálculo hubiera ampliado considerablemente el alcance de estos estudios, se ha prescindido de la irrigación para el cálculo de los beneficios económicos. Esto se ha considerado aceptable, dado que: a) El proyecto ha sido justificado económicamente lo bastante, por concepto de las otras dos funciones principales, y b), el porcentaje del costo total del proyecto, que podría imputarse a irrigación, es relativamente pequeño y por tanto lo asignado a las otras partes, no cambia sustancialmente. En el informe de Timba de 1958, por ejemplo, la asignación a irrigación en ese proyecto fue de 7,2%, o sea un total equivalente de US\$2'150.000.

Aun cuando la asignación a la función de irrigación sea pequeña, no obstante el beneficio para el valle del Cauca es considerable, siempre que se disponga del adecuado almacenamiento de agua y de las facilidades de avenamiento. Este beneficio de irrigación se estimó, en el proyecto de Timba de 1958, en un equivalente de US\$8'600.000 por año, cuando se explote totalmente.

#### 9.45 Beneficios Aplicables al Proyecto de Desviación del Cauca al Pacífico

La regulación del río Cauca por los embalses de Salvajina y Timba, producirá un aumento de los caudales disponibles para la desviación al Pacífico. Esta desviación permitirá el desarrollo de aproximadamente 1.000 mw de capacidad hidroeléctrica en el lado del Pacífico.

No se ha tenido en cuenta este beneficio para el análisis financiero, debido a la falta de suficiente información sobre este proyecto y sobre su posible fecha de iniciación. Sin embargo, la

combinación de la gran altura de carga y gran caudal disponibles en este desarrollo, indica que debe acometerse en fecha no lejana, para satisfacer las necesidades del sistema interconectado.

#### 9.46 Beneficios Indirectos

Una serie de beneficios adicionales asociados con el proyecto de Salvajina, que no podrían expresarse fácilmente en términos monetarios, se resumen así:

(a) Reducción en los daños producidos por inundaciones - En el pasado, las inundaciones han ocasionado daños de diferente índole. Así durante la gran inundación de 1949-50, fue necesario evacuar casi toda la población de Juanchito, varias personas perecieron ahogadas y posteriormente se desarrolló una epidemia de fiebre tifoidea. Las pérdidas materiales a las propiedades y el ganado, fueron considerables. Esta clase de pérdidas, si bien de extensión reducida, serán aminoradas considerablemente, después de la construcción del proyecto.

(b) Reducción del contenido de sedimentos del río Cauca - La sedimentación en los embalses de Salvajina y Timba, reducirá el contenido de material en suspensión del agua del río Cauca. Esto beneficiará el uso doméstico e industrial del agua y aumentará su valor por el aspecto recreacional.

(c) Mejora en el transporte - La regulación del río mejorará las condiciones de navegación de Timba para abajo. Además, el hecho de controlar las avenidas, salvo las peores, reducirá considerablemente el costo de mantenimiento de caminos, ferrocarriles y puentes y las demoras en el transporte.

(d) Recreación - Los embalses de Timba y Salvajina son fácilmente accesibles desde Cali. La creación de estos embalses hará posible su uso para fines de recreación, como navegación deportiva, pesca y natación.

(e) Control de la polución del río - El aumento de caudal en los períodos secos, reducirá la concentración de residuos industriales, y por consiguiente facilitará los problemas de purificación del agua para consumo humano, de eliminación de aguas negras y mejorará la salubridad pública en general.

(f) Reducción de la erosión - El control de los caudales de pico en el río Cauca, causará una reducción significativa en la erosión de las riberas y tenderá a estabilizar el curso.

(g) Aumento de empleo rural - El aumento en producción agrícola resultante del control de avenidas, aumentará el empleo rural en unos 6.000 trabajadores, atenuando así el serio problema del desempleo.



## 9.5 COSTOS ANUALES DEL PROYECTO MULTIPLE

Las comparaciones económicas en este informe se han hecho generalmente sobre la base del valor actual, usando el criterio que se discutió previamente. Las suposiciones referentes a las ratas de interés y amortización de los préstamos de capital, que se han usado en el cálculo de los costos anuales, difieren ligeramente en algunos casos de las usadas para el cómputo de los valores actuales primeramente. Sin embargo, las diferencias son insignificantes y reflejan únicamente la diversidad de los propósitos para los cuales se han calculado.

Habiéndose establecido previamente la economía del proyecto, los costos anuales se presentan únicamente para indicar el alcance de los costos futuros, que inciden en el proyecto. El criterio usado para la determinación de los costos anuales, es el siguiente:

(a) Los costos anuales están basados en los niveles de precios existentes en Octubre de 1964 (sin reajustes) y al cambio de \$9 = US\$1.

(b) El pago de intereses está basado en una rata del 6% para el componente en dólares del costo de capital y del 10% para el componente en pesos. La depreciación se computó considerando un fondo de reserva a las ratas de 5% para el dólar y 9% para el peso. El plazo de amortización, para todas las partes del proyecto, tendrá una duración igual a la vida útil, que se ha tomado en 50 años, excepto para las líneas de transmisión para las cuales se asumen 35 años.

Los valores usados para los costos anuales de operación, mantenimiento, administración, seguros, reposiciones eventuales, y la vida económica de las diferentes partes, se muestran en la Tabla 7-1.

El costo anual expresado en su equivalente en dólares, asumiendo que las mejoras de los tributarios se hayan realizado completamente, se indican en la Tabla 9-6. Aplicando el valor del porcentaje de costo asignado a energía que se obtiene de la Tabla 9-4, el costo unitario de la energía entregada en los centros de carga en Cali viene a ser de 6,7 centavos (7,44 US mills)/kwh. Este resultado se basa en una venta anual de 1310 millones de kwh de energía, en los centros de carga en Cali. La tarifa actual de venta de energía de la CVC, es de 9 centavos/kwh en Cali.

TABLA 9-6  
 COSTOS ANUALES DE SALVAJINA  
 (Sin incluir reajustes)

|  | Costos en Miles de Dólares Equivalentes       |   |  |           |       |       |
|--|---|---|--|-----------|-------|-------|
|  | Presa de Salvajina<br>Pesos en<br>Equiv. US\$ | Presa de Timba<br>Pesos en<br>Equiv. US\$ | Mejora de Tributarios<br>Pesos en<br>Equiv. US\$ | Río Cauca |       |       |
| Costo total de capital   | 39.311  | 78.683                                    | 9.629  | 7.822     | 3.002 | 4.025 |
| Intereses (10%, 6%)  | 3.931   | 4.721                                     | 963  | 469       | 300   | 241   |
| Fondo de amortización (9%, 5%)   | 56  | 396                                       | 12   | 37        | 4     | 19    |
| Operación, mantenimiento, administración, seguros, y reposición interina | 401   | 810                                       | 101  | 83        | 47    | 103   |
| Totales  | 4.388   | 5.927                                     | 1.076  | 589       | 351   | 363   |
| Costo anual total para el proyecto múltiple                              | Equivalente US\$12.694                        |   |  |           |       |       |
| Costo anual para energía (76,8%)   | Equivalente US\$ 9.749                        |   |  |           |       |       |
| Costo anual para control de avenidas (23,2%)                             | Equivalente US\$ 2.945                        |   |  |           |       |       |
| Costo de producción para 1310 millones de kwh de energía al año -        | 7,44 US mills/kwh                             |   |  |           |       |       |
|  | 6,70 centavos/kwh                             |   |  |           |       |       |

TABLA 9-7

ESTIMATIVO DE COSTOS PARA LA PRESA DE SALVAJINA  
 DIVISION ENTRE GASTOS EN PESOS Y EN MONEDA EXTRANJERA

| Parte   | Gastos (1)                              |   | Total (1)<br>Equivalente<br>US\$ |
|---|---|---|----------------------------------|
|   | en Moneda<br>Local<br>en Equiv.<br>US\$ | Gastos (1)<br>en Moneda<br>Extranjera<br>US\$ |                                  |
|   |   |   |                                  |
| 1. Trabajos preparatorios                               | 2'208.000                               | 804.000                                       | 3'012.000                        |
| 2. Desviación y desagüe                                 | 3'829.000                               | 4'721.000                                     | 8'550.000                        |
| 3. Presa  | 8'117.000                               | 28'283.000                                    | 36'400.000                       |
| 4. Rebosadero   | 2'181.000                               | 3'325.000                                     | 5'506.000                        |
| 5. Túneles y conducto de carga                          | 1'316.000                               | 1'477.000                                     | 2'794.000                        |
| 6. Pozo de compuertas                                   | 775.000                                 | 941.000                                       | 1'716.000                        |
| 7. Tuberías de carga                                    | 1'637.000                               | 5'947.000                                     | 7'583.000                        |
| 8. Casa de máquinas - Obras civiles                     | 2'269.000                               | 1'463.000                                     | 3'732.000                        |
| 9. Casa de máquinas - Equipo mecánico                   | 405.000                                 | 5'774.000                                     | 6'179.000                        |
| 10. Casa de máquinas - Equipo eléctrico                 | 528.000                                 | 6'266.000                                     | 6'794.000                        |
| 11. Patio de conexiones y transmisión                   | 2'065.000                               | 5'407.000                                     | 7'472.000                        |
| Costo directo total más imprevistos                     | 25'330.000                              | 64'408.000                                    | 89'738.000                       |
| 12 Ingeniería   | 4'144.000                               | 3'379.000                                     | 7'523.000                        |
| Costo total de construcción (sin reajustes)             | 29'474.000                              | 67'787.000                                    | 97'261.000 →                     |
| Reajustes   | 3'667.000                               | 9'229.000                                     | 12'896.000                       |
| COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION                             | 33'141.000                              | 77'016.000                                    | 110'157.000                      |
| 13 Intereses durante la construcción (sin reajustes)    | 9'837.000                               | 10'896.000                                    | 20'733.000 ←                     |
| Intereses durante la construcción (sobre los reajustes) | 787.000                                 | 1'072.000                                     | 1'859.000                        |
| COSTO TOTAL DE CAPITAL                                  | 43'765.000                              | 88'984.000                                    | 132'749.000                      |

(1) Los costos incluyen imprevistos.

17 921  
 142 720  
 2 022  
 US\$ 159 722

TABLA 9-8

ESTIMATIVO DE COSTOS PARA LA PRESA DE TIMBA  
 DIVISION ENTRE GASTOS EN PESOS Y EN MONEDA EXTRANJERA

| Parte  | Gastos (1)                      | Gastos (1)              | Total (1)         |
|--|---------------------------------|-------------------------|-------------------|
|  | en Moneda<br>Local<br>en Equiv. | en Moneda<br>Extranjera | Equivalente       |
|  | US\$                            | US\$                    | US\$              |
| 1. Trabajos preparatorios                                    | 4'090.000                       | 863.000                 | 4'953.000         |
| 2. Desviación y desagüe                                      | 163.000                         | 259.000                 | 422.000           |
| 3. Presa   | 712.000                         | 2'531.000               | 3'243.000         |
| 4. Rebosadero y descarga                                     | 2'506.000                       | 2'800.000               | 5'306.000         |
| Costo directo total más impre-<br>vistos                     | 7'471.000                       | 6'453.000               | 13'924.000        |
| Ingeniería   | 897.000                         | 774.000                 | 1.671.000         |
| Costo total de construcción<br>(sin reajustes)               | 8'368.000                       | 7'227.000               | 15'595.000        |
| Reajustes  | 1'201.000                       | 1'062.000               | 2'263.000         |
| <b>COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION</b>                           | <b>9'569.000</b>                | <b>8'289.000</b>        | <b>17'858.000</b> |
| Intereses durante la construc-<br>ción (sin reajustes)       | 1'261.000                       | 595.000                 | 1'856.000         |
| Intereses durante la construc-<br>ción (sobre los reajustes) | 160.000                         | 77.000                  | 237.000           |
| <b>COSTO TOTAL DE CAPITAL</b>                                | <b>10'990.000</b>               | <b>8'961.000</b>        | <b>19'951.000</b> |

(1) Los costos incluyen imprevistos.

TABLA 9-9

ESTIMATIVO DE COSTOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS DEL RIO CAUCA  
 DIVISION ENTRE GASTOS EN PESOS Y EN MONEDA EXTRANJERA

| Parte  | Gastos (1)                              | Gastos (1)                      | Total (1)<br>Equivalente |
|--|---|---------------------------------|--------------------------|
|  | en Moneda<br>Local<br>en Equiv.<br>US\$ | en Moneda<br>Extranjera<br>US\$ |                          |
| 1. Adquisición de tierra                                     | 510.000                                 | -                               | 510.000                  |
| 2. Jarillones y canales                                      | 716.000                                 | 1'901.000                       | 2'617.000                |
| 3. Estaciones de bombeo                                      | 1'192.000                               | 1'471.000                       | 2'663.000                |
| Costo directo total más impre-<br>vistos                     | 2'418.000                               | 3'372.000                       | 5'790.000                |
| Ingeniería   | 290.000                                 | 405.000                         | 695.000                  |
| Costo total de construcción<br>(sin reajustes)               | 2'708.000                               | 3'777.000                       | 6'485.000                |
| Reajustes  | -                                       | -                               | -                        |
| <b>COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION</b>                           | <b>2'708.000</b>                        | <b>3'777.000</b>                | <b>6'485.000</b>         |
| Intereses durante la construc-<br>ción (sin reajustes)       | 294.000                                 | 248.000                         | 542.000                  |
| Intereses durante la construc-<br>ción (sobre los reajustes) | -                                       | -                               | -                        |
| <b>COSTO TOTAL DE CAPITAL</b>                                | <b>3'002.000</b>                        | <b>4'025.000</b>                | <b>7'027.000</b>         |

(1) Los costos incluyen imprevistos.

TABLA 9-10

ESTIMATIVO DE COSTOS PARA LA PRESA DE SALVAJINA  
 DIVISION ENTRE COSTOS DIRECTOS Y GASTOS IMPREVISTOS

| Parte   | Costo             | Imprevistos       | Total                       |
|---|-------------------|-------------------|-----------------------------|
|   | Directo           |                   | Costo Directo e Imprevistos |
|   | US\$              | US\$              | Equiv. US\$                 |
| 1. Trabajos preparatorios                       | 2'584.000         | 428.000           | 3'012.000                   |
| 2. Desviación y desagüe                         | 7'335.000         | 1'215.000         | 8'550.000                   |
| 3. Presa  | 31'228.000        | 5'172.000         | 36'400.000                  |
| 4. Rebosadero                                   | 4'724.000         | 782.000           | 5'506.000                   |
| 5. Túneles y bocatomas de carga                 | 2'397.000         | 397.000           | 2'794.000                   |
| 6. Pozo de compuertas                           | 1'472.000         | 244.000           | 1'716.000                   |
| 7. Tuberías de carga                            | 6'505.000         | 1'078.000         | 7'583.000                   |
| 8. Casa de máquinas - Obras civiles             | 3'202.000         | 530.000           | 3'732.000                   |
| 9. Casa de máquinas - Instalaciones mecánicas   | 5'617.000         | 562.000           | 6'179.000                   |
| 10. Casa de máquinas - Instalaciones eléctricas | 6'176.000         | 618.000           | 6'794.000                   |
| 11. Patio de conexiones y transmisión           | 6'793.000         | 679.000           | 7'472.000                   |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>78'033.000</b> | <b>11'705.000</b> | <b>89'738.000</b>           |

TABLA 9-11  
 ESTIMATIVO DE COSTOS PARA LA PRESA DE TIMBA  
 DIVISION ENTRE COSTOS DIRECTOS Y GASTOS IMPREVISTOS

| Parte                                 | Costo             | Imprevistos      | Total                       |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|
|                                       | Directo           |                  | Costo Directo e Imprevistos |
|                                       | US\$              | US\$             | Equiv. US\$                 |
| 1. Trabajos preparatorios             | 4'306.000         | 647.000          | 4'953.000                   |
| 2. Desviación y desagüe               | 367.000           | 55.000           | 422.000                     |
| 3. Presa                              | 2'820.000         | 423.000          | 3'243.000                   |
| 4. Rebosadero y conductos de descarga | 4'614.000         | 692.000          | 5'306.000                   |
| <b>TOTAL</b>                          | <b>12'107.000</b> | <b>1'817.000</b> | <b>13'924.000</b>           |

TABLA 9-12  
 ESTIMATIVO DE COSTOS PARA MEJORAMIENTO  
 DE LOS TRIBUTARIOS DEL CAUCA  
 DIVISION ENTRE COSTOS DIRECTOS Y GASTOS IMPREVISTOS

| Parte                     | Costo            | Imprevistos    | Total                       |
|---------------------------|------------------|----------------|-----------------------------|
|                           | Directo          |                | Costo Directo e Imprevistos |
|                           | US\$             | US\$           | Equiv. US\$                 |
| 1. Adquisición de tierras | 425.000          | 85.000         | 510.000                     |
| 2. Jarillones y canales   | 2'181.000        | 436.000        | 2'617.000                   |
| 3. Estaciones de bombeo   | 2'316.000        | 347.000        | 2'663.000                   |
| <b>TOTAL</b>              | <b>4'922.000</b> | <b>868.000</b> | <b>5'790.000</b>            |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 1 De 17

| Nº | DESCRIPCION                                       | UNIDAD         | CANTIDAD | COSTO UNITARIO       |      | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |      |                   | OBSERVACIONES |
|----|---|----------------|----------|----------------------|------|------------------------|------|----------------------|------|-------------------|---------------|
|    |   |                |          | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ | Total US\$ Equiv. |               |
| 1  | <u>OBRAS PRELIMINARES</u>                         |                |          |                      |      |                        |      |                      |      |                   |               |
|    | Adquisición de tierras                            |                |          |                      |      |                        |      |                      |      |                   |               |
|    | Compra de tierras para embalse y relocalizaciones | ha             | 2.500    | 360,00               | 900  | 900                    | 900  | 900                  | 900  |                   |               |
|    | Derechos de tierras                               | Global         |          |                      | 20   | 20                     | 20   | 20                   | 20   |                   |               |
|    | Relocalizaciones                                  |                |          |                      |      |                        |      |                      |      |                   |               |
|    | Mejoras de caminos                                | km             | 32,5     | 7.420                | 241  | 241                    | 241  | 241                  | 241  |                   |               |
|    | Construcción de caminos nuevos                    | km             | 2,0      | 11.460               | 23   | 23                     | 23   | 23                   | 23   |                   |               |
|    | Relocalización ferrocarril                        | km             | 3,0      | 83.170               | 250  | 250                    | 250  | 250                  | 250  |                   |               |
|    | Gastos varios                                     | Global         |          |                      | 5    | 5                      | 5    | 5                    | 5    |                   |               |
|    | Energía para construcción (34,5 kv línea)         | km             | 25,0     | 6.000                | 150  | 150                    | 150  | 150                  | 150  |                   |               |
|    | Campamentos CVC                                   | Global         |          |                      | 60   | 60                     | 60   | 60                   | 60   |                   |               |
|    | Limpieza zona del embalse                         | ha             | 1.000    | 50,00                | 50   | 50                     | 50   | 50                   | 50   |                   |               |
|    | Total parte 1                                     |                |          |                      |      |                        |      | 1.894                | 690  | 2.584             |               |
| 2  | <u>DESVIACION Y DESAQUE</u>                       |                |          |                      |      |                        |      |                      |      |                   |               |
|    | Excavación  |                |          |                      |      |                        |      |                      |      |                   |               |
|    | Común   | m <sup>3</sup> | 145.000  | 0,15                 | 22   | 22                     | 22   | 22                   | 22   | 109               |               |
|    | En roda   | m <sup>3</sup> | 48.000   | 0,52                 | 25   | 25                     | 25   | 25                   | 25   | 125               |               |
|    | En túneles  | m <sup>3</sup> | 129.800  | 6,30                 | 818  | 818                    | 818  | 818                  | 818  | 2.713             |               |



RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

| NO. | DESCRIPCION                               | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |       | OBSERVACIONES |
|-----|---|----------------|-----------|----------------------|-------|------------------------|------|----------------------|-------|---------------|
|     |   |                |           | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  |               |
|     | Aguia de aguas arriba                     | Global         |           |                      |       | 25                     | 100  |                      | 125   |               |
|     | Aguia de aguas abajo                      | Global         |           |                      | 6     | 24                     |      |                      | 30    |               |
|     | Concreto                                  |                |           |                      |       |                        |      |                      |       |               |
|     | Portales de entrada y de salida - Pisos   | m <sup>3</sup> | 2.000     | 20,00                | 20,00 | 40                     | 40   |                      | 80    |               |
|     | Portales de entrada y de salida - Paredes | m <sup>3</sup> | 2.900     | 20,00                | 35,00 | 58                     | 102  |                      | 160   |               |
|     | Revestimiento túnel                       | m <sup>3</sup> | 30.470    | 12,40                | 18,60 | 378                    | 565  |                      | 943   |               |
|     | Taponamiento túnel                        | m <sup>3</sup> | 2.060     | 12,00                | 18,00 | 25                     | 37   |                      | 62    |               |
|     | Estructura de cierre del túnel            | Global         |           |                      |       | 35                     | 15   |                      | 50    |               |
|     | Inyecciones de contacto                   | Global         |           |                      |       | 74                     | 26   |                      | 100   |               |
|     | Cemento                                   | T              | 14.640    | 23,25                | 1,75  | 340                    | 26   |                      | 366   |               |
|     | Refuerzo                                  | kg             | 2'216.000 | 0,30                 | 0,05  | 665                    | 111  |                      | 776   |               |
|     | Soportes de acero                         | kg             | 1'630.000 | 0,29                 | 0,36  | 473                    | 587  |                      | 1.060 |               |
|     | Perris para roca                          | m              | 2.000     | 4,00                 | 4,80  | 8                      | 10   |                      | 18    |               |
|     | Madera para atraques                      | m <sup>3</sup> | 1.430     | 67,00                | 8,00  | 96                     | 11   |                      | 107   |               |
|     | Vigas de cierre de acero                  | kg             | 100.000   | 0,10                 | 1,40  | 10                     | 140  |                      | 150   |               |
|     | Desagüe                                   |                |           |                      |       |                        |      |                      |       |               |
|     | Bombeo - Túneles                          | Global         |           |                      |       | 60                     | 40   |                      | 100   |               |
|     | Bombeo - Sitio de la presa                | Global         |           |                      |       | 75                     | 75   |                      | 150   |               |
|     | Desviación de las quebradas               | Global         |           |                      |       | 50                     | 50   |                      | 100   |               |
|     | Variable                                  | Global         |           |                      |       | 2                      | 8    |                      | 10    |               |
|     | Total parte 2                             |                |           |                      |       |                        |      | 3.285                | 4.050 | 7.335         |

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 3 De 17

| Nº | DESCRIPCION  | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO       |      | VALOR PARCIAL EN MILES |        | TOTAL EN MILES       |                            | OBSERVACIONES |
|----|--|----------------|-----------|----------------------|------|------------------------|--------|----------------------|----------------------------|---------------|
|    |  |                |           | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$   | Pesos en US\$ Equiv. | US\$                       |               |
| 3  | <b>PRESA</b>   |                |           |                      |      |                        |        |                      |                            |               |
|    | Excavaciones de fundación                              | m <sup>3</sup> | 154.600   | 0,10                 | 0,40 | 15                     | 62     | 77                   |                            |               |
|    | Descapote  |                |           |                      |      |                        |        |                      |                            |               |
|    | Excavación común - primeros 2'000.000 m <sup>3</sup>   | m <sup>3</sup> | 2'000.000 | 0,25                 | 1,00 | 500                    | 2.000  | 2.500                |                            |               |
|    | Excavación común - después de 2'000.000 m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> | 1'624.000 | 0,15                 | 0,60 | 244                    | 974    | 1.218                |                            |               |
|    | Excavación común - lecho del río                       | m <sup>3</sup> | 909.000   | 0,20                 | 0,80 | 182                    | 727    | 909                  | Aluvial                    |               |
|    | En roca - zanja del núcleo                             | m <sup>3</sup> | 342.000   | 0,70                 | 2,80 | 239                    | 958    | 1.197                |                            |               |
|    | Excavaciones de préstamo                               |                |           |                      |      |                        |        |                      |                            |               |
|    | Descapote  |                |           |                      |      |                        |        |                      |                            |               |
|    | Zona de préstamo A                                     | m <sup>3</sup> | 1'390.000 | 0,10                 | 0,40 | 139                    | 556    | 695                  |                            |               |
|    | Zona de préstamo B                                     | m <sup>3</sup> | 50.000    | 0,08                 | 0,32 | 4                      | 16     | 20                   |                            |               |
|    | Zonas de préstamo D y E                                | m <sup>3</sup> | 65.900    | 0,06                 | 0,24 | 4                      | 16     | 20                   |                            |               |
|    | Zona 1A  | m <sup>3</sup> | 77.400    | 0,08                 | 0,32 | 6                      | 25     | 31                   | Excavación de la fundación |               |
|    | Zona 1   | m <sup>3</sup> | 366.000   | 0,03                 | 0,12 | 11                     | 44     | 55                   | Excavación del rebosadero  |               |
|    | Zona 1   | m <sup>3</sup> | 773.000   | 0,18                 | 0,72 | 139                    | 557    | 696                  | Zona B                     |               |
|    | Zona 2   | m <sup>3</sup> | 1'151.000 | 0,12                 | 0,48 | 138                    | 552    | 690                  | Zona A                     |               |
|    | Zona 3   | m <sup>3</sup> | 359.000   | 0,37                 | 1,38 | 133                    | 495    | 628                  | Zona D                     |               |
|    | Zona 4   | m <sup>3</sup> | 998.000   | 0,26                 | 1,00 | 259                    | 998    | 1.257                | Zona E                     |               |
|    | Zona 5   | m <sup>3</sup> | 6'455.000 | 0,45                 | 1,80 | 2.905                  | 11.619 | 14.524               | Zona A                     |               |
|    | Zona 6   | m <sup>3</sup> | 410.000   | 0,04                 | 0,16 | 16                     | 66     | 82                   | Excavación del rebosadero  |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

| Nº                    | DESCRIPCION                      | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO      |       | VALOR PARCIAL EN MILES |       | TOTAL EN MILES      |      |                  | OBSERVACIONES              |
|-----------------------|----------------------------------|----------------|-----------|---------------------|-------|------------------------|-------|---------------------|------|------------------|----------------------------|
|                       |                                  |                |           | Pesos en USS Equiv. | US\$  | Pesos en USS Equiv.    | US\$  | Pesos en USS Equiv. | US\$ | Total USS Equiv. |                            |
| Zona 6                | Construcción del terraplén       | m <sup>3</sup> | 200.000   | 0,10                | 0,40  | 20                     | 80    | 100                 |      |                  | Excavación de la fundación |
| Zona 1A               |                                  | m <sup>3</sup> | 62.000    | 0,05                | 0,20  | 3                      | 12    | 15                  |      |                  |                            |
| Zona 1                |                                  | m <sup>3</sup> | 967.700   | 0,05                | 0,20  | 48                     | 194   | 242                 |      |                  |                            |
| Zona 2                |                                  | m <sup>3</sup> | 1'037.700 | 0,05                | 0,20  | 52                     | 208   | 260                 |      |                  |                            |
| Zona 3                |                                  | m <sup>3</sup> | 269.300   | 0,05                | 0,15  | 13                     | 40    | 53                  |      |                  |                            |
| Zona 4                |                                  | m <sup>3</sup> | 897.800   | 0,05                | 0,15  | 45                     | 135   | 180                 |      |                  |                            |
| Zona 5                |                                  | m <sup>3</sup> | 3'497.000 | 0,07                | 0,28  | 245                    | 979   | 1.224               |      |                  | 1 m capas                  |
| Zona 5                |                                  | m <sup>3</sup> | 4'517.700 | 0,05                | 0,25  | 226                    | 1.129 | 1.355               |      |                  | 3 m capas                  |
| Zona 6                |                                  | m <sup>3</sup> | 701.000   | 0,04                | 0,16  | 28                     | 112   | 140                 |      |                  |                            |
| Inyecciones y drenaje |                                  |                |           |                     |       |                        |       |                     |      |                  |                            |
| Perforaciones         |                                  |                |           |                     |       |                        |       |                     |      |                  |                            |
|                       | Huecos para inyección de carpeta | m              | 37.600    | 3,50                | 10,00 | 132                    | 376   | 508                 |      |                  |                            |
|                       | Huecos para inyección de cortina | m              | 17.750    | 4,70                | 8,80  | 83                     | 156   | 239                 |      |                  | 0 - 20 m                   |
|                       | Huecos para inyección de cortina | m              | 10.900    | 5,40                | 10,10 | 59                     | 110   | 169                 |      |                  | 20 + m                     |
|                       | Huecos de drenaje                | m              | 2.570     | 2,50                | 14,50 | 6                      | 37    | 43                  |      |                  |                            |
|                       | Excavación de las inyecciones    | m <sup>3</sup> | 3.750     | 40,00               | 20,00 | 150                    | 75    | 225                 |      |                  |                            |
|                       | Cemento para inyecciones         | T              | 5.620     | 23,25               | 1,75  | 131                    | 10    | 141                 |      |                  |                            |
|                       | Conexiones                       | #              | 6.100     | 10,00               |       | 61                     |       | 61                  |      |                  |                            |
|                       | Tubería de acero y accesorios    | kg             | 55.750    | 0,50                | 1,00  | 28                     | 56    | 84                  |      |                  |                            |
|                       | Cables para perforaciones        | m              | 2.570     | 1,00                | 3,00  | 3                      | 8     | 11                  |      |                  |                            |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 5 de 17

| Nº | DESCRIPCION                              | UNIDAD         | CANTIDAD | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |      | OBSERVACIONES |
|----|--|----------------|----------|----------------------|-------|------------------------|------|----------------------|------|---------------|
|    |  |                |          | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ |               |
|    | Galerías y accesos                       |                |          |                      |       |                        |      |                      |      |               |
|    | Excavaciones                             |                |          |                      |       |                        |      |                      |      |               |
|    | Zanjas                                   | m <sup>3</sup> | 10.300   | 1,00                 | 4,00  | 10                     | 41   | 51                   |      |               |
|    | Accesos                                  | m <sup>3</sup> | 2.200    | 20,00                | 45,00 | 44                     | 99   | 143                  |      |               |
|    | Túneles de drenaje                       | m <sup>3</sup> | 800      | 20,00                | 45,00 | 16                     | 36   | 52                   |      |               |
|    | Pozo de bombeo                           | m <sup>3</sup> | 150      | 30,00                | 50,00 | 5                      | 8    | 13                   |      |               |
|    | Concreto                                 |                |          |                      |       |                        |      |                      |      |               |
|    | Galería                                  | m <sup>3</sup> | 7.600    | 20,00                | 30,00 | 152                    | 228  | 380                  |      |               |
|    | Accesos                                  | m <sup>3</sup> | 700      | 28,00                | 42,00 | 20                     | 29   | 49                   |      |               |
|    | Túneles de drenaje                       | m <sup>3</sup> | 400      | 28,00                | 42,00 | 11                     | 17   | 28                   |      |               |
|    | Pozo de bombeo y cámara                  | m <sup>3</sup> | 150      | 42,00                | 42,00 | 6                      | 6    | 12                   |      |               |
|    | Drenaje de aguas abajo                   | m <sup>3</sup> | 750      | 20,00                | 30,00 | 15                     | 23   | 38                   |      |               |
|    | Portales de acceso                       | m <sup>3</sup> | 500      | 25,00                | 25,00 | 13                     | 13   | 26                   |      |               |
|    | Cemento                                  | T              | 3.780    | 23,25                | 1,75  | 88                     | 7    | 95                   |      |               |
|    | Refuerzo                                 | kg             | 222.000  | 0,30                 | 0,05  | 67                     | 11   | 78                   |      |               |
|    | Soportes de acero                        | kg             | 66.000   | 0,29                 | 0,36  | 19                     | 24   | 43                   |      |               |
|    | Madera para soportes                     | m <sup>3</sup> | 400      | 67,00                | 8,00  | 27                     | 3    | 30                   |      |               |
|    | Tuberías de acero para drenaje           | Global         |          |                      |       | 40                     | 80   | 120                  |      |               |
|    | Bombas y accesorios                      | Global         |          |                      |       | 4                      | 12   | 16                   |      |               |
|    | Camino de acceso a la cresta de la presa | Global         |          |                      |       | 25                     | 75   | 100                  |      |               |
|    | Acabado cresta de presa                  | Global         |          |                      |       | 20                     | 10   | 30                   |      |               |
|    | Instrumentación                          | Global         |          |                      |       | 50                     | 100  | 150                  |      |               |
|    | Varas                                    | Global         |          |                      |       | 65                     | 60   | 125                  |      |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 6 De 17

| Nº | DESCRIPCION                           | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO      |       | VALOR PARCIAL EN MILES |     | TOTAL EN MILES      |     |        | OBSERVACIONES |
|----|---------------------------------------|----------------|-----------|---------------------|-------|------------------------|-----|---------------------|-----|--------|---------------|
|    |                                       |                |           | Pesos en USS Equiv. | USS   | Pesos en USS Equiv.    | USS | Pesos en USS Equiv. | USS | Equiv. |               |
| 4  | <b>REBOSADERO</b>                     |                |           |                     |       |                        |     |                     |     |        |               |
|    | Excavación                            |                |           |                     |       |                        |     |                     |     |        |               |
|    | Descapote                             | m <sup>3</sup> | 99.600    | 0,10                | 0,40  | 10                     | 40  |                     |     | 50     |               |
|    | Común                                 | m <sup>3</sup> | 135.000   | 0,12                | 0,48  | 16                     | 65  |                     |     | 81     |               |
|    | Roca - Arenisca cuarzosa              | m <sup>3</sup> | 446.500   | 0,48                | 1,92  | 214                    | 857 |                     |     | 1.071  |               |
|    | Roca - Pizarra                        | m <sup>3</sup> | 495.500   | 0,25                | 1,00  | 124                    | 496 |                     |     | 620    |               |
|    | Drenaje y cortina                     | m <sup>3</sup> | 1.200     | 3,00                | 3,00  | 4                      | 4   |                     |     | 8      |               |
|    | Relleno permeable                     | m <sup>3</sup> | 40.600    | 0,55                | 0,55  | 22                     | 22  |                     |     | 44     |               |
|    | Material de filtro                    | m <sup>3</sup> | 400       | 3,90                | 2,10  | 2                      | 1   |                     |     | 3      |               |
|    | Concreto                              |                |           |                     |       |                        |     |                     |     |        |               |
|    | Losa y cresta                         | m <sup>3</sup> | 9.750     | 25,00               | 25,00 | 244                    | 244 |                     |     | 488    |               |
|    | Paredes y estribos                    | m <sup>3</sup> | 11.860    | 28,00               | 42,00 | 332                    | 498 |                     |     | 830    |               |
|    | Relleno                               | m <sup>3</sup> | 4.700     | 11,00               | 16,00 | 52                     | 75  |                     |     | 127    |               |
|    | Puentes                               | Global         |           |                     |       | 10                     | 10  |                     |     | 20     |               |
|    | Consolidación por inyecciones         | Global         |           |                     |       | 2                      | 3   |                     |     | 5      |               |
|    | Cemento                               | T              | 9.590     | 23,25               | 1,75  | 223                    | 17  |                     |     | 240    |               |
|    | Acero de refuerzo                     | kg             | 1.646.000 | 0,30                | 0,05  | 494                    | 82  |                     |     | 576    |               |
|    | Barras de anclaje                     | m              | 10.750    | 4,00                | 4,80  | 43                     | 52  |                     |     | 95     |               |
|    | Tubería de drenaje                    | Global         |           |                     |       | 17                     | 8   |                     |     | 25     |               |
|    | Drenes horizontales                   | m              | 1.150     | 2,60                | 4,75  | 3                      | 5   |                     |     | 8      |               |
|    | Tapa-juntas                           | m              | 1.470     | 3,20                | 12,80 | 5                      | 19  |                     |     | 24     |               |
|    | Obras metálicas y tubería             | kg             | 7.000     | 0,40                | 0,85  | 3                      | 6   |                     |     | 9      |               |
|    | Compuertas radiales                   | kg             | 210.000   | 0,10                | 1,40  | 21                     | 294 |                     |     | 315    |               |
|    | Controles y malacates para compuertas | Global         |           |                     |       | 25                     | 40  |                     |     | 65     |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto: PRESA DE SALVAJINA

| Nº | DESCRIPCION                         | UNIDAD         | CANTIDAD | COSTO UNITARIO      |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES      |       |             | OBSERVACIONES |
|----|-------------------------------------|----------------|----------|---------------------|-------|------------------------|------|---------------------|-------|-------------|---------------|
|    |                                     |                |          | Pesos en USS Equiv. | US\$  | Pesos en USS Equiv.    | US\$ | Pesos en USS Equiv. | US\$  | US\$ Equiv. |               |
|    | Varios                              | Global         |          |                     |       | 5                      | 5    | 1.871               | 2.853 | 4.724       | 10            |
|    | Total parte 4                       |                |          |                     |       |                        |      |                     |       |             |               |
| 5  | <u>BOCATOMAS DE CARGA Y TUNELES</u> |                |          |                     |       |                        |      |                     |       |             |               |
|    | Protección                          |                |          |                     |       |                        |      |                     |       |             |               |
|    | Común y roca                        | m <sup>3</sup> | 25.000   | 0,30                | 1,20  | 8                      | 30   |                     |       | 38          |               |
|    | Túneles horizontales                | m <sup>3</sup> | 32.500   | 6,30                | 14,60 | 205                    | 475  |                     |       | 680         |               |
|    | Túneles inclinados                  | m <sup>3</sup> | 11.500   | 10,40               | 15,70 | 120                    | 181  |                     |       | 301         |               |
|    | Concreto                            |                |          |                     |       |                        |      |                     |       |             |               |
|    | Entradas                            | m <sup>3</sup> | 1.200    | 35,00               | 35,00 | 42                     | 42   |                     |       | 84          |               |
|    | Túneles horizontales                | m <sup>3</sup> | 7.500    | 12,40               | 18,60 | 93                     | 140  |                     |       | 233         |               |
|    | Túneles inclinados                  | m <sup>3</sup> | 3.000    | 18,60               | 18,60 | 56                     | 56   |                     |       | 112         |               |
|    | Rejillas                            | m <sup>3</sup> | 500      | 54,00               | 36,00 | 27                     | 18   |                     |       | 45          |               |
|    | Inyecciones de contacto             | Global         |          |                     |       | 30                     | 10   |                     |       | 40          |               |
|    | Inyecciones de consolidación        | Global         |          |                     |       | 10                     | 15   |                     |       | 25          |               |
|    | Cemento                             | T              | 4.730    | 23,25               | 1,75  | 110                    | 8    |                     |       | 118         |               |
|    | Refuerzo                            | kg             | 720.000  | 0,30                | 0,05  | 216                    | 36   |                     |       | 252         |               |
|    | Soportes de acero                   | kg             | 554.000  | 0,29                | 0,36  | 161                    | 199  |                     |       | 360         |               |
|    | Fernos de anclaje                   | m              | 750      | 4,00                | 4,80  | 3                      | 4    |                     |       | 7           |               |
|    | Madera para soportes                | m <sup>3</sup> | 550      | 67,00               | 8,00  | 37                     | 4    |                     |       | 41          |               |
|    | Rejillas                            | kg             | 80.000   | 0,10                | 0,60  | 8                      | 48   |                     |       | 56          |               |
|    | Varios                              | Global         |          |                     |       | 3                      | 2    |                     |       | 5           |               |
|    | Total parte 5                       |                |          |                     |       |                        |      | 1.129               | 1.268 | 2.397       |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

| Nº            | DESCRIPCION                | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO      |       | VALOR PARCIAL EN MILES |       | TOTAL EN MILES      |       |        | OBSERVACIONES |
|---------------|----------------------------|----------------|-----------|---------------------|-------|------------------------|-------|---------------------|-------|--------|---------------|
|               |                            |                |           | Pesos en USS Equiv. | USS   | Pesos en USS Equiv.    | USS   | Pesos en USS Equiv. | USS   | Equiv. |               |
| 6             | <b>POZOS DE COMPUERTAS</b> |                |           |                     |       |                        |       |                     |       |        |               |
|               | Erosionación               |                |           |                     |       |                        |       |                     |       |        |               |
|               | Común y en roca            | m <sup>3</sup> | 60.000    | 0,30                | 1,20  | 18                     | 72    |                     | 90    |        |               |
|               | Pozo                       | m <sup>3</sup> | 9.000     | 10,80               | 16,20 | 97                     | 146   |                     | 243   |        |               |
|               | Concreto                   | m <sup>3</sup> | 7.100     | 21,00               | 21,00 | 149                    | 149   |                     | 298   |        |               |
|               | Cemento                    | T              | 2.700     | 23,25               | 1,75  | 63                     | 5     |                     | 68    |        |               |
|               | Refuerzo                   | kg             | 560.000   | 0,30                | 0,05  | 168                    | 28    |                     | 196   |        |               |
|               | Soportes de acero          | kg             | 120.000   | 0,29                | 0,36  | 35                     | 43    |                     | 78    |        |               |
|               | Pernos de anclaje          | m <sup>3</sup> | 600       | 4,00                | 4,80  | 2                      | 3     |                     | 5     |        |               |
|               | Madera para soportes       | m <sup>3</sup> | 120       | 67,00               | 8,00  | 8                      | 1     |                     | 9     |        |               |
| 7             | Compuertas y malacates     | Global         |           |                     |       | 110                    | 330   |                     | 440   |        |               |
|               | Varios                     | Global         |           |                     |       | 15                     | 30    |                     | 45    |        |               |
|               | Total parte 6              |                |           |                     |       |                        |       | 665                 | 807   | 1.472  |               |
|               | <b>TUBERIAS DE CARGA</b>   |                |           |                     |       |                        |       |                     |       |        |               |
|               | Concreto                   | m <sup>3</sup> | 15.500    | 20,00               | 20,00 | 310                    | 310   |                     | 620   |        |               |
|               | Pasarela                   | Global         |           |                     |       | 10                     | 5     |                     | 15    |        |               |
|               | Cemento                    | T              | 5.430     | 23,25               | 1,75  | 126                    | 10    |                     | 136   |        |               |
|               | Refuerzo                   | kg             | 620.000   | 0,30                | 0,05  | 186                    | 31    |                     | 217   |        |               |
|               | Acero estructural          | kg             | 6'410.000 | 0,12                | 0,74  | 769                    | 4.743 |                     | 5.512 |        |               |
|               | Varios                     | Global         |           |                     |       | 3                      | 2     |                     | 5     |        |               |
| Total parte 7 |                            |                |           |                     |       |                        | 1.404 | 5.101               | 6.505 |        |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 9 de 17

| Nº | DESCRIPCION                             | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |       | OBSERVACIONES        |
|----|---|----------------|-----------|----------------------|-------|------------------------|------|----------------------|-------|----------------------|
|    |   |                |           | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  |                      |
| 8  | <u>CASA DE MAQUINAS - OBRAS CIVILES</u> |                |           |                      |       |                        |      |                      |       |                      |
|    | Excavación                              | m <sup>3</sup> | 5.000     | 0,10                 | 0,40  | 1                      | 2    |                      | 3     |                      |
|    | Descapote                               | m <sup>3</sup> | 80.000    | 0,13                 | 0,52  | 10                     | 42   |                      | 52    |                      |
|    | Común                                   | m <sup>3</sup> | 44.200    | 0,40                 | 1,60  | 18                     | 71   |                      | 89    |                      |
|    | En roca                                 | m <sup>3</sup> | 90.000    | 0,20                 | 0,80  | 18                     | 72   |                      | 90    |                      |
|    | Relleno                                 | m <sup>3</sup> | 3.200     | 0,80                 | 3.20  | 3                      | 10   |                      | 13    | Incluyendo colección |
|    | Empedrados                              |                |           |                      |       |                        |      |                      |       |                      |
|    | Concreto                                |                |           |                      |       |                        |      |                      |       |                      |
|    | Subestructura                           | m <sup>3</sup> | 20.600    | 20,00                | 15,00 | 412                    | 309  |                      | 721   |                      |
|    | Interestructura                         | m <sup>3</sup> | 5.200     | 33,00                | 27,00 | 172                    | 140  |                      | 312   |                      |
|    | Superestructura                         | m <sup>3</sup> | 4.400     | 66,00                | 44,00 | 290                    | 194  |                      | 484   |                      |
|    | Relleno                                 | m <sup>3</sup> | 6.600     | 14,00                | 21,00 | 92                     | 139  |                      | 231   |                      |
|    | Cemento                                 | T              | 13.100    | 23,25                | 1,75  | 305                    | 23   |                      | 328   |                      |
|    | Refuerzo                                | kg             | 1'657.000 | 0,30                 | 0,05  | 497                    | 83   |                      | 580   |                      |
|    | Acero estructural                       | kg             | 35.000    | 0,81                 | 0,09  | 28                     | 3    |                      | 31    |                      |
|    | Obras metálicas                         | kg             | 45.000    | 0,25                 | 0,60  | 11                     | 27   |                      | 38    |                      |
|    | Acabado arquitectónico                  | Global         |           |                      |       | 60                     | 60   |                      | 120   |                      |
|    | Compuertas para los tubos de aspiración | Global         |           |                      |       | 5                      | 55   |                      | 60    |                      |
|    | Varios                                  | Global         |           |                      |       | 25                     | 25   |                      | 50    |                      |
|    | Total parte 8                           |                |           |                      |       |                        |      | 1.947                | 1.255 | 3.202                |



RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

Hoja 10 De 17

| Nº | DESCRIPCION  | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |       | OBSERVACIONES    |
|----|--|--------|----------|----------------------|-------|------------------------|------|----------------------|-------|------------------|
|    |  |        |          | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  |                  |
| 9  | <u>CASA DE MAQUINAS - INSTALACION MECANICA</u>                           |        |          |                      |       |                        |      |                      |       |                  |
|    | Turbinas, reguladores y válvulas   | Global |          | 129                  | 4.582 |                        |      | 4.711                |       |                  |
|    | Grúa (250 T)   | Global |          | 8                    | 197   |                        |      | 205                  |       |                  |
|    | Bombas de desagüe y drenaje  | Global |          | 7                    | 66    |                        |      | 73                   |       |                  |
|    | Compresores y tanques de aire  | Global |          | 1                    | 10    |                        |      | 11                   |       |                  |
|    | Sistema CO2  | Global |          | 2                    | 14    |                        |      | 16                   |       |                  |
|    | Bombas para agua de enfriamiento, protección contra incendio y coladores | Global |          | 10                   | 90    |                        |      | 100                  |       |                  |
|    | Tanques y bombas de aceite   | Global |          | 22                   | 12    |                        |      | 34                   |       |                  |
|    | Agua de servicio y alcantarrillado                                       | Global |          | 2                    | 16    |                        |      | 18                   |       |                  |
|    | Ventilación y aire acondicionado   | Global |          | 25                   | 30    |                        |      | 55                   |       |                  |
|    | Tuberías   | Global |          | 120                  | 147   |                        |      | 267                  |       |                  |
|    | Máquinas de taller   | Global |          | 17                   | 10    |                        |      | 27                   |       |                  |
|    | Varios   | Global |          | 25                   | 75    |                        |      | 100                  |       |                  |
|    | Total parte 9  |        |          |                      |       |                        |      | 368                  | 5.249 | 5.617            |
| 10 | <u>CASA DE MAQUINAS - EQUIPO ELECTRICO</u>                               |        |          |                      |       |                        |      |                      |       |                  |
|    | Generadores y accesorios   | Global |          | 292                  | 3.800 |                        |      |                      |       | 4.092 4 unidades |



CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE SALVAJINA

| Nº | DESCRIPCION                            | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO       |        | VALOR PARCIAL EN MILES |       | TOTAL EN MILES       |       | OBSERVACIONES               |
|----|--|--------|----------|----------------------|--------|------------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------------|
|    |  |        |          | Pesos en US\$ Equiv. | US\$   | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$  | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  |                             |
|    | Circuitos de línea a 69 kv             | Global |          |                      |        | 20                     | 94    |                      | 114   | 2 circuitos                 |
|    | Circuitos de amarre de 230 kv          | Global |          |                      | 21     | 96                     |       |                      | 117   |                             |
|    | Varios                                 | Global |          |                      | 20     | 10                     |       |                      | 30    |                             |
|    | Línea de transmisión de 230 kv         | km     | 140      | 10.000               | 17.000 | 1.400                  | 2.380 |                      | 3.780 | Líneas de 230 kv to Mandiño |
|    | Patio de conexiones de Cali            |        |          |                      |        |                        |       |                      |       |                             |
|    | Autotransformadores de 150 mva         | Global |          |                      | 32     | 608                    |       |                      | 640   | 2 transformadores           |
|    | Circuitos de línea de 230 kv           | Global |          |                      | 52     | 240                    |       |                      | 292   | 2 circuitos                 |
|    | Circuitos de transformadores de 230 kv | Global |          |                      | 44     | 200                    |       |                      | 244   | 2 circuitos                 |
|    | Varios                                 | Global |          |                      | 30     | 20                     |       |                      | 50    |                             |
|    | Total parte II                         |        |          |                      |        |                        |       | 1.877                | 4.916 | 6.793                       |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE TIMBA

| Nº | DESCRIPCION  | UNIDAD         | CANTIDAD | COSTO UNITARIO      |        | VALOR PARCIAL EN MILES |     | TOTAL EN MILES      |       |        | OBSERVACIONES             |
|----|--|----------------|----------|---------------------|--------|------------------------|-----|---------------------|-------|--------|---------------------------|
|    |  |                |          | Pesos en USS Equiv. | USS    | Pesos en USS Equiv.    | USS | Pesos en USS Equiv. | USS   | Equiv. |                           |
| 1  | <u>OBRAS PRELIMINARES</u>                                  |                |          |                     |        |                        |     |                     |       |        |                           |
|    | Adquisición de tierras                                     | ha             | 1.740    | 360,00              |        | 626                    |     |                     | 626   |        |                           |
|    | Compra de tierras para embalse, mejoras y relocalizaciones | Global         |          |                     |        | 83                     |     |                     | 83    |        |                           |
|    | Derechos de tierras  | Global         |          |                     |        | 837                    | 93  |                     | 930   |        |                           |
|    | Construcción nuevos puentes                                |                |          |                     |        |                        |     |                     |       |        |                           |
|    | Relocalizaciones   |                |          |                     |        |                        |     |                     |       |        |                           |
|    | Nuevos caminos   | km             | 16,5     | 11.460              | 6.840  | 189                    |     |                     | 302   |        |                           |
|    | Relocalización ferrocarril                                 | km             | 20,5     | 76.960              | 20.365 | 1.578                  |     |                     | 1.995 |        |                           |
|    | Varios   | Global         |          |                     |        | 100                    | 25  |                     | 125   |        | Puentes, etc.             |
|    | Energía para construcción                                  | Global         |          |                     |        | 80                     | 20  |                     | 100   |        | Una unidad Diesel de 1 mw |
|    | Campamentos CVC  | Global         |          |                     |        | 50                     | 20  |                     | 70    |        |                           |
|    | Limpieza del embalse                                       | ha             | 250      | 50,00               | 250.00 | 13                     | 62  |                     | 75    |        |                           |
|    | Total parte 1  |                |          |                     |        |                        |     | 3.556               | 750   | 4.306  |                           |
| 2  | <u>DESVIACION Y DESAGUE</u>                                |                |          |                     |        |                        |     |                     |       |        |                           |
|    | Cortinas impermeables                                      | m              | 2.300    | 46,80               | 70,20  | 108                    |     |                     | 269   |        |                           |
|    | Excavación   | m <sup>3</sup> | 107.000  | 0,06                | 0,24   | 6                      | 26  |                     | 32    |        |                           |
|    | Ataguías   | Global         |          |                     |        | 13                     | 13  |                     | 26    |        |                           |
|    | Desagüe y bombeo   | Global         |          |                     |        | 5                      | 15  |                     | 20    |        |                           |
|    | Varios   | Global         |          |                     |        | 10                     | 10  |                     | 20    |        |                           |
|    |  |                |          |                     |        |                        |     | 142                 | 225   | 367    |                           |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE TIMBA

Hoja 14 De 17

| Nº | DESCRIPCION                  | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO       |      | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |       |                   | OBSERVACIONES                   |
|----|------------------------------|----------------|-----------|----------------------|------|------------------------|------|----------------------|-------|-------------------|---------------------------------|
|    |                              |                |           | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Total US\$ Equiv. |                                 |
| 3  | <u>PRESA</u>                 |                |           |                      |      |                        |      |                      |       |                   |                                 |
|    | Excavación para la fundación | m <sup>3</sup> | 283.000   | 0,08                 | 0,32 | 23                     | 90   |                      |       | 113               |                                 |
|    | Descapote Común              | m <sup>3</sup> | 248.500   | 0,10                 | 0,40 | 25                     | 99   |                      |       | 124               |                                 |
|    | Excavaciones de préstamo     | m <sup>3</sup> | 85.000    | 0,07                 | 0,28 | 6                      | 24   |                      |       | 30                |                                 |
|    | Zona 1                       | m <sup>3</sup> | 904.000   | 0,12                 | 0,48 | 108                    | 434  |                      |       | 542               | De zonas de préstamo            |
|    | Zona 2                       | m <sup>3</sup> | 362.500   | 0,29                 | 1,16 | 105                    | 421  |                      |       | 526               | De zonas de préstamo            |
|    | Zona 3                       | m <sup>3</sup> | 1'510.000 | 0,09                 | 0,36 | 136                    | 544  |                      |       | 680               | Material de dragado             |
|    | Empedrados                   | m <sup>3</sup> | 49.500    | 1,45                 | 2,20 | 72                     | 109  |                      |       | 181               | De canteras                     |
|    | Construcción del terraplén   |                |           |                      |      |                        |      |                      |       |                   |                                 |
|    | Zona 1                       | m <sup>3</sup> | 633.600   | 0,06                 | 0,24 | 38                     | 152  |                      |       | 190               |                                 |
|    | Zona 2                       | m <sup>3</sup> | 179.200   | 0,04                 | 0,16 | 7                      | 29   |                      |       | 36                |                                 |
|    | Zona 3                       | m <sup>3</sup> | 1'067.000 | 0,04                 | 0,16 | 43                     | 171  |                      |       | 214               |                                 |
|    | Empedrados                   | m <sup>3</sup> | 40.600    | 0,14                 | 0,21 | 6                      | 9    |                      |       | 15                |                                 |
|    | Tratamiento estribos         |                |           |                      |      |                        |      |                      |       |                   |                                 |
|    | Zona 2                       | m <sup>3</sup> | 85.100    | 0,06                 | 0,24 | 5                      | 20   |                      |       | 25                | Incluye solamente la colocación |
|    | Zona 3                       | m <sup>3</sup> | 287.300   | 0,06                 | 0,24 | 17                     | 69   |                      |       | 86                |                                 |
|    | Empedrados                   | m <sup>3</sup> | 21.500    | 0,14                 | 0,21 | 3                      | 5    |                      |       | 8                 |                                 |
|    | Varios                       | Global         |           |                      |      | 25                     | 25   |                      |       | 50                |                                 |
|    |                              |                |           |                      |      |                        |      | 619                  | 2.201 | 2.820             |                                 |

## RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto

PRESA DE TIMBA

Hoja 15 de 17

| Nº | DESCRIPCION                               | UNIDAD         | CANTIDAD  | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |      | TOTAL EN MILES       |      |                   | OBSERVACIONES             |
|----|---|----------------|-----------|----------------------|-------|------------------------|------|----------------------|------|-------------------|---------------------------|
|    |   |                |           | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$ | Pesos en US\$ Equiv. | US\$ | Total US\$ Equiv. |                           |
| 4  | <u>REBOSADERO Y CONDUCTOS AL RTO</u>      |                |           |                      |       |                        |      |                      |      |                   |                           |
|    | Excavación                                | m <sup>3</sup> | 871.000   | 0,08                 | 0,32  | 70                     | 279  | 349                  |      |                   |                           |
|    | Descapote Común                           | m <sup>3</sup> | 319.400   | 0,15                 | 0,61  | 48                     | 195  | 243                  |      |                   | Conglomerado de compuesto |
|    | Relleno permeable                         | m <sup>3</sup> | 37.600    | 0,55                 | 0,55  | 21                     | 21   | 42                   |      |                   |                           |
|    | Empedrado del canal                       | m <sup>3</sup> | 3.000     | 0,80                 | 3,20  | 2                      | 10   | 12                   |      |                   |                           |
|    | Concreto                                  |                |           |                      |       |                        |      |                      |      |                   |                           |
|    | Cresta                                    | m <sup>3</sup> | 20.230    | 14,00                | 21,00 | 283                    | 425  | 708                  |      |                   |                           |
|    | Losas y estribos                          | m <sup>3</sup> | 12.140    | 18,00                | 27,00 | 219                    | 328  | 547                  |      |                   |                           |
|    | Bloques y umbral del canal del rebosadero | m <sup>3</sup> | 1.940     | 18,00                | 27,00 | 35                     | 52   | 87                   |      |                   |                           |
|    | Paredes                                   | m <sup>3</sup> | 10.520    | 26,00                | 39,00 | 274                    | 410  | 684                  |      |                   |                           |
|    | Puente                                    | Global         |           |                      |       | 7                      | 7    | 14                   |      |                   |                           |
|    | Cemento                                   | T              | 17.450    | 23,25                | 1,75  | 406                    | 31   | 437                  |      |                   |                           |
|    | Refuerzo                                  | kg             | 2'504.000 | 0,30                 | 0,05  | 751                    | 125  | 876                  |      |                   |                           |
|    | Compuertas radiales                       | kg             | 268.800   | 0,10                 | 1,40  | 27                     | 376  | 403                  |      |                   |                           |
|    | Malacates y control de compuertas         | Global         |           |                      |       | 10                     | 90   | 100                  |      |                   |                           |
|    | Compuertas de salida con sus malacates    | kg             | 48.000    | 0,10                 | 1,40  | 5                      | 67   | 72                   |      |                   |                           |
|    | Tableros metálicos de cierre              | Global         |           |                      |       | 10                     | 15   | 25                   |      |                   |                           |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto PRESA DE TIMBA

Hoja 16 De 17

| Nº | DESCRIPCION   | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO      |     | VALOR PARCIAL EN MILES |     | TOTAL EN MILES      |       |        | OBSERVACIONES |
|----|---------------|--------|----------|---------------------|-----|------------------------|-----|---------------------|-------|--------|---------------|
|    |               |        |          | Pesos en USS Equiv. | USS | Pesos en USS Equiv.    | USS | Pesos en USS Equiv. | USS   | Equiv. |               |
|    | Varios        | Global |          |                     |     | 7                      | 8   | 2.180               | 2.434 | 15     |               |
|    | Total parte 4 |        |          |                     |     |                        |     |                     | 4.614 |        |               |

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Proyecto MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS DEL RIO CAUCA

| Nº | DESCRIPCION                                       | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO       |       | VALOR PARCIAL EN MILES |       | TOTAL EN MILES       |       |             | OBSERVACIONES |
|----|---|--------|----------|----------------------|-------|------------------------|-------|----------------------|-------|-------------|---------------|
|    |   |        |          | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | Pesos en US\$ Equiv.   | US\$  | Pesos en US\$ Equiv. | US\$  | US\$ Equiv. |               |
| 1  | <u>ADQUISICION DE TIERRA</u>                      | ha     | 425      | 1.000                | -     | 425                    | -     | 425                  | -     | 425         |               |
|    | Total parte 1                                     |        |          |                      |       |                        |       |                      |       |             |               |
| 2  | <u>JARRILLONES Y CANALES PARA LOS TRIBUTARIOS</u> | Global |          |                      |       | 54                     | 161   |                      |       | 215         |               |
|    | Jarrillones                                       | Global |          |                      |       | 60                     | 180   |                      |       | 240         |               |
|    | Desviaciones                                      |        |          |                      |       |                        |       |                      |       |             |               |
|    | Canales principales de avienamiento               | km     | 146      | 2.700                | 8.122 | 394                    | 1.186 |                      |       | 1.580       |               |
|    | Puentes   | Global |          |                      |       | 88                     | 58    |                      |       | 146         |               |
|    | Total parte 2                                     |        |          |                      |       |                        |       | 596                  | 1.585 | 2.181       |               |
| 3  | <u>ESTACIONES DE BOMBO</u>                        | Global |          |                      |       | 635                    | 424   |                      |       | 1.059       |               |
|    | Estructuras                                       | Global |          |                      |       | 128                    | 512   |                      |       | 640         |               |
|    | Equipos   | Global |          |                      |       | 120                    | 80    |                      |       | 200         |               |
|    | Salidas de gravedad                               |        |          |                      |       |                        |       |                      |       |             |               |
|    | Líneas de transmisión                             | km     | 75,8     | 2.032                | 3.468 | 154                    | 263   |                      |       | 417         |               |
|    | Total parte 3                                     |        |          |                      |       |                        |       | 1.037                | 1.279 | 2.316       |               |



## CAPITULO 10

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 10.1 CONCLUSIONES

En seguida se presenta el resumen de las principales conclusiones a que conducen los estudios llevados a cabo para este informe, así:

##### 10.11 Alcance del Desarrollo Múltiple

Con base en los estudios hechos para este informe, se concluye que el aprovechamiento óptimo del sitio de Salvajina, requiere la construcción de un proyecto múltiple, integrado por las obras siguientes:

(a) Una presa de embalse para generación de energía y para control de avenidas, ubicada en el sitio de Salvajina.

(b) Una presa que suministre embalse adicional para control de avenidas y que además regule las descargas de la planta hidroeléctrica de Salvajina, situada en el sitio de Timba.

(c) Un sistema de diques, canales de desviación, canales de avenamiento, y estaciones de bombeo, para control de los tributarios del río Cauca, aguas abajo de Timba, que contrarreste las inundaciones por estos tributarios y haga posible el avenamiento de las zonas adyacentes.

Por razón de la magnitud de los caudales no regulados que fluyen abajo de Salvajina, únicamente un embalse en este sitio no basta para proporcionar el grado adecuado de protección contra inundaciones por el río Cauca. Los estudios indican que por causa principalmente de que en Timba no habrá instalaciones para energía, es menos costoso proveer las medidas de control de avenidas por medio de un embalse adicional en Timba, que por medio de rectificaciones y jarillones a lo largo del río Cauca, tal como había sido propuesto en informes previos. Además, un embalse en Timba provee la regulación necesaria para las descargas de las turbinas de Salvajina.

Aun cuando las inundaciones por el río Cauca se podrán prevenir de esta manera, las tierras bajas aledañas continuarán no obstante inundándose frecuentemente por el desbordamiento de los tributarios y por tanto, para obtener el pleno beneficio de la regulación del Cauca, se requiere la construcción de diques y otras obras que mejoren la capacidad del cauce de las corrientes tributarias. Asimismo será necesario construir los canales de avenamiento y las estaciones de bombeo requeridas para desecar algunas de las zonas entre los dichos ríos.

## 10.12 Dimensiones Principales del Proyecto Múltiple

El proyecto óptimo en el sitio de Salvajina, implica una presa de relleno de roca con una altura aproximada de 150 m sobre el lecho del río, o sea con una elevación de la cresta de 1180,0 m.

El embalse, con una elevación máxima normal de 1175,0 m, tendrá un volumen activo de 400 millones de  $m^3$  y operará de acuerdo con una curva de regulación que satisfaga las necesidades tanto de energía como de control de avenidas. La casa de máquinas, dispuesta al pie de la presa, contendrá cuatro unidades generadoras, con capacidad segura de 430 mw a la elevación mínima normal del embalse de 1155,0 m.

La presa de Timba será de relleno de grava y tendrá una altura promedio sobre el lecho del río de 22 m, con la cresta a la elevación 1011,7 m. El embalse proveerá un almacenaje de 140 millones de  $m^3$  para control de avenidas, que suplementarán los 400 millones de  $m^3$  disponibles en Salvajina.

Para todos los tributarios principales del río Cauca entre Timba y Bugalagrande, se propone el mejoramiento de sus cauces conjuntamente con obras de avenamiento cuando ello se requiera. Además, se planea un total de 18 estaciones de bombeo.

Las investigaciones geológicas y estudios de ingeniería, tanto para Timba como Salvajina, indican que estos proyectos son técnicamente factibles. En sus cercanías se encuentran los materiales requeridos, en cantidades adecuadas. No obstante que por necesidad, los estudios para el mejoramiento de los tributarios han sido menos completos que los de las presas, ellos se han ejecutado con el suficiente detalle, como para asegurarse de su factibilidad.

## 10.13 Energía

La planta de Salvajina con una capacidad instalada de 430 mw es capaz de generar 1330 millones de kwh en un año promedio. Cuando esté operando dentro del sistema interconectado que incluye los sistemas CVC-CHEC, Bogotá y Medellín, la planta podrá usar en forma efectiva todo el caudal disponible en el río, con una utilización nominal del embalse. La pronta construcción de este proyecto reducirá el grado de dependencia del sistema CVC-CHEC de los otros sistemas interconectados y además, reducirá la capacidad requerida de las líneas de transmisión. Es posible que estudios posteriores indiquen la factibilidad de la derivación de aguas del río Ovejas al embalse de Salvajina. De ser esto así, el beneficio de energía imputable a Salvajina, será de bastante significación.

#### 10.14 Control de Avenidas y Avenamiento

El proyecto múltiple de Salvajina, por medio de los embalses de Salvajina y Timba, permitirá regular el caudal del río Cauca para avenidas de una periodicidad de 15 años, sin que las descargas excedan de las capacidades actuales del cauce de 550 m<sup>3</sup>/s en la Balsa y 650 m<sup>3</sup>/s en Juanchito. Esta regulación, en combinación con el control de avenidas y avenamiento que producirán los mejoramientos en los tributarios, reducirá el riesgo de pérdida de cosechas en una extensión tal, que hará posible aprovechar considerablemente para la explotación agrícola, una extensión de 51.860 ha de tierras del valle, sujetas a inundaciones frecuentes. Además, las condiciones de avenamiento de las tierras aledañas mejorará considerablemente.

#### 10.15 Irrigación

Igualmente el proyecto múltiple de Salvajina habrá de contribuir apreciablemente a la irrigación en el valle del río Cauca, por los siguientes aspectos:

(a) La regulación de caudal por los embalses de Salvajina y Timba, permitirá que la irrigación total continúe durante los períodos de caudal bajo, al mismo tiempo que se mantienen en el río condiciones aceptables con relación a polución, fauna acuática y salud pública.

(b) La presa de Timba facilitará y reducirá el costo de las bocatomas de los canales principales de irrigación, que se derivan en Timba.

(c) El control de inundaciones que se obtiene con este proyecto, hace posible la irrigación de zonas que hoy no son susceptibles de riego, debido a que frecuentemente se inundan.

A pesar de que los beneficios de irrigación derivados de este proyecto son considerables, en el costo del proyecto múltiple no se ha asignado ningún porcentaje a irrigación, dado que la suma que resultaría sería muy pequeña, en relación con el costo total. Este proceder simplifica los cálculos económicos y da resultados conservativos para los valores correspondientes a energía y control de avenidas.

#### 10.16 Desviación del Cauca al Pacífico

Los desarrollos futuros de la CVC contemplan la desviación de agua del río Cauca, desde un punto situado unos 30 km aguas abajo de Cali, hasta un río de la vertiente del Pacífico. Estudios hechos en el pasado, de carácter preliminar, indican que esta desviación permitirá el desarrollo de unos 1.000 mw de capacidad hidroeléctrica en el lado del Pacífico. Sin embargo, el caudal mínimo en Juanchito, sin la regulación del río Cauca, es sólo de 53 m<sup>3</sup>/s, el cual sería

inadecuado para satisfacer las necesidades futuras de irrigación y al mismo tiempo para permitir la desviación de una suficiente cantidad de agua para generación de energía. La regulación del río por los embalses de Salvajina y Timba, es pues esencial para permitir la desviación del caudal necesario. A tal fin, al disponer los conductos de carga de la presa de Salvajina, se previó la utilización del mayor volumen activo de embalse que pueda requerirse más tarde, para la operación combinada con el proyecto de desviación al Pacífico.

#### 10.17 Beneficios Misceláneos

Los embalses de Salvajina y Timba permitirán aumentar los caudales bajos del río Cauca, lo cual reducirá la polución y contenido de material sedimentable, disminuirá la temperatura del agua y consecuentemente mejorará sus condiciones para consumo y tratamiento de aguas residuales.

Los embalses y el aumento del caudal en el río Cauca, impulsarán las agrupaciones recreacionales, con fácil acceso desde Cali, a la vez que las condiciones para la navegación mejorarían grandemente de Timba para abajo.

El control de los picos de descarga reducirá la erosión de las márgenes del río y estabilizará su cauce. Se reducirán los daños por inundaciones a caminos, puentes y ferrocarriles y la seguridad en el transporte será aumentada.

#### 10.18 Programas de Desarrollo

De los estudios hechos se deduce, que para 1967 se presentará una deficiencia de energía en el sistema CVC-CHEC, a menos que se agregue una cuarta unidad de 33 mw a la planta térmica de Yumbo.

Al comparar los programas alternativos de desarrollo de los tres sistemas interconectados de Colombia, se observa que al tomar en cuenta los beneficios agrícolas asociados al control de avenidas de Salvajina, este proyecto constituye el más económico ensanche del sistema CVC después de Yumbo IV, viniendo así a ser la próxima instalación más importante del sistema interconectado. En el caso de que el proyecto de San Francisco se programe para pronta construcción, Salvajina deberá seguirlo inmediatamente.

Como se demostró en el Capítulo 4, aquellos programas de desarrollo de energía que incluyen a Salvajina con su primera unidad comenzando a operar entre fines de 1970 y mediados de 1971, son los más económicos si se tienen en cuenta los beneficios de recuperación de tierras, imputables a este proyecto. El desarrollo óptimo, bajo el aspecto economía, comienza con la construcción de Yumbo IV, seguida por la terminación de San Francisco a mediados de 1968. En este programa

la entrada en servicio de la primera unidad de Salvajina ocurrirá a mediados de 1971, únicamente seis meses más tarde de la fecha más cercana posible. Puesto que la construcción de la presa de Salvajina tomará aproximadamente 5 años, debe continuarse el diseño y procederse a la construcción con toda celeridad, para cumplir este programa.

Para obtener el beneficio pleno del proyecto múltiple de Salvajina, la presa de Timba debe terminarse al mismo tiempo que la de Salvajina, pero su construcción sólo será necesario empezarla tres años después de la de aquélla. Esta demora dará tiempo para hacer un estudio más detallado del aprovechamiento óptimo de Timba.

El aprovechamiento agrícola de las tierras protegidas contra inundaciones, se supone implicará un período de 10 años, comenzando dos años después de la terminación de la presa de Salvajina, y por tanto, las obras de mejoramiento de los tributarios deberán programarse para ejecutarlas dentro de un lapso similar a partir de 1969. Aun cuando estos trabajos se programaron en un período de 10 años, el plan podrá ajustarse fácilmente para adaptarlo a los futuros desarrollos agrícolas y de irrigación.

#### 10.19 Factibilidad Económica

El costo de capital estimado del proyecto múltiple de Salvajina y de sus tres partes integrantes principales, incluyendo las instalaciones para transmisión y todos los costos indirectos de imprevistos, ingeniería, reajustes de precios durante la construcción e intereses durante la misma, con base en la tasa de 1 US\$ = 9 pesos, vienen a ser:

|                                      | Costo de Capital          |                    |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|
|                                      | Pesos en<br>US\$ Equiv. * | US\$               |
| Presa de Salvajina                   | 43.765.000                | 88.984.000         |
| Presa de Timba                       | 10.990.000                | 8.961.000          |
| Mejoramiento Tributarios             | 3.002.000                 | 4.025.000          |
| <b>Costo Total Proyecto Múltiple</b> | <b>57.757.000</b>         | <b>101.970.000</b> |

Prescindiendo del reajuste de precios en los costos de construcción, (los costos están basados en el nivel de Octubre de 1964), los montos correspondientes serán:

|                                   | Costo de Capital        |                |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------|
|                                   | Pesos en<br>US\$ Equiv. | US\$           |
| Presa de Salvajina                | 39.311.000              | 78.683.000     |
| Presa de Timba                    | 9.629.000               | 7.822.000      |
| Mejoramiento Tributarios          | 3.002.000               | 4.025.000      |
| <br>Costo Total Proyecto Múltiple | <br>51.942.000          | <br>90.530.000 |

La asignación de costos de capital a las diferentes funciones del proyecto múltiple en dólares equivalentes y sin computar reajustes, es:

|                  |                     |
|------------------|---------------------|
| Energía          | Control de Avenidas |
| US\$ 109'418.000 | US\$ 33'054.000     |

La planta de energía de Salvajina producirá un promedio anual de 1310 millones de kwh a un costo de 6,70 centavos (7,44 US mills)/kwh (sin reajustes) en los centros de carga. El costo de capital asignado (sin reajustes) es igual al equivalente de US\$254/kw de capacidad instalada. La protección contra avenidas permitirá mejorar el aprovechamiento agrícola de 51.860 ha de tierra, las cuales producirán un beneficio económico de \$96'735.000 (equivalente a US\$10'750.000), anualmente.

La relación de beneficio-costo para el proyecto múltiple, usando el método del costo separable-beneficio remanente, es de 2,09 y las relaciones individuales para energía y control de inundaciones, de 1,77 y 3,14, respectivamente.

## 10.2 RECOMENDACIONES

Se presentan a consideración las siguientes recomendaciones:

(a) Tomar las medidas inmediatas para asegurar el diseño y construcción del proyecto múltiple de Salvajina, en forma de que pueda ser construido como próximo desarrollo hidroeléctrico de CVC.

(b) Los estudios de ingeniería de campo y de oficina, deben continuar sin interrupción, a fin de que las especificaciones y planos de licitación para el contrato principal, estén listos en Agosto de 1965. Para que la primera unidad pueda entrar en servicio en

Noviembre de 1970, el contrato deberá adjudicarse a principios de 1966. Conviene proceder inmediatamente a la adquisición de tierras, servidumbres, derechos de aguas y subsuelo, a fin de evitar demoras en la iniciación de la construcción.

(c) Para evitar demoras que podrán ocasionar una deficiencia en el sistema CVC-CHEC durante 1967, la entrega de pliegos de licitación para el equipo principal de Yumbo IV deberá hacerse en Junio de 1965.

(d) Los estudios relativos a los convenios contractuales entre las tres principales empresas de energía, CVC, CHEC, Bogotá y Medellín, y los estudios de ingeniería para el sistema de interconexión, deben adelantarse con toda celeridad, en forma de evitar demoras que puedan causar deficiencias de energía en el sistema CVC-CHEC.

(e) Los mapas topográficos y el registro de observaciones hidrológicas, deben proseguirse a fin de realizar los estudios adicionales requeridos para definir la economía de la desviación del caudal del río Ovejas y de sus tributarios al embalse de Salvajina. También deberán hacerse estudios para efecto de precisar el aprovechamiento óptimo del sitio de Timba. En cuanto a la desviación del Cauca al Pacífico, se requiere adelantar estudios de planeamiento, que permitan establecer la forma más adecuada de utilización de los embalses de Salvajina y Timba.

(f) Para preparar los diseños detallados de las mejoras de los tributarios con la oportunidad que armonice con el plan de desarrollo agrícola, deberán levantarse, tan pronto como sea posible, los planos topográficos de las zonas inundables. Las curvas de nivel de estos mapas deberán ser de metro en metro.

(g) Para prevenir que se lleven a cabo desarrollos urbanos en sitios sólo parcialmente protegidos contra inundaciones, se hace necesario legislar oportunamente sobre zonificación.

(h) Para regular las futuras actividades en el ramo de hidrología, deberá prepararse un programa hidrológico, de acuerdo con los requisitos establecidos en el Apéndice B.

## APENDICE A

### GEOLOGIA, EXPLORACIONES Y ENSAYO DE MATERIALES

#### PARTE I - GEOLOGIA REGIONAL

##### Al-1 INTRODUCCION

Desde su nacimiento, al sur de Popayán, el río Cauca fluye entre las cordilleras Central y Occidental, en dirección al Norte. Entre Popayán y el sitio de Salvajina, el río corre entre cañones relativamente angostos y de Salvajina para abajo, sobre depósitos aluviales, entre colinas bajas, por una llanura que se va ensanchando. Después del último estrechamiento, en el sitio de Timba, el río penetra en la ancha y plana zona del valle del Cauca.

El resumen geológico que aquí se presenta, se refiere particularmente a la porción del río entre Timba y Salvajina, especialmente al sitio de Salvajina (véanse Figuras 34 y 35).

##### Al-2 ROCAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS

La mayor parte de las rocas de la región son de origen sedimentario, con la excepción de las formaciones más antiguas, las cuales son básicamente lavas extravasadas bajo agua durante el período cretáceo. La Figura 33, muestra la formación geológica general de la región, según se describe a continuación.

###### Al-2.1 Formaciones Diabásicas

Durante el período cretáceo el Océano Pacífico cubrió una gran parte del continente. El período se caracterizó por intensa actividad volcánica submarina. Corrientes de lava diabásica que eran luego extravasadas en el fondo del mar, se alternaban con capas de lilita y fueron un elemento importante en la formación de la cordillera Occidental. La parte superior de esta formación, un conglomerado diabásico importante, aflora en algunas quebradas de la margen izquierda inmediatamente aguas arriba del sitio de Salvajina. Esta formación se encuentra también a unos 12 km al oeste del sitio de Timba.

###### Al-2.2 Formaciones de Nogales, Cauca y la Paila

La formación diabásica está cubierta por rocas sedimentarias que fueron depositadas durante los períodos bajo y medio terciarios. Están principalmente compuestas por lutitas que indican depósitos marinos, e incluyen lechos de areniscas y conglomerados, como testigos de la ocurrencia de movimientos orogénicos menores,



durante la fase geosinclinal. El espesor de estos sedimentos es muy variable y el total se estima aproximadamente en unos 3.000 metros.

La formación Nogales parece que fue depositada durante la época del paleoceno. Consiste de grauvacas grises en la parte más baja, mientras que la parte superior está compuesta de lutitas cuarzosas y a veces carbonosas o arenosas. La sección típica de la formación tiene aparentemente un espesor de 400 metros. La formación Nogales no se ha identificado en el sitio de Salvajina.

La formación Cauca, de la época eoceno y oligoceno, es el representativo dominante del terciario. Su formación inferior, ausente también en el sitio de Salvajina, está formada por areniscas y lutitas rojas, con algunos lechos de conglomerado. La formación siguiente llamada "La Cima", se compone de una serie de areniscas cuarzosas duras, de más de 100 metros de espesor, y será el material principal de fundación de la presa de Salvajina. En la parte superior de "La Cima" hay unos 600 metros de lutita oscura y lechos de lutitas arenosas, incluyendo arenisca y finas capas de conglomerado; también se encuentran vetas de carbón. La parte superior de la formación Cauca, se caracteriza por gruesos estratos de conglomerado de cuarzo de grano grueso, incluyendo lechos de arenisca, lutita arenosa y lutita.

La formación La Paila, que no se presenta en las vecindades de Salvajina, se compone de tobas volcánicas cubiertas por conglomerados y arenas parcialmente consolidadas, depositadas durante la época del mioceno.

### Al-2.3 Formaciones de Popayán

Hacia el final del período terciario, tuvo lugar un fuerte movimiento ascendente, acompañado de intensa acción volcánica, que levantó las cordilleras miles de metros, dando lugar a un nuevo período principal de erosión y sedimentación; su resultado, que constituye uno de los aspectos geológicos más importantes del sur de Colombia, es la formación de los lechos horizontales sedimentarios de la "Formación Popayán" que yace, en marcado contraste, encima de las formaciones anteriores más antiguas.

La "Formación Popayán" está compuesta de estratos alternados de varias composiciones, desde partículas del tamaño de las arcillas hasta rocas, resultantes de la erosión y acarreo, principalmente por el agua, desde las cimas de la cordillera Central. El espesor de sus capas varía entre 100 y 300 metros, pero en la zona de la ciudad de Popayán se han estimado espesores hasta de 1.000 metros.

En la región de Timba y Salvajina, la formación es principalmente de conglomerados y presenta dos capas distintas. Los sedimentos de la superior incluyen un gran porcentaje de material volcánico re-depositado, y están casi completamente descompuestos in situ y representados por una arcilla limosa sedimentaria, en la cual los

granos del material original, redondeados, se distinguen por su color diferente. Su espesor varía entre 20 y 50 metros en el sitio de Salvajina, y 10 metros en el sitio de Timba. La capa inferior parece que no incluye tanto residuo volcánico, como la de arriba, encontrándose poco descompuesta y algo consolidada.

La formación en general está irregularmente lenticulada y estratificada. Esto complica la correlación especialmente en las capas más bajas y en todo caso el equivalente del conglomerado verde, no descompuesto, que se encuentra en Timba, no ha sido identificado en Salvajina, en donde las capas son predominantemente de color claro.

#### Al-2.4 Formación Valle

La "Formación Valle" que pertenece a la época del holoceno reciente, incluye principalmente depósitos aluviales y abanicos lavados. De Timba hasta Cartago, en donde los depósitos aluviales forman una llanura agrícola ancha y plana, los materiales se considera provienen principalmente de depósitos lacustres (arena fina, limo y arcilla) y probablemente de gran espesor. De Timba para arriba, estos sedimentos consisten de arenas auríferas y gravas con finos. Entre Timba y Suárez estos materiales fueron explotados con dragas durante los últimos 30 años.

Los abanicos de terreno lavado son más complejos en su composición. Los varios componentes a saber, terreno residual, fragmentos de rocas y materiales de la formación Popayán, aparecen mezclados o en distintas capas inclinadas más o menos en la misma forma que los abanicos mismos. Algunos de estos abanicos con contenido de millones de metros cúbicos de material, existen en la vecindad de Salvajina; el más importante está situado unos dos kilómetros aguas arriba del sitio de la presa en la margen izquierda.

La formación Valle incluye también terrazas altas de poca extensión y unas pocas terrazas fluviales en los niveles bajos.

#### Al-3 ROCAS DE INTRUSION

Las rocas de intrusión son de dos grupos. El primero, que se atribuye a la época del paleoceno y es típico de la cordillera Occidental, se compone de intrusiones ácidas. Está representado cerca al sitio de Salvajina, por un gran cuerpo cuarzo-diorítico o tonalítico. El segundo grupo, de menor importancia, está formado por batolitas, repisas y pequeñas intrusiones irregulares en medio y a través de las capas de las formaciones Cauca y Nogales. El segundo grupo es también de composición ácida, pero post-tectónica, probablemente mio-plioceno. Se encuentran repisas y pequeñas intrusiones de este grupo en el sitio de Salvajina.

#### Al-4 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

De acuerdo con algunos informes, grandes fallas por corrimiento deben haber determinado la conformación del valle del Cauca. En la región de Timba por lo menos, se ha interpretado una falla de este tipo en el contacto entre el diabásico y la formación Cauca. En Salvajina sin embargo, en donde las dos formaciones existen, no se ha observado evidencia de falla. Los estratos de la formación Cauca están intensamente plegados con un rumbo más o menos paralelo a la dirección general del valle. El plegamiento se manifiesta por numerosos anticlinales y sinclinales tanto normales como invertidos. Se considera que con estos plegamientos estén asociadas fallas menores.

El hecho importante, sin embargo, es que no se ha encontrado evidencia de fallas geológicas recientes de importancia en las proximidades de las presas de Salvajina y Timba.

Las rocas de la región están intensamente fracturadas. La orientación principal de estas fracturas es o bien normal o bien paralela al rumbo general de los plegamientos mencionados y probablemente se produjeron simultáneamente con ellos. En general, las fracturas se desarrollan en una extensión mayor en las areniscas cuarzosas, más quebradizas, que en las lutitas y conglomerados.

#### Al-5 SISMOLOGIA

Colombia forma parte de la zona sísmicamente activa, localizada a lo largo de la costa occidental de las Américas, siendo las zonas de epicentros de terremotos, la frontera con el Ecuador, por el sur, la costa del Pacífico por el oeste, y cerca de la frontera Venezolana, alrededor de Bucaramanga, por el este. Hay una larga historia de terremotos en Colombia, particularmente en el Valle del Cauca. En el informe de factibilidad para Calima II, de 1963, aparece la publicación preparada por el "Instituto Geofísico de los Andes Colombianos" con informaciones que datan desde 1575, en la cual se dan los datos relativos a terremotos de carácter destructivo. Una publicación titulada "Serie A" Sismología (Segunda Epoca) Publicación #18, del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, de Enero de 1959, (actualmente en revisión), contiene un mapa que muestra la localización de los epicentros en Colombia, basado tanto en los efectos observados como en los registros sismográficos. Actualmente hay en Colombia cuatro estaciones sismográficas localizadas en Bogotá, Chinchiná, Galerazamba y Laguna de Fúquene.

La zona del proyecto de Salvajina está aparentemente fuera de la de epicentro, dentro de un radio de 50 km. Sin embargo, dentro del radio de 200 km, varios terremotos de importancia se han registrado, el más reciente de los cuales fue en Mayo de 1957, 30 km al sur de Buenaventura. Es pues claro, que las estructuras del proyecto deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas. En consecuencia, en el

diseño de las estructuras del proyecto se incluye un factor de aceleración horizontal de 0,10 de la gravedad, como previsión contra las fuerzas laterales de origen sísmico.

## PARTE II - PRESA DE SALVAJINA

### A2-1 SITIO DE LA PRESA

#### A2-1.1 Geología

##### A2-1.11 Descripción General

En el sitio de Salvajina, la anchura del valle del río es generalmente entre 100 y 200 metros y disminuye a 30 metros en el eje de la presa propuesta. En la parte más estrecha del valle, el río cortó su canal a través de la arenisca cuarzosa dura "La Cima", de la formación Cauca, y está contenido en ambos lados en una distancia de unos 200 metros por paredes de roca que se elevan a casi 200 metros sobre el cauce. Arriba y abajo de esta pared de roca, el río ha formado meandros en época geológica reciente y ha corrido por diferentes cauces, en las partes más anchas del valle.

Antes de que el sistema de drenaje natural quedara sepultado bajo la acumulación del material lavado, las quebradas y corrientes cortaron profundamente la roca de las paredes del valle. Como resultado, los taludes laterales están en algunas zonas cubiertas por grandes espesores de material de acarreo.

La geología del sitio de la presa se muestra en la Figura 35 y las secciones geológicas de la presa y obras conexas en las Figuras 36 y 37.

##### A2-1.12 Estratigrafía

En el sitio de Salvajina, las rocas son predominantemente de la formación Cauca. En el sitio de la presa, se encuentran al descubierto lechos de arenisca cuarzosa, mientras más abajo afloran estratos de conglomerado y lutita arenosa. El resto de la formación ha quedado casi completamente revelado, por los cortes de los caminos y las exploraciones del subsuelo. Sin embargo, los taladros en las fundaciones de la presa revelan la presencia de conglomerado de diabasas en la margen derecha aguas arriba, y unas pocas repisas e intrusiones irregulares de material ácido. El conglomerado diabásico pertenece a la formación diabásica cuya presencia en contacto con el elemento "La Cima" de la formación Cauca, podría explicarse por una superposición transgresiva con la contracción de las formaciones de Nogales y la parte inferior de la formación Cauca. Las repisas e intrusiones irregulares, ocurren en espesores limitados a unos pocos metros, pero parecen tener considerable extensión.

## A2-1.13 Estructura

En el sitio de Salvajina la cama de roca de la formación Cauca tiene la forma de un homoclinal, que incide con una inclinación N 40° W, casi perpendicularmente al río, con buzamiento de 20° a 40° aguas arriba. Este homoclinal es probablemente parte de un plegamiento invertido, ya que la secuencia estratigráfica lo es, de manera que los lechos más antiguos aparecen encima de los más recientes.

Las rocas, particularmente los masivos pero quebradizos lechos de arenisca cuarzosa, contienen muchas fracturas, la mayor parte de las cuales pertenecen a alguno de los grupos siguientes:

| Grupo | Rumbo                            | Buzamiento<br>(Angulo con Horizontal) |
|-------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1     | N 35° E                          | 85° SE                                |
| 2     | N 85° W                          | 80° N                                 |
| 3     | N 40° W                          | 70° NE                                |
| 4     | N 40° W (junta de los<br>lechos) | 30° SW                                |

En general, cerca a la superficie, las fracturas en la arenisca cuarzosa están abiertas y presentan un aspecto de bloques seccionados en los afloramientos, en tanto que las fracturas de la lutita poco descompuesta, son cerradas. Debajo de la superficie existe una capa de 10 a 40 metros de espesor, donde las grietas son cerradas pero notoriamente decoloradas por el agua. A mayor profundidad, aun cuando las fracturas son ajustadas y limpias, no parece que disminuyan en número, o que sean menos continuas o extensas. Adicionalmente a las grietas típicas hay en algunos lugares, angostos cizallamientos que son más o menos paralelos a los planos de los lechos. Los cizallamientos fueron causados probablemente por el movimiento de los estratos durante y después del plegamiento. Se observaron unas pocas zonas cizalladas, aparentemente causadas por intrusiones irregulares.

No se ha encontrado evidencia de fallas de consideración en el sitio de la presa, ni por el estudio topográfico, ni por las exploraciones del subsuelo. Al principio se consideró la posibilidad de que la depresión existente en el estribo derecho, a la elevación de 1140 m, fuera el sitio de una falla. Sin embargo, las investigaciones posteriores, incluyendo una trinchera de bulldozer y un taladro en este sitio, indican que esta depresión fue la consecuencia de la intensa descomposición local extrusiva de la arenisca cuarzosa.

Sin embargo, las fotografías aéreas a pequeña escala, de la zona del embalse, revelan una huella de dirección N 50°W, que cruza el río Cauca unos 3,5 km arriba de la presa. No se han hecho aún investigaciones en el terreno sobre esta zona y la naturaleza y extensión de esta huella es desconocida.

## A2-1.14 Fundación y Embalse

En general, el sitio es bien apropiado, tanto topográfica como geológicamente para la construcción de una gran presa del tipo de relleno. Está formado por el estrangulamiento del río entre dos masas protuberantes de arenisca cuarzosa, que se eleva muy escarpadamente hasta una altura de unos 200 metros, en forma tal que la cantidad de relleno requerido para una presa alta en este sitio, no es excesiva. Además, estos dos estribos de arenisca, aun cuando de poco espesor, son competentes para resistir las cargas que les serán impuestas por una presa de relleno de roca, siempre que reciban el tratamiento adecuado. El eje de la presa que se propone, está localizado un poco hacia arriba de estos estribos, de manera que la parte superior de la presa estará fundada en la misma arenisca que aflora en los estribos, sólo que está más profundamente descompuesta. Inmediatamente abajo del eje de la presa el valle se ensancha bruscamente, encontrándose la zona de contacto entre la arenisca cuarzosa con la lutita gris negruzca de aguas abajo. El último estrato sirve de fundación para el talón de aguas abajo de la presa y de la casa de máquinas, así como la sección inferior del rebosadero y los túneles de carga. Los planos de asiento de ambos estratos, inciden casi normalmente al río, y se abuzan hacia aguas arriba a  $30^{\circ}$  más o menos, dando una orientación favorable respecto a la presa y a la fundación de las estructuras conexas. A una corta distancia aguas abajo del cuenco de dispersión del rebosadero y de las salidas de los túneles de desviación, aflora un conglomerado duro. Estos afloramientos persisten casi hasta Suárez, donde los estratos de lutita se encuentran nuevamente. Es en este material donde se ha escogido la zona de préstamo B (ver Figura 34).

Tanto la arenisca cuarzosa como la lutita sin descomponer, son aptas para soportar la carga de una presa de relleno de la altura propuesta y para este propósito se pueden considerar estructuralmente adecuadas. Sin embargo, la descomposición de la roca, cerca de la superficie en el sitio de la presa está muy extendida, siendo las lutitas las más afectadas.

En donde la descomposición es profunda, como en el sitio del rebosadero, las lutitas están reducidas a suelos residuales policromados, principalmente limo y arcilla, en los cuales la estructura primitiva está bien preservada. La lutita relativamente sin descomponer, está formada por lechos durables de moderada dureza, en la cual las fracturas no son muy pronunciadas, y seguramente más bien ajustadas. La arenisca cuarzosa es una roca muy dura y quebradiza, muy fracturada localmente; muchas de estas fracturas pueden estar abiertas y están probablemente descompuestas hasta profundidades considerables. En la arenisca cuarzosa el efecto de la descomposición está caracterizado por descoloración, manchas en las fracturas y pérdida parcial de la resistencia causada por la destrucción del aglutinante de la roca. La profundidad de la descomposición, en la parte alta de los estribos, parece ser mayor en la arenisca que en la lutita, lo cual probablemente es debido a la mayor facilidad de erosión de la lutita descompuesta.

Excluyendo los suelos residuales in situ, provenientes de la descomposición de la arenisca y la lutita, el capote es comparativamente delgado sobre gran parte de la zona que será cubierta por la presa. Sin embargo, se conocen tres zonas de capote profundo en el sitio de la presa, encontrándose ubicados en el talón inferior de la margen derecha, en el talón superior en la margen izquierda y en el lecho del río.

Las dos primeras zonas son abanicos de suelos lavados que llenan depresiones en la roca, con espesores que exceden de 30 metros. La zona en la margen derecha se ha investigado completamente y está formada por unos dos millones de metros cúbicos de material del tipo formación Popayán y suelos residuales de lutita y arenisca, incluyendo fragmentos de roca. Es relativamente impermeable y ha sido considerada seriamente como una posible zona de préstamo para el núcleo de la presa. Cerca al río, estos materiales están superpuestos a los aluviones del río. En esta zona, al perforar profundamente, apareció agua con presión artesiana (hasta 11 libras por pulgada cuadrada sobre el nivel del terreno), que probablemente viene de una napa acuífera confinada en la parte inferior del material lavado. La presencia de capas delgadas continuas de cenizas volcánicas endurecidas y la estructura lenticular de los depósitos indican que no se produjo por un solo derrumbe principal. El abanico de la margen izquierda, que está casi todo fuera de la fundación de la presa, no se ha investigado en la misma extensión, pero se cree que sea de naturaleza y composición similares. En el lecho del río, la sobrecapa es generalmente heterogénea. Debajo de los talones inferiores y superiores de la presa, se compone principalmente de grava arenosa a grava limosa, con una capa más permeable que incluye rocas y grava en el contacto con el lecho de roca. En la sección angosta entre los estribos rocosos, hay capas de arena y de limo arenoso, con algunos pocos estratos relativamente permeables. En la misma sección se encuentran expuestos, en el canal del río, grandes bloques de conglomerado diabásico y de arenisca cuarzosa. En el sitio de la presa, la profundidad del aluvión en el lecho del río varía de 15 m aguas arriba, a 25 metros aguas abajo.

Desde el punto de vista de la seguridad del terraplén, las olas en el embalse producidas por terremotos o deslizamientos masivos, pueden ser más destructivas que la vibración misma de la estructura y puesto que la zona del embalse, inmediatamente aguas arriba de la presa, es relativamente angosta y sus taludes escarpados, la posibilidad de formación de olas como resultado de deslizamientos sobre el embalse, fue considerada desde un principio. Ha habido apreciables deslizamientos de materiales descompuestos desde los taludes, así como del material de la formación Popayán, y derrumbes ocasionales de roca. Este movimiento de material ha producido gruesas acumulaciones de suelos lavados adyacentes al río. Sin embargo, derrumbes potenciales de consideración, vecinos a la presa, no han sido observados.



Derrumbes pequeños podrán sí caer sobre el embalse, pero ninguno lo suficientemente grande para producir olas que ocasionen daños. Muy arriba de la presa, se han observado grandes deslizamientos, el más cercano sobre la margen derecha, aproximadamente a  $3\frac{1}{2}$  kilómetros de distancia. Se ha programado levantar planos y analizar la estabilidad de estos deslizamientos a principios de 1965. Más hacia arriba, el embalse continúa curvándose y ensanchándose y la formación de olas perjudiciales causadas por deslizamientos no es problema. Estas observaciones están basadas en reconocimientos aéreos y terrestres.

#### A2-1.2 Exploraciones de Campo

La Figura 35 muestra la localización de las exploraciones en el sitio de la presa, realizadas hasta Noviembre 15 de 1964, mientras que las Figuras 39 a 43, muestran los perfiles de perforación. Estas exploraciones consistieron en perforaciones con broca de diamante, perforaciones con cucharón perforador, apiques excavados a mano, trincheras abiertas con bulldozer y las excavaciones de los caminos. En total, se hicieron 31 perforaciones con broca de diamante (1550 m), 24 perforaciones con cuchara, la mayoría de 30" (340 m), 85 m de apiques, y 500 metros de trincheras con bulldozer. Las perforaciones con broca de diamante continúan en la fecha.

Las perforaciones en el lecho de roca, se realizaron en general con coronas tamaño NX y taladros huecos, pero ocasionalmente se emplearon coronas BX. Los ensayos rutinarios de presión de agua en los barrenos, cada 5 pies, se hicieron sistemáticamente, a medida que el taladro avanzaba, usando presiones variables entre 50 y 200 libras por pulgada cuadrada, medida en la parte superior de la perforación. La arenisca cuarzosa fresca, resultó ser muy dura, requiriendo cambio frecuente de las coronas de diamante y a veces fue necesario emplear coronas especiales para trabajo pesado. Todas las muestras de roca dura se han almacenado en un depósito en el sitio de la obra, y estarán disponibles para inspección por los proponentes a la licitación de construcción del proyecto. Del capote y de la roca descompuesta, se tomaron muestras a intervalos de 1,50 m con un taladro de 3" y cuchara abierta de muestreo (martillo de 360 libras con carrera de 22"). Los números de golpes registrados por cada 6" de penetración se anotan en el registro de las perforaciones. Por razón de la naturaleza rocosa y heterogénea del material, no se tuvo éxito en los intentos de obtener muestras inalteradas, hechas usando un muestreador "Denison" o por el método Shelby de tubos delgados, particularmente para el suelo lavado.

Un perforador modelo Calweld 150A, equipado con cucharones de 18" y 30" se usó extensivamente en el sitio de la presa, para perforaciones en el terreno lavado y materiales de lutita descompuesta. Esta máquina se usó en la parte de abajo del rebosadero, para complementar las perforaciones con diamante hechas para explorar la fundación para dicha estructura, y para investigar y tomar muestras del material como posible fuente para el núcleo impermeable de la presa. Las perforaciones

de 30 " de diámetro se usaron también para inspeccionar las fundaciones. Muestras del material alterado, tomadas en bolsas y recipientes sellados, se recogieron a intervalos de 1,50 m para análisis de laboratorio. El programa preliminar de perforaciones hechas con dicha máquina dentro de esta zona, (ver Figura 35), se terminó a fines de 1964. En la parte aguas abajo de la presa fue difícil alcanzar profundidades de consideración, por razón de que los grandes cantos contenidos en el suelo lavado, interferían el taladro.

Los niveles del agua del subsuelo, se han medido a intervalos de tiempo regulares en todas las perforaciones y las elevaciones promedio se muestran en los registros.

En la parte aguas arriba de los estribos, un túnel corto de prueba (8,5 m) y diferentes apiques (hasta 6 m de profundidad) ayudaron a estimar el volumen de descapote de las fundaciones. En la zona de suelo lavado, abajo del estribo, se excavaron varios apiques de considerable profundidad, (hasta 17 m), para la inspección de este material. En estos apiques se tomaron muestras alteradas e inalteradas a intervalos de 1,50 m, o cuando se notaba un cambio en el material y se determinaron in situ, la densidad y contenido de humedad del material, a intervalos regulares.

Para la construcción de los caminos de acceso para el taladro Calweld, en las zonas de los dos estribos, se utilizó un bulldozer, con el cual también se excavaron varias trincheras de exploración.

### A2-1.3 Consideraciones de Ingeniería

#### A2-1.31 Fundaciones de la Presa

La base del núcleo de la presa está localizado en toda su longitud, justamente aguas arriba de los caballetes de arenisca cuarzosa que forman los estribos. El lecho de roca debajo de la sección del núcleo es del mismo material, contiene fracturas abiertas y está descompuesto hasta poca profundidad respecto del lecho del río. Sin embargo, como resultado de varias perforaciones, parece que las fracturas abiertas se extienden a profundidades considerables en las partes más altas, de manera que no se espera una fundación natural firme. Parece que la profundidad de excavación en roca, que se requerirá para la trinchera del núcleo, inclusive la conformación para obtener taludes aceptables para la colocación del relleno, será de 6 m en el lecho del río, y de 10 a 15 m en los estribos, medidos normalmente a la superficie. Del examen de las muestras de perforación, se deduce que la fundación que se espera a estas profundidades será de arenisca cuarzosa fresca, en la parte baja de la presa y roca moderadamente descompuesta y con fracturas abiertas a elevaciones mayores, pero donde la altura de la presa es menor de cien metros en todo caso.

Esta fundación puede mejorarse mediante consolidación superficial con inyecciones de baja presión, lo cual ha sido incluido en el estimativo de costo para toda el área de la trinchera del núcleo. El consumo de inyección para consolidación se ha estimado en  $0,047 \text{ m}^3/\text{m}$  de hueco (0,5 pie cúbico/pie. En la parte superior de la presa, no es necesario para la trinchera del núcleo, excavar hasta roca sana, pues además de tener ello un costo prohibitivo, no es aconsejable, pues requeriría remover gran parte de los angostos caballetes que forman los estribos. Una solución práctica consiste en el tratamiento adecuado de la fundación con inyecciones, tanto superficiales como de cortina, conjuntamente con huecos de drenaje, tal como se muestran en la Figura 25. Puesto que la roca es de juntas abiertas, sobre todo cerca a la superficie, no hay duda de que una inyección efectiva de cortina se puede obtener. Para estas inyecciones se estima un consumo de  $0,070 \text{ m}^3/\text{m}$  de hueco (0,75 pie cúbico/pie).

Se anticipa que todo el suelo y roca descompuesta deberán ser removidos de debajo de las zonas de transición y zonas permeables de la presa. Las trincheras con bulldozer y los apiques hechos en la arenisca cuarzosa de las fundaciones de los estribos, indican que el descapote en estas zonas variará probablemente entre un mínimo de 2 m, en las afloraciones de roca dura hasta 5 m (profundidad normal), para las zonas de material más descompuesto, hacia aguas arriba, para encontrar una fundación aceptable. El descapote en el estribo izquierdo hacia aguas abajo, en donde se encuentran lutitas profundamente descompuestas, posiblemente exigirá profundidades de 20 m, hasta encontrar lutita sana para fundación. Los estudios indicaron que resulta antieconómico dejar en el sitio los grandes depósitos de suelo lavado existentes en la parte de arriba del estribo izquierdo y en la parte de abajo del estribo derecho. Por consiguiente y puesto que las exploraciones mostraron algunos materiales en el estribo derecho que no son adecuados para la fundación de una presa alta, se asume que todo el suelo lavado de la fundación de la presa será removido hasta destapar la roca sana. Para el objetivo presente de establecer la factibilidad del proyecto, los materiales de aluvión del lecho del río, serán removidos, ya que no se conoce su naturaleza exacta ni sus propiedades in situ.

Si por investigaciones posteriores se llega a la conclusión que estos materiales están formados por gravas y arenas densas bien gradadas, pudiera resultar factible y económico dejarlos en el sitio, sobre todo del núcleo para arriba. Sin embargo, en este caso será necesario asegurarse que los materiales son lo suficientemente densos en el sitio, para mantener una estructura dilatante, bajo las grandes presiones verticales de la presa, cuando ésta esté sometida a la acción transitoria de esfuerzo de corte durante un terremoto. Si por otra parte aparece que el aluvión contuviera capas extensas de material lenticular, arenas muy finas, o limos, entonces el riesgo de licuación de estos materiales bajo las vibraciones de un temblor, excluyen la posibilidad de dejarlos en su sitio.

La estabilidad de los depósitos de suelo lavado aguas abajo del caballete de arenisca cuarzosa del estribo derecho, fue objeto de cuidadoso estudio, a causa de la probabilidad de que el talón existente del depósito fuera removido para proveer una fundación firme para la zona de relleno de roca de la presa. Los taladros muestran que la lutita, debajo del terreno lavado, en partes está muy descompuesta, de manera que la resistencia de este material no será muy alta. Durante la excavación de la fundación de la presa en este sitio, se dispondrá para esta sobrecapa un talud de 1,5 a 1, el cual se rellenará luego con material de la excavación de las fundaciones, para suministrar estabilidad permanente a este material lavado por encima de la excavación que puede eventualmente saturarse por filtración del embalse. Además, el programa final de construcción, prevé la colocación del relleno de la presa y contrarrelleno en este punto, tan pronto como sea posible, para evitar la exposición de toda la excavación por un largo período. El contrarrelleno, estará separado del estribo por un filtro de roca para evitar la acumulación de filtraciones en esta superficie.

Los angostos caballetes de los estribos de la presa, particularmente en el lado derecho, tanto dentro de los límites de la fundación de la presa, y en alguna distancia hacia arriba, merecen un estudio cuidadoso. La estabilidad general de los estribos no presenta problema, ya que en las zonas bajas están soportados por la parte inferior del terraplén de la presa, y además no hay duda de que la roca del sitio aun cuando intensamente fracturada, tiene resistencia adecuada. De verdadero cuidado, sin embargo, es la posibilidad de que el estribo falle por el lado de abajo del caballete, debido a las presiones de filtración, particularmente si el drenaje libre por el lado de aguas abajo es impedido por material menos permeable, o por fracturas llenas de roca o de arcilla, en las zonas de material descompuesto. Además, puesto que la relación del recorrido de la filtración a la altura de cabeza, a través de estos caballetes, es realmente baja, cabe esperar filtraciones desde el embalse. El tratamiento de las fundaciones, tal como aquí se propone, prevé una combinación de inyecciones de cortina y de drenajes hasta profundidades considerables, no solamente en toda la longitud de la presa, sino extendiéndose en los estribos más allá de aquélla, hasta unos 120 m en el estribo izquierdo y 200 m en el derecho. La única forma práctica y económica de proveer el tratamiento deseado de las fundaciones, es mediante la construcción de una galería de fundación y de túneles en los estribos, desde los cuales puedan realizarse las inyecciones, perforarse los taladros de drenaje y recogerse el agua de filtración, para descargarla aguas abajo (ver Figura 25). La construcción de la galería permanente y de los túneles, cumple también la función importante de permitir la inspección de las fundaciones y la aplicación de cualquier medida correctiva en el futuro.

### A2-1.32 Túneles

Los túneles de carga están localizados en el estribo derecho, y ellos interceptan tanto la arenisca cuarzosa como la lutita. La arenisca posiblemente se encuentre compacta, mientras que los lechos de lutita seguramente requerirán soportes. Para los estimativos, se han supuesto soportes livianos a un promedio de distancia de 1,20 m en toda la longitud. Taludes de 1 a 1, entre bermas de 5 m colocadas a intervalos verticales de 15 m, se consideran adecuados para las excavaciones temporales de los taludes en los portales.

Se estima que poca agua filtrará en los túneles. Además, no hay evidencia de condiciones geológicas adversas que puedan afectar la construcción de éstos, estando los dos portales localizados en donde la roca está a poca profundidad y la zona de contacto entre la arenisca y la lutita es aparentemente muy dura.

Se harán inyecciones de contacto convencionales en toda la longitud de los túneles e inyecciones de consolidación, donde fuere necesario.

### A2-1.33 Rebosadero

La estructura de cresta para el rebosadero está localizada sobre la arenisca cuarzosa del estribo izquierdo que es más adecuada. Los taludes para la excavación en este material, se consideran satisfactorios para una relación de  $\frac{1}{2}$  a 1, entre bermas de 5 m de ancho, a 15 m de intervalos verticales. En la roca descompuesta, se dejarán taludes de 1 por 1, con bermas de las mismas condiciones. A causa de la naturaleza compacta de la arenisca cuarzosa, se prevé que sólo será necesario el uso de pernos de roca en algunas zonas.

En la lutita, los taludes pueden diseñarse mejor recurriendo al análisis de suelos. Cuando sea posible, se deben obtener muestras inalteradas de estos materiales para someterlas a ensayos de esfuerzo cortante para la determinación de valores racionales de la resistencia a la cortadura. La estabilidad del corte profundo en la zona del rebosadero y cuenco de dispersión es importante, puesto que un deslizamiento grande podría dañar la estructura. Este corte, sin embargo, tiene una orientación ventajosa, dado que yace casi normalmente a la estratificación de la lutita. Sujeto a confirmación por los resultados de ensayos de suelos, los taludes de las excavaciones para el diseño preliminar, se escogieron de 1 por 1 para la lutita dura o poco descompuesta y 1-3/4 a 1, para la lutita mediana o fuertemente descompuesta. Ambos taludes se usaron entre bermas de 5 m a 15 m de intervalos verticales. Además, puesto que la parte baja de esta excavación está bajo agua, se incluye la provisión para desagües horizontales perforados dentro del corte.

La estructura del cuenco puede fundarse en lutita firme, moderadamente descompuesta, pero debe preverse una cortina al extremo de la estructura, para prevenir la erosión regresiva durante los caudales bajos. La descarga del rebosadero labrará un gran hueco en el suelo aluvial hacia aguas abajo. Se prevé la necesidad de ensayar modelos hidráulicos para estudiar la forma de erosión y la manera de depositarse el material erosionado.

Se contemplan inyecciones de consolidación por debajo de la cresta del rebosadero, para mejorar la fundación y como parte del tratamiento general de la cimentación del estribo.

#### A2-1.34 Casa de Máquinas

La casa de máquinas está localizada en el estribo derecho cerca del talón de la presa y cimentada completamente en lutita sana. Los cortes para esta estructura no son particularmente altos, y serán parcialmente contrarrellenados, de manera que la estabilidad de los taludes no constituya aquí un problema.

#### A2-2 ZONAS DE PRESTAMO

##### A2-2.1 Canteras para Roca de Relleno

La zona de préstamo A, que es la fuente del relleno de roca (Zona 5) para la presa, está localizada a 2 km aguas arriba de la presa en la margen izquierda del río, en una gran intrusión de diorita cuarzosa (ver Figura 34). Una mina de oro que está actualmente en operación en el cuerpo diorítico, dió una oportunidad excelente para observar esta roca en su profundidad. La localización y registros de los apiques se ven en la Figura 38. La roca sana es masiva, pero hay fracturas a intervalos anchos, que controlan el quebrantamiento de la roca. Con cargas debidamente colocadas y técnicas apropiadas para hacerlas explotar, puede obtenerse una buena gradación de roca para el relleno compactado de la presa. Si se hace la compactación en capas de 1 m y 3 m dentro de la sección de la presa, es posible acomodar una gran variedad de tamaños sin necesidad de tener que recurrir a voladuras secundarias. Sería deseable, en otra etapa más avanzada de las exploraciones, hacer una voladura de prueba con el fin de abrir el cuerpo de la roca para inspección visual y obtener una idea de la gradación que se obtendrá con una voladura de cantera.

Una inspección del sitio revela que los taludes encima de la misma tienen una superficie muy irregular. Numerosas afloraciones de roca unas veces sana, otras muy descompuesta, se observan en los taludes. Se presume que la irregularidad topográfica se deba en buena parte a explotaciones mineras superficiales. Grandes depósitos de material erosionado y escombros rocosos se encuentran hacia el fondo del talud, muchos de los cuales deben ser desechos de actividades mineras.

El aspecto superficial de las afloraciones de roca dan la impresión que la profundidad de la descomposición de la diorita es muy irregular. La descomposición normal a la superficie es apreciable sin embargo, asumiéndose un promedio de 8 m de material profundamente descompuesto y 2 m más, moderadamente descompuesto. Actualmente se adelantan exploraciones en forma de trincheras, con bulldozer, que definirán mejor este último punto.

La diorita descompuesta profundamente, parece estarlo en toda la zona. El material resultante es un limo arenoso, de gran resistencia y baja permeabilidad, que resulta ser un excelente subproducto de la operación de la cantera y constituirá la mayor proporción del material para el núcleo impermeable de la presa (Zona 2).

#### A2-2.2 Desechos de Dragado

El valle del Cauca, entre Suárez y Timba, estuvo hasta años recientes cubierto por depósitos aluviales bien gradados y ricos en oro, que han sido intensamente explotados durante los últimos 30 años mediante dragado. El trabajo de estos materiales con draga, dió lugar a la formación de apilamientos de grava, de 4 a 7 m de altura, depositados sobre una superficie ondulada pero relativamente plana de arena al nivel de la tabla de agua. El espesor de la capa de arena se determina por el punto más bajo de la excavación de la draga, que de acuerdo con los registros de la compañía minera que explotó la zona, viene a ser la parte superior del lecho de roca residual. La profundidad desde el nivel de la tabla de agua hasta el lecho de roca varía de 7 m en Suárez hasta 18 m en Timba. Aun cuando la draga operó sobre la mayor parte del valle, los meandros formados recientemente por el río han removido algunas de las pilas de grava. Se estima que la arena redepositada está por debajo de toda la zona dragada.

Las investigaciones de campo de estos materiales se hicieron con pala de arrastre. Las Figuras 34 y 43 muestran la localización y los registros de estos apiques, de los cuales se tomaron muestras a cortos intervalos y se hicieron ensayos de tamizado en el campo, para el material de más de 3/4", en todos los apiques. Los desechos de dragado localizados entre Suárez y Asnazú (Zona de Préstamo E), constituirán el relleno para la Zona 4 de la presa. Se espera que el desperdicio con este material será mínimo y que el descapote y limpieza de la vegetación serán un renglón de menor importancia. Las zonas de transición (Zona 3) se obtendrán mezclando in situ la grava y la arena inferior, o si esto no diera resultado, se procesarían estos materiales en una planta de mezcla para producir la gradación adecuada.

Los desechos de dragado parecen ser plenamente satisfactorios como fuente de los agregados finos y gruesos para concreto, pero requieren tratamiento previo, inclusive el lavado, y la mezcla que permita obtener la granulometría correcta.

### A2-2.3 Zonas de Préstamo de Material Impermeable

#### A2-2.31 Descripción General

Se investigaron en total cinco fuentes de material impermeable para el núcleo de la presa. La localización y exploraciones de estos materiales se muestran en la Figura 34, excepto las del material lavado del sitio del rebosadero, que aparecen en la Figura 35. Las zonas de préstamo son:

(a) Zona de préstamo A, diorita-cuarzosa descompuesta que como antes se describió, cubre la cantera de roca.

(b) Zona de préstamo B, localizada directamente debajo de la Zona C, en el lado opuesto a Suárez en el río Cauca, que contiene lutita residual descompuesta.

(c) Zona de préstamo C, localizada en la cima del caballete del lado derecho del río, frente a Suárez, que contiene material volcánico de la formación Popayán, altamente descompuesto.

(d) El gran depósito de material lavado ubicado debajo del talón del terraplén de aguas abajo, en el lado derecho, que deberá ser removido para obtener una fundación adecuada de la presa.

(e) La lutita descompuesta obtenida de las excavaciones de la construcción, en particular de las del rebosadero.

A continuación se describen las zonas de préstamo y las exploraciones.

#### A2-2.32 Zona de Préstamo A

La diorita descompuesta de esta zona fue ya descrita en este apéndice y se usará para la Zona 2 de la presa.

#### A2-2.33 Zona de Préstamo B

Esta zona está localizada en el material residual resultante de la descomposición de los estratos de lutita. Aun cuando parte de la zona está cubierta con terreno lavado, un volumen considerable de material impermeable adecuado (hasta profundidades de 14 m) es fácilmente obtenible de este préstamo que se investigó con 14 perforaciones hechas con el taladro Calweld y 2 apiques, cuyos



registros aparecen en la Figura 44. Con este material, conjuntamente con el similar obtenido de la excavación del rebosadero, se construirá la Zona 1 de la presa.

#### A2-2.34 Zona de Préstamo C

Contiene las cenizas volcánicas de la formación Popayán, que se descompusieron en sus capas superiores, formando un suelo uniforme y plástico. El caballete que contiene este material, se investigó sobre más de 3 km de longitud con apiques excavados a mano, (14) y taladros Calweld, (8) a profundidades hasta de 27 m. Los registros de estas exploraciones aparecen en la Figura 44. Este material mostró ser adecuado para un núcleo angosto central, pero se necesitan investigaciones adicionales y ensayos para establecer su compresibilidad y capacidad plástica, teniendo en cuenta que la humedad in situ parece alta. Actualmente se ha prescindido de conceder más atención a esta fuente de material, ya que su empleo no parece económico, comparado con los otros materiales disponibles.

#### A2-2.35 Material Lavado

El gran depósito de suelos lavados ubicado debajo del talón de la presa, en el estribo derecho de aguas abajo, fue en un principio considerado como la fuente de material impermeable, teniendo en cuenta la posible necesidad de removerlo para dar a la presa una fundación más adecuada. En consecuencia se exploró extensivamente por medio de taladros de diamante, perforaciones Calweld, trincheras a bulldozer y apiques excavados a mano. Sin embargo, el programa de construcción del proyecto indica la necesidad de remover tempranamente este material y por tanto el apilarlo a alguna distancia aguas abajo de la presa, resultando por consiguiente antieconómico comparativamente con las fuentes finalmente escogidas. Además, estos depósitos resultaron ser algo heterogéneos, en forma que obligaría a seleccionarlos y a separar los tamaños mayores. Más aún, algunas propiedades del material no son del todo favorables, por cuanto la humedad in situ es alta, y la densidad baja, y es probable que ya compactado tenga compresibilidad alta y baja resistencia a la cortadura. Por lo tanto, puesto que no entraña tampoco ventajas económicas, no se dará más consideración al empleo de estos depósitos.

#### A2-2.36 Material de la Excavación del Rebosadero

Las lutitas descompuestas de la parte superior de la excavación del rebosadero, excluyendo el material arcilloso que cubre la zona y las lutitas demasiado descompuestas, se usarán para la parte del fondo de la Zona 1. Este material se compactará para proveer un núcleo bastante fuerte y suficientemente impermeable. Las exploraciones de esta zona incluyeron perforaciones con broca de diamante y con el equipo Calweld y trincheras de bulldozer, tal como se muestra en la Figura 35.

#### A2-2.4 Material Procedente de Excavaciones

Los materiales procedentes de las excavaciones durante la construcción de la presa, se utilizarán en el terraplén y en las estructuras conexas, así:

(a) Zona 6, que está fuera de los límites de la presa propiamente dicha, estará compuesta de arenisca cuarzosa sana o ligeramente descompuesta procedente de la excavación del rebosadero y depositada en capas de 10 m.

(b) Zona 1A, que es el núcleo del terraplén de la primera etapa, se hará con material escogido de la excavación de la gran zona de material lavado del estribo izquierdo de aguas arriba. Este material tiene resistencia adecuada e impermeabilidad para el propósito a que se destina.

(c) La lutita sana o ligeramente descompuesta de la excavación del rebosadero, compactada convenientemente, servirá como fundación para el patio de conexiones.

(d) El resto de la excavación del rebosadero en arenisca cuarzosa, conjuntamente con el material excavado de la trinchera para el núcleo, se utilizará como relleno contra el talud del terreno lavado del estribo derecho aguas abajo.

#### A2-3 ENSAYO DE MATERIALES

##### A2-3.1 Información General

Paralelamente con las exploraciones, se ha desarrollado un programa de ensayo de materiales, que se planea continuar a la par con las exploraciones futuras. Este informe sólo incluye los resultados de las pruebas hechas hasta Noviembre 15 de 1964.

Se determinaron las propiedades físicas de los materiales que se excavarán para las fundaciones de la presa, para las estructuras conexas y para las zonas de préstamo. Hasta el momento no se han hecho pruebas de la roca de fundación, pero los ensayos del cemento, agregados para concreto y aguas del río y del subsuelo están bastante avanzados. Las conclusiones obtenidas de los resultados que aquí se consignan se consideran preliminares y están sujetas a revisión según los resultados de ensayos adicionales.

La mayoría de los ensayos de materiales se realizaron en el Laboratorio de CVC. Algunos de los ensayos más especializados, particularmente los que se refieren a materiales para concreto, se realizan en otros laboratorios de Colombia y Canadá. Todos los resultados están resumidos en las Figuras 45 a 50 y en las Tablas A-1 a A-5. Los ensayos de materiales permeables, tales como los desechos de dragado, se han limitado a su clasificación y ensayo como materiales para concreto.

## A2-3.2 Sitio de la Presa

### A2-3.21 Ensayos de Fundaciones

El ensayo de los materiales de las fundaciones para la presa y estructuras conexas, hasta ahora se ha limitado a pruebas de laboratorio sobre muestras alteradas e inalteradas, tomadas del material lavado localizado en la fundación del terraplén, en la parte del estribo del lado derecho hacia aguas abajo. Además, se determinó la densidad de este material in situ en los varios apiques hechos.

Puesto que como consecuencia de los estudios de diseño, se requiere remover todo este material para despejar la fundación de la presa, se consideró como posible fuente de material impermeable para el núcleo. Los resultados de los ensayos pertinentes se discuten en la parte correspondiente del reporte. El ensayo de la roca de fundación de la presa y estructuras conexas conjuntamente con la determinación in situ de las propiedades de los materiales de las excavaciones grandes, serán objeto de un futuro programa.

### A2-3.22 Materiales de las Excavaciones

Como ya se discutió, la mayor parte de la excavación del rebosadero se utilizará para el núcleo impermeable de la presa, o como material de fundación para el patio de conexiones. El núcleo de la presa de primera etapa estará formado por material escogido de la zona de suelos lavados de aguas arriba. Los ensayos hasta la fecha se han concentrado en las lutitas descompuestas de la excavación del rebosadero que se proponen como una fuente de material impermeable para la presa (Zona 1) y por consiguiente se discuten en la parte pertinente. Los ensayos para otros materiales de las excavaciones, se dejan para un programa futuro.

## A2-3.3 Material Permeable

### A2-3.31 Relleno de Roca de Cantera

Hasta ahora no se han hecho ensayos de la diorita cuarzosa de la zona de préstamo A, escogida para Zona 5 de la presa. Sin embargo, los límites de gradación estimados se muestran en la Figura 45. Estos límites corresponden a un máximo de 30% que pasa la criba de 1", 2% de finos, y 36 pulgadas de tamaño máximo. Por el estudio de canteras similares y de la construcción de presas de roca, se considera que estos límites se pueden obtener razonablemente por operaciones normales de explotación. El relleno compactado proveerá un cuerpo denso de alta resistencia y de relativamente baja compresibilidad.

## A2-3.32 Desechos de Dragado

Los ensayos de los desechos de dragado de las zonas de préstamo D y E, para las Zonas 3 y 4 de la presa respectivamente, se han restringido hasta ahora a análisis mecánicos y a ensayos de gravedad específica. También han sido objeto de ensayos bajo el aspecto de agregados de concreto, según se discuten luego. Los resultados se muestran en la Figura 45. Los materiales respectivos de dragado se clasifican como gravas gruesas (GP-GW) y arenas finas a medias (SW-SP).

La gradación de las gravas gruesas (Zona 4) se muestra también en la Figura 45, en relación con los otros materiales de la presa. El análisis mecánico indica que un promedio de 2% de estos materiales pasa la criba #200. La experiencia en proyectos que usan materiales muy similares, muestra que durante la construcción la cantidad de finos puede aumentar algo por el manejo y transporte. Sin embargo, ello no afectará adversamente las propiedades del material en relación con el uso a que se destina, y por tanto no es necesario tratarlo. Aun cuando no se han iniciado ensayos secundarios, la experiencia con materiales similares indica que en estado de compactación tendrán gran densidad y permeabilidad, baja compresibilidad y un ángulo de fricción interna del orden de 40°.

## A2-3.4 Material de Transición

El material de transición para la presa (Zona 3) se obtendrá de los desechos de dragado de la zona de préstamo D. Los límites de gradación estimados para el material de transición, tal como se muestran en la Figura 45, se determinaron cribando la grava gruesa a un tamaño máximo de 6" y combinando una parte de ella, con una parte de arena natural. Los cálculos indican que este material satisface conservativamente los requisitos de diseño para un filtro. Se anticipa que la operación de préstamo consistirá en la mezcla dentro de la excavación de las gravas gruesas y arenas, seguida por la separación a criba del material de más de 6 pulgadas. Si esto no resulta satisfactorio, se obtendrá la gradación requerida procesando y combinando estos dos materiales en una operación de cribado.

## A2-3.5 Material Impermeable

### A2-3.51 Descripción General

Los ensayos de clasificación primaria del material impermeable para la presa, han consistido en análisis mecánicos de tamiz, y ensayos de hidrometría, gravedad específica, y límites de Atterberg. Las propiedades in situ se estudiaron mediante ensayos de densidad en el terreno y de muestras de humedad selladas.

Los ensayos de compactación se realizaron sobre todos los posibles materiales impermeables, utilizando diferentes procedimientos según los máximos tamaños y esfuerzos de compactación, de acuerdo con las designaciones D 698 y D 1557 de la ASTM. Los ensayos de cortadura fueron del tipo triaxial de compresión sin drenaje, con medida de la presión en los poros y en ensayos de corte rápido directo. La técnica de presión posterior (de acuerdo con la referencia 52) se usó en todos los ensayos triaxiales y todas las muestras se compactaron a las densidades correspondientes a los Standard Proctor (ASTM D 698). Los resultados de los ensayos triaxiales se presentan en términos de parámetros de esfuerzos totales y efectivos. Los ensayos de consolidación se realizaron de acuerdo con los procedimientos especificados en USBR Earth Manual E-15; a veces se variaron las condiciones de los ensayos, para encontrar el efecto del contenido de agua en la compresibilidad. Los coeficientes de permeabilidad se determinaron usando agua exenta de aire en un permeámetro de carga descendente (Referencia 48).

#### A2-3.52 Zona de Préstamo A

La diorita cuarzosa, en toda la zona de la cantera de roca, está fuertemente descompuesta hasta considerable profundidad. Esta sobrecapa tendrá que descapotarse antes de empezar la explotación, y como se ha probado que es un buen material impermeable, se planea utilizarlo para la Zona 2 de la presa. Los resultados de los ensayos de este material, están resumidos en la Figura 46.

La exploración de los materiales para propósito de ensayos se limitó a la obtención de dos muestras únicamente, tomadas a la entrada de las bocas Nos. 3 y 4 de la mina (ver Figura 38). De cada una de estas muestras se hicieron análisis mecánicos, gravedad específica, compactación, permeabilidad, consolidación y ensayos de corte. Los ensayos de límites de Atterberg, mostraron que el material no es plástico y tiene curvas de gradación correspondientes a una arena limosa (SM). Los análisis mecánicos antes y después de la compactación indican desmenuzamiento despreciable, y por consiguiente la gradación del material estará entre límites relativamente estrechos como se muestra; sin embargo, se requiere tomar muestras adicionales para confirmar este aserto. Los ensayos de compactación se hicieron tanto con el procedimiento Standard Proctor como con el AASHO modificado, y los resultados mostraron una diferencia de menos de 9% entre los dos valores. La compactabilidad de este material parece excelente y no será difícil durante la construcción el acercarse a por lo menos el 95% de la densidad del AASHO modificado (cerca de 114 lbs/pie cúbico).

Los ensayos de permeabilidad de carga descendente de las dos muestras compactadas a las densidades indicadas en la Figura 46, muestran una variación en el coeficiente de  $2 \times 10^{-5}$  a  $4 \times 10^{-6}$  cm/s. Los ensayos de consolidación de la diorita descompuesta mostraron que ésta fue 25% menos compresible que las lutitas de la Zona 1, sobre el mismo rango de esfuerzos efectivos.

Se realizaron tanto ensayos rápidos de corte directo, como triaxiales sin drenaje, con medición de presión de poros. Los ensayos de corte directo, que se hicieron sin drenaje a una velocidad de 0,10 pulgadas por minuto, indicaron relativamente altas resistencias y un suelo de estructura dilatante. Los ensayos triaxiales comparativos sin drenaje arrojaron parámetros de resistencias más bajas. Se requieren ensayos adicionales para finalizar estos resultados, pero al comparar la resistencia residual de los ensayos de corte directos y triaxiales, es aparente que la resistencia efectiva será de por lo menos  $35^\circ$  con cohesión despreciable y que podrían ser aún más altos, mediante un esfuerzo de compactación incrementado.

#### A2-3.53 Zona de Préstamo B

La mayor fuente de material impermeable para la Zona 1 del terraplén, es el material residual de la descomposición de las lutitas de la zona de préstamo B. Los resultados de los ensayos de estos materiales se encuentran en la Figura 47 y corresponden a las exploraciones TP-74, A(PB)40 hasta 43, y A(PB)49 y 50, que están localizadas en la Figura 34.

Según los resultados de los límites de Atterberg, este material resultó ser más plástico que las lutitas descompuestas de la zona del rebosadero. Sin embargo, la gradación en el campo de ambos materiales se espera que sea muy similar. Este material fue también explorado por medio del perforador Calweld y las curvas de gradación indican el desmenuzamiento del material debido a la acción del barrenado. Se considera que los límites de gradación especificados que se muestran, pueden obtenerse a través de la extracción, sin necesidad de tratamiento especial y con desperdicio mínimo. De los datos actualmente disponibles, se infiere que no habrá dificultad para la compactación en el terreno hasta la densidad máxima correspondiente del Proctor Standard, ya que el contenido óptimo de humedad, es muy cercano al promedio de la misma en el terreno.

La más alta plasticidad de este material, en comparación con el de las lutitas del rebosadero, da lugar a que los ensayos de compactación de laboratorio, arrojen densidades ligeramente inferiores y mayores contenidos de humedad óptima. La compresibilidad es ligeramente más alta, y la resistencia al corte un poco más baja. Los parámetros de la resistencia efectiva al corte, según el ensayo, son,  $\phi' = 30^\circ$  y  $c' = 0,2 \text{ kg/cm}^2$ . Un ensayo de permeabilidad de carga descendente, mostró que el material tiene un coeficiente de alrededor de  $2 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ .

Como material impermeable para el núcleo, se dió también consideración al uso de las cenizas volcánicas de la formación Popayán de la zona de préstamo C, habiendo sido desechado con base en la comparación económica con otras fuentes de suministro. Los resultados de los ensayos se ven en la Figura 48, y corresponden a las exploraciones A(PB)3 a 10, TP-52 a 54, TP-56 a 58 y TP-60 a 65, que están localizadas en la Figura 34.

La tabla de plasticidad, indica que los materiales de Popayán exhiben una alta plasticidad que los clasifica como un limo elástico (MH). Sin embargo, los índices de plasticidad son bajos, comparativamente con los que se esperaría para arcillas normales, con los mismos valores de límite líquido. Por cuanto que estas características son poco usuales, se consideró deseable estudiar la composición mineralógica de este material. La mineralogía de la arcilla se investigó en el Canadá, por el Departamento de Minas e Investigaciones Técnicas, usando difracción de rayos X, y técnicas diferencial-térmica y termo-gravimétrica. Los resultados aparecen en la Tabla A-1.

El aspecto significativo de esta composición es el alto contenido de halloysita del grupo caolínico de los minerales arcillosos. La presencia de este mineral en cantidad, confiere a la arcilla propiedades físicas poco usuales. Afortunadamente, una investigación exhaustiva de las propiedades de ingeniería de las arcillas halloysíticas, fue publicada por Terzaghi (Referencia 50). Esencialmente, los resultados de estos trabajos muestran que por causa del agua inerte, contenida en los vacíos comprendidos entre los conglomerados de cristales de halloysita, el material se comporta por muchos aspectos, como si fuera arcilla inorgánica típica, de un límite líquido mucho más bajo.

La resistencia a la cortadura es en general mucho más alta, y la compresibilidad más baja de lo que correspondería a una "arcilla normal" de igual límite líquido. En otras palabras, como material potencial para construcción de presas de tierra, las arcillas halloysíticas tienen características más favorables de lo que sería de esperar por el sólo conocimiento de sus propiedades índices, sin una apreciación correspondiente de la composición mineral de la arcilla.

Desafortunadamente, la tendencia de los cristales de halloysita, de formar grupos estables, con una porción considerable de la humedad del suelo contenida dentro de los grupos en forma inerte, puede hacer que los resultados de los ensayos de laboratorio, tales como la determinación de índices y la compactación, no sean exactos, a menos que las técnicas se adapten a las características poco usuales del material.

Los límites de Atterberg son muy afectados por el método de pre-tratamiento de la muestra. Si por ejemplo, la muestra se seca en horno antes de los ensayos, se perderá la humedad inerte, y esto afectará el valor del contenido de humedad determinado posteriormente, según los límites plástico y líquido. El mismo efecto resultaría del secado previo del material para efectos de las pruebas de compactación, lo cual daría valores más bajos del contenido de humedad óptima, que realmente tiene en su estado natural. También, debido a la tendencia de los cristales de halloysita de formar grupos estables, los resultados de los análisis mecánicos pueden ser afectados notablemente por la cantidad de trabajo mecánico realizado sobre la muestra y por la cantidad y tipo de agente de dispersión usado en la prueba de hidrómetro.

Puesto que la presencia de altas proporciones de halloysita en las cenizas volcánicas de Popayán, no se confirmó sino cuando ya la mayor parte de los ensayos de laboratorio presentados en este informe estaban terminados, los ensayos sobre índices y compactación se realizaron sobre muestras extrasecas. Los resultados presentados en la Figura 48 deben por tanto considerarse sólo como preliminares. En particular es probable que la diferencia de 15% entre el contenido óptimo de humedad que se determinó en el laboratorio y el promedio in situ sea demasiado grande.

Debido a la gran diferencia entre el contenido óptimo de humedad del laboratorio, comparado con el de campo, los ensayos de consolidación se realizaron sobre muestras compactadas con contenidos de humedad que corresponden a los que se creían óptimos y también con contenidos de 5 y 10% por encima de estos valores. El efecto sobre la compresibilidad, al colocar los materiales más húmedos de lo óptimo puede así determinarse y valorarse con base en la dificultad del secado en el campo durante la construcción. Los resultados comparativos de los ensayos muestran que la compresibilidad aumenta alrededor del 30% para cada 5% de aumento en el contenido de humedad, por encima del óptimo aparente.

#### A2-3.55 Depósitos de Material Lavado

Los grandes depósitos de material lavado localizados en el talón derecho de aguas abajo de la presa, durante el curso de los estudios de diseño, se consideraron como fuente potencial de material impermeable para la presa. Como antes se dijo, por razones económicas se prescindió de dar consideración a este material. Sin embargo, se efectuaron numerosos ensayos, cuyos resultados están resumidos en la Figura 49, correspondiendo a los TP-69, TP-70, TP-72, TP-73, TP-76 a 81, T-6 y A(PB)28 a 33, cuya localización se indica en la Figura 35.



Los ensayos de clasificación muestran que este material es completamente heterogéneo. Los límites de Atterberg, contenidos de humedad in situ y densidades, varían dentro de amplios límites. El material se clasifica como una arena arcillosa bien gradada, a limo arenoso (ML-MH) y contiene cantidades importantes de fragmentos de roca y hasta cantos. Los límites de gradación de estos materiales y del aluvión subyacente cerca del río, se presentan en la Figura 49.

Simultáneamente con los ensayos de los materiales de la formación Popayán, se hicieron los análisis mineralógicos de las partículas finas del material lavado. El resultado de estos ensayos se muestran en la Tabla A-1. Se notará que ambas muestras contienen grandes proporciones de halloysita. Parece que el material lavado se derivó en parte de las cenizas volcánicas que cubren las colinas encima de la presa (ver Figura 33). Los bolsones de material fino de la formación Popayán, dentro del material lavado, muestran un alto porcentaje de halloysita, mientras que los materiales mejor gradados, que incluyen cantidades de lutita y arenisca cuarzosa, mostraron contener menor proporción de este material.

Los ensayos del material lavado, recompactado en el laboratorio, incluyeron consolidación, permeabilidad y corte triaxial. Los resultados aparecen en la Figura 49. Como es característico de las arcillas halloysíticas, la resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad, son representativas de materiales de mucha más baja plasticidad y límite líquido.

Las observaciones contenidas en la sección precedente, referentes a la interpretación de la compactación y límites de Atterberg sobre muestras extrasecas de arcillas halloysíticas, se aplican también a los ensayos del suelo lavado.

#### A2-3.56 Materiales de la Excavación del Rebosadero

Las lutitas descompuestas de la excavación del rebosadero, aguas abajo de la presa, se proponen como el material inicial para comenzar la construcción del núcleo impermeable de la presa (Zona 1). El trabajo de exploración efectuado al respecto, se muestra en la Figura 35 y los resultados de los ensayos se resumen en la Figura 50, habiéndose circunscrito éstos a los materiales de las exploraciones A(PB)11 hasta 27.

De acuerdo con los límites de Atterberg, la clasificación de la fracción fina del material, va desde una arcilla pobre hasta un limo arcilloso (ML-CL). No obstante, las curvas de gradación, basadas en el muestreo por medio del taladro Calweld, indican un material bien gradado, clasificable como arcilla limosa a arena limosa. Se considera que las operaciones de construcción para préstamo y compactación, utilizando probablemente traillas y rodillos pata de cabra, proveerán material dentro de los límites de gradación deseables. Los

materiales más gruesos del límite especificado, tal como se indica en la Figura 50, no podrán ser permitidos, a fin de asegurar la impermeabilidad adecuada.

Como se detalla en la Figura 50, se realizaron varios ensayos de compactación Proctor Standard. Para el material de menos del No. 4, el contenido de humedad óptima promedia y la densidad, fueron de 19% y 108,5 libras por pie cúbico, respectivamente. Los ensayos en materiales de menos de 3/4", dieron densidades más altas y contenidos de agua más bajos. No se espera encontrar dificultades inusitadas en la obtención de la humedad requerida para la colocación del terraplén, el cual probablemente se especifique ligeramente más seco del valor óptimo.

También se hicieron ensayos de permeabilidad, consolidación y corte triaxial en muestras representativas. Los ensayos de permeabilidad de carga descendente en estos materiales, cuya gradiente se indica, arrojan un coeficiente de permeabilidad de alrededor  $5 \times 10^{-7}$  cm/s. Los resultados de consolidación de una muestra ensayada, comparativamente a otros materiales impermeables usados en la construcción de presas de tierra, (Referencia 49), muestran que es entre ligera a moderadamente compresible.

Un ensayo de compresión triaxial, consolidado, saturado y sin drenaje, se llevó a cabo sobre una muestra del material compactado, obteniéndose como parámetros de resistencia efectiva,  $\phi' = 32^\circ$  y  $c' = 0,3$  kg/cm<sup>2</sup>.

## A2-3.6 Agregados para Concreto

### A2-3.61 Descripción General

Todos los ensayos de materiales para concreto se realizaron de acuerdo con los standards ASTM. Los ensayos de agregados hechos en Colombia, fueron los de desgaste, inalterabilidad, gravedad específica y sustancias nocivas. Los ensayos más especializados, tales como análisis de petrografía, reacción alcalina, expansión en el autoclave y los análisis químicos del concreto, se hicieron en el Canadá, por la Hydro-Electric Power Commission of Ontario".

### A2-3.62 Agregados

La fuente propuesta de agregados finos y gruesos para concreto es la zona de préstamo D, el mayor depósito más próximo de los desechos de dragado, aguas abajo de la presa (ver Figura 34). La gradación natural de las gravas y de las arenas subyacentes, se describió previamente y se muestra en la Figura 45.

Los resultados de los ensayos preliminares de laboratorio de la grava propuesta para agregado grueso, se muestran en la Tabla A-2, e indican que este material es apto para construcción en concreto. La calidad del agregado, juzgándolo por la cantidad de sustancias nocivas, determinado por el porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200, grumos de arcilla (ASTM C 142), y partes livianas (ASTM C 123), no es satisfactorio en su estado natural, ya que estos ensayos arrojaron un peso de sustancias nocivas de hasta 2% (ver Tabla A-2). Sin embargo, puesto que el lavado durante el tratamiento y cribado de campo removerá todo este material y dejará un agregado limpio, no se considera que esto constituya un problema serio. Otros ensayos realizados, tales como la prueba de "Los Angeles" para desgaste, (ASTM C 131), inalterabilidad (ASTM C 88), ver Tabla A-2, y gravedad específica, indican que los materiales son completamente satisfactorios. Los análisis petrográficos (ASTM C 295) combinados con los ensayos químicos para reactividad alcalina (ASTM C 289) son incompletos. Sin embargo, no se espera ninguna reactividad alcalina nociva.

Los resultados de los ensayos de arenas para agregado fino, se muestran en la Tabla A-3, e indican que este material es aceptable, siempre que se eliminen las materias nocivas. Los análisis petrográficos y químicos, no indican reactividad alcalina dañina. Será necesaria una considerable labor de lavado, cribado y mezcla de las arenas, ya que, tal como se ve en la Figura 45, el porcentaje de materiales que pasa el tamiz No. 200 se acerca a un 25%. Además, el ensayo de colorimetría para impurezas orgánicas (ASTM C 40) mostró coloraciones más oscuras del standard en dos de cada tres muestras. Los ensayos para materiales livianos (ASTM C 123) y grumos de arcilla (ASTM C 142), no se alcanzaron a completar a tiempo para incluirlos en este informe. Los ensayos de inalterabilidad al sulfato de sodio, (ASTM C 88), indican una pérdida de peso más alta de lo usualmente especificado, pero esto no se considera un problema serio para el agregado fino, debido al clima suave de la zona del proyecto.

Los estudios de diseño no se han adelantado hasta el punto de definir especificaciones para los límites granulométricos de los agregados gruesos y finos. Sin embargo, se ensayaron materiales de tamaños determinados, asumiendo para el agregado grueso máximos de  $1\frac{1}{2}$ " y de 3", y gradación normal para el agregado fino. Este estudio indica que hay cantidades suficientes disponibles en todos los tamaños.

Se está dando actualmente consideración al ensayo de barras de mortero para reacción alcalina potencial, con muestras de agregados tanto gruesos como finos.

Hasta el presente, la experiencia indica que es difícil que el cemento local cumpla con las especificaciones standard de la ASTM. Por esta razón, se ha dado especial atención a los ensayos y a las informaciones sobre posibles fuentes de suministro de cemento. Los resultados de las pruebas de laboratorio de los fabricantes, así como los ensayos durante la construcción de Calima I han estado disponibles, pero se inició además un programa de pruebas específicamente para el proyecto de Salvajina, con el objeto de evaluar plenamente la calidad de este cemento para la construcción de concreto, tal como se describe en seguida.

Para los ensayos se tomaron muestras de entregas hechas a la CVC para un proyecto en construcción. Puesto que el cemento se entregaba tanto en sacos como a granel, se seleccionaron las muestras en las dos formas que se consideraron representativas de calidades entre medianas y malas. El resultado de los análisis químicos (ASTM C 114), tal como se muestra en la Tabla A-4, y los ensayos físicos realizados para el proyecto de Calima I, indican que este cemento es probablemente del tipo IV. Los resultados de expansión al autoclave (ASTM C 151) de cada una de estas muestras se incluyen también. Actualmente se están adelantando ensayos adicionales de resistencia potencial al sulfato (ASTM C 452) y de reactividad alcalina (ASTM C 227).

Respecto al comportamiento esperado de este cemento, cabe formular las siguientes conclusiones:

- (a) El contenido de álcali es muy bajo.
- (b) Debido al bajo contenido de aluminato tricálcico, el cemento debería tener una alta resistencia al ataque del sulfato.
- (c) Cabe esperar una resistencia inicial baja, por causa del contenido bajo de silicato tricálcico.
- (d) También puede contribuir al lento aumento de resistencia, la poca finura del cemento.
- (e) El cemento tendrá bajo calor de hidratación y resulta apropiado para concreto masivo.
- (f) El uso de pozzolanas probablemente retardaría aún más el desarrollo de resistencia temprana.

La característica del cemento de lenta resistencia inicial, no ha causado perjuicios para otras construcciones. Por consiguiente, como el cemento en otros aspectos tiene propiedades adecuadas, es aceptable para las estructuras de concreto del proyecto múltiple de Salvajina.

## A2-3.64 Agua

Muestras del agua del río y de aguas subterráneas, tomadas en sitios escogidos de la zona de la presa, se usaron para determinar la concentración de sulfatos y su posible efecto sobre el concreto. Los resultados que se muestran en la Tabla A-5, indican que el ataque de los sulfatos en las estructuras será despreciable.

### A2-4 FUTURAS EXPLORACIONES Y ENSAYOS DE MATERIALES PARA LA PRESA DE SALVAJINA

#### A2-4.1 Sitio de la Presa

El programa actual de exploraciones en Salvajina que comprende 42 taladros con broca de diamante (2250 m), 33 perforaciones de barreno Calweld, un túnel de exploración, 15 apiques y numerosas trincheras a bulldozer (ver Figura 35), está programado para terminación en Febrero de 1965. El programa de exploraciones posterior a esta fecha, se planeará de manera de obtener datos suficientes para el diseño detallado final de todas las estructuras conexas. Ello conducirá a establecer la localización detallada del rebosadero, casa de máquinas, túneles y demás estructuras, y encauzará la obtención de mayor información para la presa en lo que respecta a profundidad de la excavación y carácter de los materiales en la zanja para el núcleo, fundación del relleno permeable y canal del río.

Se prevé que el futuro programa consistirá en una malla de perforaciones con diamante, de poca profundidad, en los estribos, y huecos más profundos en el canal del río y la zanja del núcleo. Se planea también trincheras adicionales con bulldozer, perforaciones con el barreno Calweld y cuatro túneles de exploración. Los dos túneles superiores de exploración, uno en cada estribo, se localizarán de tal manera que puedan utilizarse como parte de las obras para inyecciones y drenaje de la presa, y para facilitar la obtención de datos más precisos sobre las condiciones del suelo, deducidas de la perforación con broca de diamante. A nivel más bajo, los dos túneles, servirán para obtener la información necesaria para el tratamiento adecuado de las fundaciones de la zona de contacto del núcleo. Se prevé que serán necesarios alrededor de 30 taladros adicionales con broca de diamante (1250 m) y 20 perforaciones del barreno Calweld para poder terminar el diseño. Podrían usarse además métodos de refracción sísmica en correlación con las perforaciones de broca de diamante, para la determinación de las profundidades del lecho de roca en las zonas de capote.

Para el futuro se ha planeado un programa de ensayos, que permita determinar in situ las propiedades de los materiales de fundación para la presa y estructuras conexas. Ensayos del suelo con placa de asiento, se harán en los socavones de exploración, para determinar el módulo de deformación de roca, necesario para el diseño del

revestimiento de los túneles. Además, se determinará el módulo de Young y la resistencia a la compresión no confinada, por medio de ensayos de laboratorio sobre un cierto número de muestras, tanto de la arenisca cuarzosa como de la lutita. Sobre muestras escogidas en la vecindad del rebosadero, bocatomas de carga y casa de máquinas, se harán ensayos de corte directo y de compresión no confinada o ensayos triaxiales, para valorar la capacidad portante y la resistencia al corte de la roca fracturada, para efecto del diseño final de estas estructuras. Se obtendrán muestras inalteradas de perforaciones en el sitio de las grandes excavaciones, cerca de los talones de la presa, y encima del canal del rebosadero, para permitir la determinación, en el laboratorio o in situ, de las resistencias al corte, con el fin de determinar con seguridad los taludes de las excavaciones.

Más adelante se discuten los ensayos de laboratorio sobre muestras alteradas de las fuentes potenciales de materiales para la construcción de la presa, extraídos de las excavaciones que deberán ejecutarse en el sitio de la misma.

#### A2-4.2 Zonas de Préstamo

Las exploraciones en proceso de la zona de préstamo A, (cantera), consisten en unas diez trincheras de bulldozer, que permitirán definir plenamente la zona de descomposición superficial. Este programa deberá terminarse a principios de 1965. Las exploraciones futuras, comprenderán unas cinco perforaciones con broca de diamante y una voladura de prueba.

Se harán ensayos de compresión no confinada y análisis petrográficos de los núcleos de roca. La voladura de prueba, proveerá datos sobre el tamaño del material que se espera obtener de la cantera. Se tomarán muestras de la diorita cuarzosa descompuesta (Zona 2), de las trincheras abiertas con bulldozer, y se hará una serie completa de ensayos primarios, tales como permeabilidad, consolidación y corte triaxial. Se está considerando la realización de ensayos a gran escala, sobre muestras de roca de la voladura de prueba, consistentes en compactación a alta presión, corte triaxial y consolidación.

Las exploraciones futuras en la zona de préstamo B, para material impermeable, (al frente de Suárez), consistirán de 25 perforaciones adicionales con el barrenador Calweld y se harán los ensayos primarios y secundarios de las muestras obtenidas, para suplementar el programa actual.

Se propone igualmente ejecutar exploraciones futuras para los desechos de dragado (zonas de préstamo D y E). Las de la Zona D incluirán cinco huecos con pala de arrastre y varias perforaciones del Calweld, para permitir el muestreo de las áreas profundas. Las exploraciones suplementarias en la Zona E, se limitarán a 6 huecos con pala de arrastre. Las densidades in situ, se determinarán para las gravas

gruesas y los ensayos de laboratorio de los materiales de las dos zonas de préstamo, servirán para confirmar los ensayos previos, con atención especial por el aspecto de los agregados para concreto. Además, se realizarán ensayos a gran escala de compactación, corte triaxial, consolidación y permeabilidad sobre los desechos gruesos y los materiales elaborados de transición.

Se proponen algunas perforaciones adicionales con el barreno Calweld, en la localización del rebosadero, que permitan hacer pruebas adicionales primarias y secundarias de la lutita descompuesta, que se usará en la Zona 1 del terraplén y también, ensayos de compactación y consolidación, a gran escala, sobre muestras alteradas de la lutita ligeramente descompuesta hasta sana, que se compactará para formar la fundación del patio de conexiones. Las muestras alteradas se obtendrán de perforaciones con broca de diamante, (o con el Calweld), en el sitio de los grandes depósitos de material lavado del estribo izquierdo, aguas arriba de la presa. Los ensayos primarios y secundarios se realizarán para permitir la evaluación del material lavado, para su uso en el núcleo de la primera etapa de la presa, (Zona 1A).

## PARTE III - PRESA DE TIMBA

### MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS Y DESVIACION DEL RIO OVEJAS

#### A3-1 PRESA DE TIMBA

##### A3-1.1 Geología

El valle del río Cauca, en las vecindades del sitio de la presa de Timba, está cubierto por arenas y gravas aluviales recientes, con espesores entre 5 y 8 m. En otros lugares, muy próximos al sitio, se encuentran varios estratos de la Formación Popayán (ver Figura 33). Debajo del aluvión del valle, existe un conglomerado formado por abanicos antiguos y depósitos que se han endurecido en grado moderado. Este conglomerado, sobre el cual se fundará el núcleo de la presa, se extiende por debajo de los estribos y constituye la fundación para la estructura de salida y para el rebosadero. Sobre el conglomerado en ambos estribos, en las colinas circundantes y también sobre la formación Popayán, aparece una mezcla rojiza de arcilla limosa y arcilla arenosa y pedruscos, que contiene material volcánico redepositado. Este material tiene propiedades similares a las cenizas volcánicas de la formación Popayán, que se encontró en el sitio de Salvajina, como antes se describió

Una discusión más detallada de la geología del sitio de la presa de Timba, aparece en el informe de factibilidad de 1958 para este proyecto. Debe notarse, sin embargo, que mientras el informe de 1958 considera el material limoso de arena arcilla rojiza, que cubre los estribos, como un conglomerado intensamente descompuesto, la interpretación actual es la de que, aun cuando este suelo es el resultado de la completa descomposición de una roca conglomerada de la misma formación Popayán, es completamente distinta del conglomerado subyacente.

##### A3-1.2 Exploración y Ensayo de Materiales

###### A3-1.21 Programa de 1957

El programa inicial de exploraciones para la presa de Timba, cuyos resultados y ensayos correspondientes aparecen en el informe de factibilidad de 1958, quedó terminado desde 1957, habiendo abarcado siete perforaciones (ejecutadas por lavado y corte, ya que no fue practicable la toma de núcleos), siete apiques, barrenos a mano y zanjas. Se hicieron ensayos de campo de permeabilidad, del tipo de carga descendente, utilizando huecos revestidos perforados en el conglomerado de fundación y en las cenizas volcánicas de la formación Popayán. Se practicó además un ensayo de carga constante sobre una de las perforaciones y un ensayo de bombeo en un apique excavado en los aluviones del valle.



Sobre numerosas muestras de estas exploraciones se hicieron ensayos de laboratorio, habiéndose efectuado las pruebas primarias, (de clasificación), sobre todas las muestras alteradas e inalteradas. De las cenizas volcánicas de la formación Popayán se hicieron análisis petrográficos, termales diferenciales y de rayos X, todos ellos efectuados en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT); así se estableció que la fracción arcillosa era kaolinita (más específicamente halloysita), en acuerdo con los ensayos realizados para materiales similares en el sitio de Salvajina. Sobre muestras inalteradas de las cenizas volcánicas de la formación Popayán, se hicieron ensayos de consolidación, resistencia al corte triaxial, permeabilidad y resistencia a la compresión no confinada; los ensayos de compactación y permeabilidad se hicieron sobre muestras alteradas del mismo material, para valorar su utilidad como fuente de material impermeable del núcleo. Del conglomerado verde más duro, se tomaron muestras prismáticas inalteradas, cortadas a mano, y se determinó su resistencia a la compresión no confinada. Los ensayos de compactación y permeabilidad se hicieron también para los desechos de dragado de aluvión, que existen en abundancia cerca al sitio de la presa, y que representan una fuente excelente de material para la zona permeable del terraplén.

Aun cuando no se realizaron ensayos sobre los materiales para las zonas de transición entre el núcleo y el relleno permeable, el informe de 1958 asume que este material se obtendría por la mezcla de los desechos de dragado y la arena que se encuentra abajo, en una forma similar a la propuesta para las zonas de transición de Salvajina. La roca para el rompeolas o escollera, se asume que se obtendría de una cantera de roca ígnea (diabasa), situada a unos 12 km del sitio de la presa, a lo largo del actual camino, que va por la margen izquierda del río Timba.

#### A3-1.22 Programa de 1962

En Febrero de 1962 se inició y continuó por todo el año, un programa de exploraciones de campo y ensayos de laboratorio. Este trabajo se realizó previendo la pronta construcción del proyecto de Timba, y tenía como objetivo completar los trabajos de exploración que suplementando el programa anterior, permitieran la preparación de los documentos de contrato, para proceder sin demora. Puesto que hacia fines de 1962 el proyecto de Timba, tal como se consideraba entonces, fue pospuesto por tiempo indefinido, el programa de exploraciones y ensayos quedó sin terminar. Sin embargo, una cantidad considerable del trabajo, cuyos resultados están consignados en un informe interno de la CVC sobre la materia, (Referencia 16), fue realizado.

Este programa comprendía originalmente un total de 67 perforaciones en el sitio de la presa, 16 de las cuales y tres apiques, quedaron completos. En todas las perforaciones hechas sobre el eje de la presa, se hicieron los ensayos de campo de permeabilidad con carga variable, (niveles de agua ascendentes y descendentes) y con carga constante, (bajo presión de aire), para determinar la permeabilidad del conglomerado de fundación, encontrándose la cifra de  $5 \times 10^{-4}$  cm/s como valor promedio.

Los ensayos de laboratorio se hicieron tanto sobre las muestras alteradas como inalteradas, obtenidas de estas exploraciones. Asimismo, la mayor parte de los ensayos primarios normales, fueron hechos sobre todas las muestras. Para los materiales volcánicos de la formación Popayán, del estribo izquierdo, se hicieron los ensayos de corte triaxial, consolidación, compresión no confinada y permeabilidad, utilizando muestras inalteradas. El ensayo triaxial del tipo consolidado, sin drenaje, arrojó para los parámetros efectivos de resistencia al corte,  $\phi = 30^\circ$  y  $C = 0,2$  kg/cm<sup>2</sup> para presiones de consolidación de 0 a 7 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a la compresión no confinada varió de 0,91 a 6,06 kg/cm<sup>2</sup>. Los valores de la permeabilidad, variaron entre  $2,70 \times 10^{-5}$  a  $1,5 \times 10^{-4}$  cm/s.

De los materiales volcánicos de la formación Popayán, se hicieron además ensayos de corte triaxial, consolidación y permeabilidad sobre muestras recompactadas, para establecer su adaptabilidad como material impermeable para el núcleo. Para la compactación Proctor Standard, resultó una densidad seca máxima de 90,5 lbs/pie<sup>3</sup> y un contenido óptimo de humedad de 29,5%. Los ensayos triaxiales de muestras consolidadas sin drenaje, determinaron parámetros efectivos de resistencia al corte de  $\phi = 33,2^\circ$  y  $C = 0,1$  kg/cm<sup>2</sup> para presiones de consolidación de 0 a 9,0 kg/cm<sup>2</sup>. La permeabilidad vertical resultó ser de  $3 \times 10^{-6}$  cm/s, y la horizontal de  $4 \times 10^{-7}$  cm/s.

Para el conglomerado verde, se hicieron ensayos de corte directo sobre un cierto número de muestras prismáticas inalteradas, extraídas a mano, que se tomaron a diferentes profundidades en el apique No. 100. Los resultados indicaron para este material, que servirá de fundación para el rebosadero y estructura de salida, una resistencia promedio al corte de  $\phi = 38,7^\circ$  y  $C = 4,92$  kg/cm<sup>2</sup>. Con el objeto de establecer el módulo de deformación del conglomerado reciente, se hicieron tres ensayos de compresión con placa de asiento, utilizando gatos dispuestos horizontalmente, a diferentes profundidades, en el Apique No. 100. Para establecer la capacidad portante del suelo, que permita hacer el diseño de las estructuras, se requerirá efectuar ensayos adicionales.

Estas últimas investigaciones no incluyeron ni exploraciones ni ensayos de los desechos de dragado vecinos, que serán la fuente del material permeable y de transición para la presa.

Fuera de los programas descritos, ninguna nueva exploración ni ensayo de materiales se ha adelantado en el sitio de Timba. Sin embargo, tal como más adelante se discute, para el futuro se planean investigaciones adicionales.

### A3-1.3 Consideraciones de Ingeniería

Los programas de exploraciones y ensayos de materiales que hasta ahora se han realizado en el sitio de Timba, están basados en la disposición del proyecto propuesta en el informe de 1958, que prevé una presa de 40 m de altura sobre el lecho del río, conjuntamente con un rebosadero y estructura de salida, e instalaciones de generación de energía. Aun cuando el proyecto de Timba, ahora contemplado como parte del proyecto de Salvajina, prevé una presa de la mitad de la altura de la anterior, conserva en líneas generales la disposición física del proyecto del informe de 1958. Por esta razón no se repite aquí la discusión detallada de los aspectos de ingeniería de las fundaciones o de los ensayos de materiales relacionados, salvo para los aspectos que se apartan en grado apreciable de la disposición del primer proyecto.

El tratamiento de los dos angostos caballetes que forman los estribos de la presa, sigue en general el mismo plan adoptado para la presa más alta (ver Figura 29). Los flancos del lado del embalse de ambos estribos, en general serán cubiertos con una capa filtrante de gravas, protegida de la acción de las olas mediante un empedrado. El filtro tiene por objeto, evitar el asentamiento del terreno volcánico "Popayán", de baja densidad, que forma estos taludes, después de su saturación y descenso rápido del embalse. La formación similar "Popayán" de los taludes de aguas abajo, está protegida contra socavación, en análoga manera.

El rebosadero y la estructura de salida, están ahora localizados en el conglomerado sano, de modo que no será difícil encontrarles fundación adecuada. Los taludes para las excavaciones permanentes del rebosadero, en los suelos volcánicos "Popayán", se asumen de 1-3/4 a 1, entre bermas de 5 m de ancho, con intervalos verticales de 15 m. Estos taludes quedan sujetos a revisión con base en el análisis de estabilidad, basado en las propiedades del material in situ, que habrá de efectuarse.

La presa de Timba que ahora se planea, es una estructura realmente muy baja, de sólo 22 m de altura sobre el lecho del río. Además el nivel de aguas del embalse se mantendrá la mayor parte del tiempo a un nivel mínimo, representando únicamente 11 m de cabeza, actuando sobre el terraplén. Así pues, las magnitudes de las estructuras que ahora se proponen, son considerablemente menores que las primitivamente proyectadas. Con tal que se dé la debida atención a la protección de los estribos, no se contemplan condiciones geológicas adversas que impidan la construcción de una estructura segura en ese sitio. Además, se tiene la ventaja de disponerse en las cercanías de excelentes materiales para la construcción del terraplén y el de encontrarse una fundación adecuada a muy poca profundidad.

#### A3-1.4 Programa Futuro

Los programas anteriores de investigación se consideran de suficiente alcance como para proveer la información apropiada para el diseño y la preparación de planos de licitación para el proyecto actual. Sin embargo, con el fin de completar el diseño detallado final, ciertos aspectos de las exploraciones y de los ensayos de materiales, requieren ampliación.

Se planea así un cierto número de perforaciones con el barreno Calweld en los dos estribos y en las zonas de préstamo del material impermeable siguiendo la prolongación del estribo izquierdo. El objetivo de estas perforaciones es el de determinar la superficie del conglomerado subyacente y obtener muestras inalteradas adicionales de los suelos volcánicos "Popayán", particularmente en el estribo derecho que hasta ahora no ha sido explorado. Los parámetros de resistencia in situ, obtenidos de los ensayos de las muestras inalteradas, permitirán el análisis de la estabilidad de los taludes y de los dos estribos. Muestras alteradas de estas perforaciones, se someterán a ensayos primarios y secundarios, para efecto de suplementar los ensayos previos de este material, como posible fuente de préstamo para el núcleo impermeable.

Se planean adicionalmente nuevos apiques y barrenos Calweld en la localización del rebosadero. Estos determinarán la profundidad y naturaleza del conglomerado de fundación y permitirán hacer ensayos adicionales con placa de asiento. Además, podrán obtenerse muestras inalteradas cortadas a mano, para los futuros ensayos de laboratorio relacionados con el esfuerzo cortante directo y la resistencia a la compresión no confinada.

Se planea hacer un cierto número de huecos con pala de arrastre en los desechos de dragado, que permitan efectuar la toma de muestras y consiguientes pruebas de este material, que se espera sea muy similar al ya explorado y ensayado a corta distancia aguas arriba para la construcción de la presa de Salvajina. Los ensayos de este material y el de la zona de transición, seguirán la misma pauta prescrita para el del terraplén de Salvajina. Para permitir la toma de muestras de las gravas y arenas que quedarán debajo de las zonas permeables de la presa, se planea efectuar excavaciones con pala de arrastre. Los ensayos secundarios de este material serán de la misma naturaleza de los propuestos para las zonas de préstamo adyacentes. Estos pozos facilitarán también la inspección visual y la obtención de muestras inalteradas cortadas a mano, para ensayos triaxiales del conglomerado inferior, en el cual estará fundado el núcleo de la presa, siempre que la zona de los pozos pueda desaguar satisfactoriamente. Estas excavaciones facilitarán también la determinación de la permeabilidad de la fundación, mediante un tubo vertical colocado en la excavación.

Probablemente se requerirán varias perforaciones con broca de diamante para la cantera del material para empedrado, considerándose además la posibilidad de una voladura de prueba.

En cuanto al concreto, muy probablemente será suministrado desde la central de mezclas de Salvajina. Sin embargo, se harán ensayos de clasificación de los desechos de dragado de Timba, de modo que pueda evaluarse su adaptabilidad como agregados para concreto, en comparación con los aluviones en la zona de préstamo D.

### A3-2 MEJORAMIENTO DE LOS TRIBUTARIOS DEL CAUCA

Las mejoras de los tributarios del río Cauca, incluyen una serie de estaciones de bombeo, localizadas a lo largo del río Cauca, desde Robles hasta Bugalagrande, conjuntamente con canales de avenamiento excavados y que descargan a través de las estaciones de bombeo, en el río Cauca, además de jarillones que se construirán a lo largo de los tributarios principales de dicho río en esta región. En la Figura 30, se muestra la localización de estas obras. Las exploraciones y ensayos de materiales, sólo se contemplan en relación con las fundaciones de las estaciones de bombeo, ya que los jarillones y canales previstos no son del tamaño suficiente como para requerir un programa completo de exploraciones y ensayo de materiales.

Las estaciones de bombeo están localizadas todas sobre aluviones profundos de la formación Valle. La solución práctica para sus fundaciones es la de zapatas amplias o de placas continuas. Otras estaciones de bombeo han sido ya construidas de esta manera en zonas próximas. Las exploraciones propuestas para estas estructuras, comprenden en cada sitio, perforaciones de poca profundidad con el barrenado Calweld, de las cuales podrán obtenerse muestras inalteradas. Para permitir un diseño racional de las fundaciones, se planean como ensayos de laboratorio, pruebas primarias de corte triaxial, compresión no confinada y consolidación.

### A3-3 DESVIACION DEL RIO OVEJAS

#### A3-3.1 Geología

Hasta ahora no se han levantado mapas detallados, ni se han adelantado exploraciones de campo del eje del túnel de desviación del río Ovejas, ni de sus portales. La Figura 31 muestra la localización propuesta para estas obras. De inspecciones en el terreno e informaciones de los mapas disponibles de la región, los cuales aparentemente no son muy precisos, se estima que el túnel habrá de atravesar rocas sedimentarias de la formación Cauca, compuestas de lutitas, arenisca, cuarzita y ocasionales vetas de carbón (ver Figura 33). Sin embargo, existe la posibilidad de que los estratos de la formación Popayán, que está encima, puedan también encontrarse en los sitios en

que el túnel tiene poca profundidad. La preparación de un mapa geológico de los materiales a través de los cuales se perforará el túnel, resulta muy difícil ya que la mayor parte de la roca está cubierta por varios centenares de metros de sedimentos. Perforaciones en las partes en que el túnel está próximo a la superficie del terreno y en los portales, permitirán obtener una interpretación más exacta de la geología del subsuelo que se persigue.

La zona de la entrada del túnel está localizada aproximadamente a la elevación 1230 sobre el río Ovejas. La naturaleza de los afloramientos de roca, visibles sobre el talud, no se conoce; sin embargo, a juzgar por los detritus depositados cerca al río, se cree que el portal en este sitio quedará sobre una roca ígnea, que aparentemente es una masa intrusiva, posiblemente laminar. No ha sido dado establecer qué parte del túnel se desarrollará a través de esta roca. La acumulación de detritus, debe ser de unos 12 m de espesor en la parte inferior del talud. Una vez removido el capote, podrá construirse el portal contra un talud muy inclinado, que habrá de requerir muy poca excavación.

El portal de salida propuesto, que desemboca al embalse de Salvajina, está localizado cerca a la quebrada Don Martín, a la elevación 1150 aproximadamente. En este tramo del río, lechos alternados de arenisca y de lutitas afloran claramente. Los lechos tienen un rumbo N 5° a 30° E y el abuzamiento es de 50° a 75° N. Tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo, el abuzamiento de los lechos es muy variable, siendo posible que existan pliegues compactos en la zona de sedimento, en general. Tres grandes conjuntos de fracturas son visibles, así como numerosos planos de exfoliación orientados al azar. El portal deberá establecerse a poca altura del lecho del río, sobre el cual se observa una acumulación de material lavado y de capote en toda esta zona. No obstante, se estima que no habrá dificultad para la construcción de un portal en este sitio.

### A3-3.2 Consideraciones de Ingeniería

Para efecto de estudios preliminares, se considera que para las excavaciones en el portal de salida, bastarán taludes de 1-1/2 a 1 para el terreno lavado y el capote que se supone de unos 10 m de profundidad. Los taludes en la roca podrán ser de 1 a 1, dada la orientación de las fracturas, pudiendo ser más pendientes donde la roca sea sana y la estabilización y la índole de las fracturas menos desfavorable.

El túnel propuesto tiene un diámetro interior variable entre 2,8 a 3,1 m. Se considera que una porción considerable podrá excavarse sin soportes y podrá quedar sin revestir durante la operación. Sin embargo, debido a la poca información geológica, para el propósito de los estudios preliminares de factibilidad, se decidió asumir que el túnel será totalmente revestido, en espera que investigaciones

posteriores den como resultado que el túnel pueda dejarse sin revestir en casi toda su longitud. Es posible sí, que pequeñas fallas y roca excepcionalmente fracturada se encuentren en algunos tramos. Por consiguiente al estimar el costo se ha contemplado el empleo de soportes de acero de peso medio a intervalos de 1,50 m, para aproximadamente el 30% de la longitud del túnel. Los estudios geológicos posteriores y exploraciones, permitirán hacer un presupuesto más racional.

Debe darse consideración a la colocación de pernos para la parte del arco del túnel, en todas aquellas zonas que no lleven soportes de acero. Es posible que esta provisión en el diseño, pueda reducir sustancialmente el número de soportes de acero, que de otra manera serían necesarios. La instalación de los pernos, por otra parte, reduce el peligro de la caída de rocas y el desprendimiento de sedimentos durante la operación, si al cabo se adopta un túnel parcialmente revestido. Se considera que bastarán pernos de 1,50 m de largo, con anclajes de expansión, a razón de un perno por metro cuadrado. Para asegurar su efecto permanente, deberán inyectarse con lechada.

Es posible que algunas de las zonas de lutita dentro del túnel, que queden sin revestimiento, puedan desconcharse. Aun cuando esta roca no requiera soportes, podrá necesitar recubrimiento protector o revestimiento, para efecto de evitar los desprendimientos. En este caso, podrá ser deseable prever el uso de revestimiento de gunita en estas zonas. Una capa de gunita de espesor nominal, será adecuada para resistir la erosión del agua que fluya por el túnel. Para prevenir presiones externas que podrían quebrantar el revestimiento, será necesario dejar a cortas distancias, huecos que atraviesen la capa de gunita.

De decidirse más tarde el dejar el túnel sin revestimiento, deberá preverse el lavado a presión de las paredes y piso, para localizar las vetas flojas y zonas de cizalle, en donde la erosión actuaría debilitando la roca adyacente, dando lugar a posibles grandes desprendimientos de rocas. Donde se encuentren dichas zonas, deberá tratarse de recalzar las vetas con concreto, reforzar la roca por los medios que sean necesarios y revestirlas con gunita. El problema de pavimentar o no el piso de un túnel no revestido, es una cuestión de economía y de preferencias. Con un piso pavimentado, el acceso al túnel en los períodos en que no está operando, es mucho más fácil. De tomarse las debidas precauciones durante la construcción, tal como se sugirieron para los tramos sin revestir, la inspección, reparación y limpieza del túnel sólo será necesaria a intervalos poco frecuentes. Por lo tanto, no se justifica la pavimentación del piso.

Parece que lo deseable será acometer la excavación desde el lado del embalse, por una boca o por varias, de ser posible establecer accesos. Puesto que la zona que atravesará el túnel está cubierta por una gruesa capa de sedimentos recientes que contienen agua, cabe esperar mucha humedad con caudales de infiltración de varios pies cúbicos

por segundo. Actualmente se anticipa la posibilidad de encontrar bolsillos de gas y por tanto un contratista deberá estar preparado para hacerle frente a esta eventualidad, disponiendo la ventilación apropiada y medidas precautelativas en estas zonas.

### A3-3.3 Programa Futuro

Ningún trabajo de exploración del túnel de desviación del río Ovejas ni de su estructura de captación se ha hecho hasta ahora. Unicamente se efectuaron breves reconocimientos del portal de toma, de la entrada de la quebrada Pescador y del portal de salida. La falta de vías de acceso al sitio, hace que las exploraciones de campo y el levantamiento de mapas geológicos, resulten difíciles.

Las investigaciones futuras deben orientarse hacia la obtención de un mapa geológico detallado del eje del túnel. En los portales deben hacerse perforaciones con broca de diamante hasta el piso del túnel, al igual que en la entrada del río Pescador, y por lo menos en algún otro sitio, donde el túnel no se encuentre muy profundo, hacia la mitad de su longitud. Probablemente para las bocatomas, tanto del río Ovejas como del Pescador, se requerirá hacer un programa que comprenda varias perforaciones.

Además, deberá hacerse un reconocimiento de campo de las fuentes potenciales de materiales de construcción para las estructuras, una vez que la naturaleza de éstas esté debidamente establecida. Por ahora, se asume que se usará concreto de la central de mezclas o bien agregados de los desechos de dragado entre Suárez y Asnazú. Sin embargo, podría resultar económico explotar una fuente de agregados cerca al sitio, de encontrarse material adecuado a distancia conveniente.



TABLA A-1

## ENSAYOS MINERALOGICOS DE ARCILLAS

| <u>Material</u>   | <u>Localización</u>                         | <u>Constituyentes Minerales</u>    |                           |                      |
|---|---|------------------------------------|---------------------------|----------------------|
|   |   | Fracción aproximada del peso total |                           |                      |
|   |   | Halloysita                         | Oxido de Hierro Hidratado | Cuarzo libre         |
| Sitio de la presa -<br>Materiales de la<br>formación Popayán,<br>contenidos dentro<br>de suelos lavados | T-6<br>4,9 a 6,55 m<br><br>TP-78<br>6,00 m  | 2/3 a 3/4<br><br>1/3 a 1/2         | 1/6<br><br>1/20           | 1/6<br><br>1/2       |
| Sitio de la presa -<br>Suelos lavados   | T-6<br>6,55 a 8,60 m<br><br>TP-70<br>1,20 m | 1/2 +<br><br>1/2 a 2/3             | 1/6<br><br>1/6 a 1/4      | 1/6<br><br>1/4 a 1/3 |
| Zona de Préstamo C -<br>Formación Popayán   | TP-62<br>3,7 a 4,8 m                        | 2/3 +                              | nada                      | 1/20                 |

TABLA A-2

ENSAYOS DE AGREGADOS GRUESOS

1. Ensayos para partículas livianas contenidas en el agregado-ASTM C 123

| <u>Muestra</u>     | <u>% de partículas livianas</u> |
|--------------------|---------------------------------|
| TP(DL)-2 ; B-1 y 3 | 1,70                            |
| TP(DL)-4 ; B-1 y 2 | 1,86                            |
| TP(DL)-6 ; B-1 y 3 | 0,67                            |

2. Ensayos para grumos de arcilla contenidos en el agregado natural-ASTM C 142

| <u>Muestra</u> | <u>Escala de tamaños</u> | <u>% de grumos de arcilla</u> |
|----------------|--------------------------|-------------------------------|
| TP(DL)-2 ; B-1 | 3/4" a 1 1/2"            | 0,21                          |
| TP(DL)-2 ; B-3 | 3/8" a 3/4"              | 0,64                          |
| TP(DL)-2 ; B-3 | #4 a 3/8"                | 1,88                          |
| TP(DL)-4 ; B-1 | 3/4" a 1 1/2"            | 0,23                          |
| TP(DL)-4 ; B-2 | 3/8" a 3/4"              | 0,75                          |
| TP(DL)-4 ; B-2 | #4 a 3/8"                | 1,04                          |
| TP(DL)-6 ; B-1 | 3/4" a 1 1/2"            | 0,28                          |
| TP(DL)-6 ; B-3 | 3/8" a 3/4"              | 0,54                          |
| TP(DL)-6 ; B-3 | #4 a 3/8"                | 1,32                          |

3. Ensayos de inalterabilidad de los agregados, mediante sulfato de sodio-ASTM C 88

| <u>Muestra</u> | <u>% pérdida de peso</u> | <u> Ciclos</u> |
|----------------|--------------------------|----------------|
| TP(DL)-1 ; B-1 | 8,2                      |                |
| TP(DL)-3 ; B-6 | 8,2                      |                |
| TP(DL)-5 ; B-1 | 10,7                     |                |

4. Ensayos de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de Los Angeles-ASTM C 131

| <u>Muestra</u><br>(Gradación A) | <u>% pérdida de peso</u> |                  |
|---------------------------------|--------------------------|------------------|
|                                 | 100 Revoluciones         | 500 Revoluciones |
| TP(DL)-1                        | 4,1                      | 18,1             |
| TP(DL)-3                        | 4,4                      | 18,8             |
| TP(DL)-5                        | 6,9                      | 26,3             |

TABLA A-3

ENSAYOS DE AGREGADOS FINOS

1. Ensayos de impurezas orgánicas en las arenas para concreto - ASTM C 40

| <u>Muestra</u> | <u>Comparador de color</u><br>(No. 3 - Standard) |
|----------------|--|
| TP(DL)-4 ; B-5 | No. 5  |
| TP(DL)-5 ; B-5 | No. 4  |
| TP(DL)-6 ; B-6 | No. 3  |

2. Ensayos de inalterabilidad de los agregados mediante sulfato de sodio - ASTM C 88

| <u>Muestra</u> | <u>% pérdida de peso para 5 ciclos</u> |
|----------------|--|
| TP(DL)-4 ; B-4 | 10,2                                   |
| TP(DL)-5 ; B-5 | 16,1                                   |
| TP(DL)-6 ; B-6 | 11,8                                   |

3. Ensayos de reactividad potencial de los agregados (Método Químico) - ASTM C 289

| <u>Muestra<sup>x</sup></u> | <u>Concentración de</u><br><u>SiO<sub>2</sub> - Sc</u><br>milimoles/litro | <u>Reducción en</u><br><u>Alcalinidad</u><br>milimoles/litro | <u>Reactividad</u><br><u>Potencial</u><br>Alcali |
|----------------------------|---|--|--|
| TP(DL)-1 hasta 6           | 86,6  | 198,5  | Inocuo   |
| TP(DL)-7 hasta 9           | 65,2  | 229,2  | Inocuo   |
| TP(DL)-10 hasta 28         | 115,9   | 228,5  | Inocuo   |

<sup>x</sup> Materiales seleccionados, representativos de las zonas citadas.

TABLA A-4

## ENSAYOS DE CEMENTO

1. Análisis químico del cemento Portland (incluyendo álcalis totales computados como % de  $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \% \text{K}_2\text{O}$ ) - ASTM C 114.

| <u>Análisis Químico</u>              | <u>Muestra No. 1</u><br>% en peso | <u>Muestra No. 2</u><br>% en peso |
|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| $\text{SiO}_2$                       | 23,73                             | 23,34                             |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$              | 4,76                              | 5,02                              |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$              | 3,66                              | 3,54                              |
| $\text{MgO}$                         | 1,36                              | 1,39                              |
| $\text{SO}_3$                        | 1,37                              | 1,13                              |
| $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$     | 35,00                             | 37,00                             |
| $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$     | 42,00                             | 39,00                             |
| $3\text{CaO} \text{ Al}_2\text{O}_3$ | 6,00                              | 7,00                              |
| Total Alcalis                        | 0,26                              | 0,34                              |
| Pérdida de ignición                  | 1,37                              | 1,56                              |
| Residuo insoluble                    | 0,44                              | 0,47                              |

2. Ensayos de expansión al autoclave para cemento Portland - ASTM C 151

| <u>Muestra</u> | <u>Expansión en autoclave</u><br>% cambio en longitud |
|----------------|---|
| No. 1          | 0,020   |
| No. 2          | 0,060   |

TABLA A-5

## ENSAYOS DEL AGUA DEL RIO Y DEL SUBSUELO

| <u>Localización de la muestra</u>             | <u>Concentración de sulfatos</u><br>(ppm) |
|---|---|
| Río Cauca en la presa de Salvajina            | 22  |
| Quebrada de la Salvajina (cerca a DH-26)      | huellas                                   |
| Quebrada sin nombre (cerca a TP-81)           | 4   |
| Agua subterránea - A(PB)-26, profundidad 15 m | 53  |
| Agua subterránea - TP-81, profundidad 3 m     | 31  |

## APENDICE B

### HIDROLOGIA

#### B-1 FACTORES CLIMATERICOS PRINCIPALES

La región de la CVC está localizada aproximadamente entre los 2° y los 6° de latitud norte y cae dentro de los límites del sistema ecuatorial de circulación. Bajo la influencia de este sistema, fuertes lluvias se presentan usualmente después de los equinoccios de primavera y de otoño, en Abril y Octubre. Esta modalidad es alterada por un sistema de circulación local, originado por el calentamiento del aire que asciende por los flancos de las cordilleras durante el día, y por su posterior descenso al enfriarse durante la noche.

Las variaciones en la altitud y en los aspectos fisiográficos, conjuntamente con la mayor o menor proximidad de las influencias climáticas de la costa del Pacífico, determinan una variedad de climas a través de la región. La zona costera occidental, a elevaciones que varían entre el nivel del mar y los 500 m, se caracteriza por la temperatura ardiente y la elevada humedad y precipitación pluvial. En las cordilleras, las condiciones varían notablemente de un lugar a otro, desde climas muy cálidos al pie de las cordilleras, a climas fríos en los picos altos. El valle del Cauca, a una elevación promedio de 1.000 m sobre el nivel del mar, presenta un clima mucho más agradable que el de la costa. Su temperatura promedio varía de 24° C a 26° C (75° F a 79° F), la humedad relativa es únicamente 60 a 65% y la precipitación pluvial moderada.

Puesto que la hoya del alto Cauca queda en la zona de calmas ecuatoriales, está sujeta únicamente a vientos suaves y los huracanes tropicales son desconocidos. Las olas de frío, tales como las que producen las mayores tempestades en la zona del canal de Panamá, no van más al sur de la latitud 8° N. Las tormentas de lluvia son mucho menos severas que las que se experimentan en zonas fuera de esta latitud. La principal estación lluviosa, que constituye el período crítico para control de avenidas, es de Octubre a Diciembre y a veces se extiende hasta Enero. El período seco más severo, crítico para la generación de energía e irrigación, se extiende de Junio a Septiembre. Las lluvias se caracterizan por fuertes precipitaciones de corta duración sobre zonas limitadas, de manera que las de gran intensidad, muy raramente se presentan en diferentes lugares a la vez.

#### B-2 PRECIPITACION

La precipitación en el valld del río Cauca, se caracteriza en general por dos estaciones lluviosas. Una se extiende de Octubre a Noviembre y la otra en Abril y Mayo, aun cuando algunas veces ocurren variaciones en estos períodos. Esta pauta característica de lluvias,

coincide principalmente con el movimiento de la línea de convergencia de baja presión intertropical de norte a sur en Colombia. Durante su tránsito, el tiempo es nuboso, de fuertes lluvias, baja temperatura y notable humedad. La pauta anterior, bajo la influencia de las condiciones locales de circulación, experimenta alteraciones, las más notables de las cuales ocurren en las zonas costeras, que tienen una precipitación alta durante todo el año con estaciones de lluvias menos marcadas y la parte más alta de la hoya del río Cauca, que únicamente tiene una estación seca, de Junio a Septiembre.

En la Figura 51 se muestra la localización de pluviómetros y de estaciones meteorológicas de la zona de CVC, y en la Tabla B-16, la lista de las estaciones meteorológicas, que están clasificadas así:

- Primer Orden: Contiene instrumentos tanto registradores como no registradores, del siguiente tipo: pluviómetro, termómetro, barómetro, higrómetro, evaporímetro, phyrheliómetro y anemómetro.
- Segundo Orden: Contiene los mismos instrumentos que la estación de primer orden, pero algunos de los instrumentos no son registradores.
- Tercer Orden: Falta alguno de los instrumentos de las estaciones de primer y segundo orden.
- Cuarto Orden: Faltan dos de los instrumentos de dos estaciones de primer y segundo orden.

La estación en Salvajina tiene ahora los siguientes instrumentos: pluviómetros (registrador y no registrador), higrómetro (registrador y no registrador), termómetro y barómetro (registradores), evaporímetro (no registrador), y se clasifica como una estación de cuarto orden.

Los datos de precipitación de las estaciones en Suárez, la Balsa, y la Manuelita, figuran en las Tablas B-18 a B-20.

### B-3 ESCORRENTIA

#### B-3.1 Río Cauca

En la Figura 51 se muestra la localización de las estaciones de aforo de la zona CVC y en la Tabla B-3, aparece la lista de las estaciones. Las áreas de las hoyas del río Cauca se indican en la Tabla B-4. Se hizo un mapa revisado de la cuenca y se recalcularon las áreas de las hoyas arriba de Salvajina y de Timba. Los valores que se han usado en este informe son respectivamente 3830 y 5310 km<sup>2</sup>, que difieren un poco de los valores usados en informes anteriores que eran de 3960 y 5480 km<sup>2</sup>. Las áreas de las hoyas que se ven en la Tabla B-4,

se ajustaron restando de los valores indicados en el "Informe Unificado" la diferencia entre las dos áreas asignadas a Timba, como antes se mencionó.

Los registros de caudales para el río Cauca, disponibles, son:

| Estación    | Período de Registro    |
|-------------|------------------------|
| Suárez      | 1946 hasta el presente |
| Timba       | 1946 hasta el presente |
| Juanchito   | 1934 hasta el presente |
| La Virginia | 1947 hasta el presente |

Como puede verse, el período de registros para la estación de aforos de Juanchito abarca 31 años y en los otros lugares 18 años. Un esfuerzo para correlacionar los caudales de los otros lugares con los de Juanchito y así poder determinar caudales de largo término en las otras localidades, no tuvo éxito, a causa del efecto de embalse que ocurre al inundarse el valle. Además, la precisión de los registros de Juanchito, anteriores a 1946, es dudosa por varias razones. Los registros en el período anterior a 1946, tal como se anotaron inicialmente, fueron destruidos, de manera que fue necesario retabularlos sacando los datos del gráfico. Además, durante un período no se hicieron observaciones y los registros se establecieron por correlación. Además, la mira se perdió y fue reemplazada en varias ocasiones y tampoco se la colocó lo suficientemente baja como para registrar los caudales mínimos.

Los caudales mensuales registrados para las cuatro estaciones, aparecen en las Tablas B-5 a B-8. Un resumen de la información pertinente más importante se inserta a continuación.

| Estación    | Caudal Promedio a Largo Término | Caudal Promedio Anual |       | Caudal Promedio Mensual |       | Caudal Promedio Diario |      |
|-------------|---------------------------------|-----------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|------|
|             | $m^3/s$                         | Max.                  | Min.  | Max.                    | Min.  | Max.                   | Min. |
| Suárez      | 139,2                           | 250,9                 | 91,6  | 220,4                   | 59,7  | 834                    | 27   |
| La Balsa    | 190,6                           | 321,2                 | 130,2 | 292,5                   | 83,2  | 1189                   | 35   |
| Juanchito   | 274,0                           | 483,0                 | 171,0 | 400,1                   | 108,7 | 965                    | 48   |
| La Virginia | 542,0                           | 957,0                 | 314,0 | 774,0                   | 223,0 | 1990                   | 110  |

La columna que indica el máximo promedio diario, es de particular interés, ya que ella muestra que la descarga de pico en la Balsa es aproximadamente  $220 m^3/s$  más alta que en Juanchito, que está localizado unos 42 km aguas abajo y con un área afluente 67% mayor. Esta anomalía aparente se deriva del hecho de que el río Cauca se desborda para un caudal superior a los  $550 m^3/s$  en la Balsa y para los  $650 m^3/s$

en Juanchito. El período de registros para todas las estaciones incluye las dos mayores avenidas, la de 1949-50 y la de 1956, las cuales, sobre la base de la descarga de pico en Juanchito, se estiman de una periodicidad de 1 en 33 y 1 en 8 años respectivamente (ver Figura 16).

Los registros de caudal para el río Cauca, muestran también que los años de 1958 y 1959 son los más secos registrados. Los caudales promedios para estos años del río Cauca en Suárez, fueron de  $94,8 \text{ m}^3/\text{s}$  comparados con un caudal a largo término de  $139,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Un examen de los registros de caudales del río Bogotá muestra dos mayores períodos secos, uno durante 1946-49 y el otro en 1958-59. Sin embargo, basados en el examen de los registros de caudal de las corrientes en todos los sistemas interconectados (CVC-CHEC, Bogotá y Medellín), parece que el período seco ocurrido durante los años de 1958 y 1959, es entre todos el más severo. Estos últimos años fueron usados como período crítico de caudal bajo, para el cálculo de la energía disponible del sistema interconectado, bajo las más severas condiciones hidrológicas. El caudal medio diario registrado para este período para el río Cauca en Suárez, aparece en las Tablas B-14 y B-15. Los hidrogramas de caudal del río Cauca en Suárez para el período registrado, se muestran en la Figura 52.

Los caudales mensuales registrados para el río Timba, un tributario importante del Cauca, justamente arriba de la presa de Timba, se indican en la Tabla B-9.

### B-3.2 Río Ovejas

La propuesta desviación del río Ovejas, consistente en un esquema para derivar los caudales del río Ovejas y de sus tributarios, fue descrita en el Capítulo 7, ilustrándose la disposición general en la Figura 2. Para determinar la factibilidad económica de este proyecto, se intentó determinar los caudales de estos ríos para un lapso de tiempo razonable, que permitiera estimar el caudal a largo plazo que pueda derivarse.

Se dispone de 10 años de registros de una estación sobre el río Mondomo, tributario del Ovejas, muy cerca de la carretera Cali-Popayán, cuyos caudales medios mensuales en este sitio, se indican en la Tabla B-10. Desafortunadamente, esta estación se discontinuó en Febrero de 1964, justamente antes de que la CVC empezara las investigaciones relacionadas con la desviación del río Ovejas. En Mayo de 1964, CVC restableció la estación en la antigua localidad, pero después de cuatro meses de operación, se descubrió que la extracción de arena del lecho del río para la construcción de la carretera, había cambiado tan drásticamente el régimen del cauce, que los registros de estos cuatro meses carecen de utilidad. Un limnómetro adicional, cuyo período de registros ya cubre más o menos un año, fue establecido en el río Ovejas, un poco arriba de la entrada de la desviación propuesta y cerca a la carretera Cali-Popayán. Los caudales promedios mensuales registrados en este sitio, aparecen en la Tabla B-11.



Asimismo, en Mayo de 1964, se estableció un limnógrafo en el río Ovejas, a unos 2 km aguas arriba de la entrada de la desviación propuesta. Los caudales promedios mensuales para este sitio se indican también en la Tabla B-11. Por ese entonces se creyó que sería posible determinar un caudal medio a largo plazo en ese sitio, correlacionando estas observaciones con los registros de diez años de la estación de Mondomo. Desafortunadamente, como antes se explicó, los registros de la estación de Mondomo, subsecuentes a la fecha citada no eran satisfactorios y por consiguiente una correlación directa de caudales entre los dos sitios no fue posible. Además, se examinaron los registros de caudal y lecturas de mira de la planta hidroeléctrica del Ovejas, del sistema CEDELCA, localizada un poco abajo de la toma de la desviación propuesta. Debido a cierta incertidumbre sobre la naturaleza de la estructura de captación de la planta para períodos largos de tiempo, no fue posible utilizar esta información.

Con el objeto de obtener una estimación razonable del caudal disponible para desviar al embalse de Salvajina, se intentó encontrar una correlación entre la escorrentía del río Mondomo, la del río Timba y la de la zona entre Suárez y la Balsa. Se encontró que estas cifras varían en tal forma que no era posible obtener sino una estimación razonable mínima. Por lo tanto, los caudales a largo plazo para la desviación del río Ovejas, se determinaron sobre la base de los caudales a largo plazo del río Cauca en Suárez, y se calcularon proporcionalmente a las respectivas cuencas hidrográficas. El perfil de la curva de descargas usado para el sitio de la desviación se tomó de la del río Cauca en Suárez. Los caudales promedios resultantes a largo plazo, fueron de 14,0 m<sup>3</sup>/s, sin interceptar al río Pescador y de 22,8 m<sup>3</sup>/s incluyendo la captación de éste. Puesto que los túneles que se contemplan en los estudios podrán dar paso a todas las avenidas, salvo las menos frecuentes, se considera que todo el caudal medio a largo plazo es aprovechable.

Se hace necesario continuar la medición de los caudales en todas las estaciones existentes sobre el Ovejas y sus tributarios, a fin de acumular la información que permita en el futuro definir más seguramente la factibilidad de este proyecto.

### B-3.3 Otros Ríos de la Zona CVC

En la Tabla B-12 se muestran los caudales promedios mensuales combinados que arrojan los aforos de los ríos Calima y Bravo, que alimentarán al embalse de Madroñal. En el informe de factibilidad del proyecto de Calima II, (Ref. 17), aparece la discusión detallada de la hidrología de esta zona, con cuya base se determinó la energía hidroeléctrica disponible en los diferentes períodos, en las plantas de Calima I y Calima II. Los datos de los caudales promedios registrados para la planta de Anchicayá, se detallan en la Tabla B-13.

#### B-3.4 Ríos en el Sistema CHEC

Para los estudios de energía hechos en el Capítulo 4, fue necesario establecer la magnitud de los caudales de todas las corrientes que alimentan las plantas hidroeléctricas en el sistema CHEC.

Los registros de caudales para esta zona se obtuvieron del informe titulado "Central Hidroeléctrica de San Francisco", Anteproyecto, Anexos D, E y F de la Central Hidroeléctrica de Caldas Ltda., y que aparecen como caudales promedios mensuales en las Tablas B-28 a 31. La validez de esta información fue posteriormente confirmada por CHEC.

Desafortunadamente estos registros fueron descontinuados en el lapso de 1956 a 1959 y por consiguiente no cubren el período más seco registrado que se usó en los otros sistemas. Asimismo, los registros de lluvias dados en el informe citado, no cubren este período crítico y, por tanto, sólo se pudo establecer para el río Chinchiná una correlación aproximada con el río Cauca en Suárez, permitiendo así calcular los caudales durante el período hidrológico crítico. Aun cuando esto es únicamente una aproximación, puesto que el suministro de energía del sistema CHEC es relativamente pequeño en relación con el sistema interconectado, las inexactitudes resultantes del uso de este método no son significativas. Sin embargo, se anticipa que una correlación entre los caudales de estos ríos y la meteorología de las zonas correspondientes, sea posible de establecer en el futuro.

#### B-4 AVENIDAS

##### B-4.1 Avenidas Registradas

Del estudio de los registros de caudales del río Cauca en Juanchito durante los últimos 31 años, resulta que las dos crecientes máximas ocurrieron en 1950 y 1956, años en los cuales los caudales promedios anuales fueron de 483 y 392 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Los caudales de pico registrados en la Balsa, Suárez y Juanchito, para las máximas avenidas, se indican en la Tabla B-1, siguiendo el orden de la magnitud de los caudales promedios en Juanchito.

TABLA B-1

## CORRELACION ENTRE LOS CAUDALES MAXIMOS Y MEDIOS

## ANUALES DEL RIO CAUCA EN JUANCHITO

| Año   | Caudal Promedio<br>Anual en<br>Juanchito<br>m <sup>3</sup> /s | Pico Registrado<br>en Suárez<br>m <sup>3</sup> /s | Pico Registrado<br>en la Balsa<br>m <sup>3</sup> /s | Pico Registrado<br>en Juanchito<br>m <sup>3</sup> /s |
|-------|---|---|---|--|
| 1960  | 532   | 660   | 637 (Ene)   | 836  |
| 1950  | 483   | 636   | 1189 (Feb)  | 965  |
| 1955  | 392   | 641   | 888 (Dic)   | 819  |
| 1956  | 383   | 835   | 1175 (Ene)  | 875  |
| 1938# | 372   | NR  | NR  | NR   |
| 1943  | 354   | NR  | NR  | 740  |
| 1954  | 341   | 472   | 818 (Nov)   | 870  |
| 1934# | 327   | NR  | NR  | 760  |
| 1935# | 320   | NR  | NR  | 830  |

# - El registro indicado es dudoso.

NR - No hay registros.

Un examen de los registros de caudales muestra que para descargas de 550 m<sup>3</sup>/s en La Balsa y 650 m<sup>3</sup>/s en Juanchito, el río Cauca se desborda entre estos dos sitios, formándose un embalse considerable en el valle. En esta manera, la descarga de pico en la Balsa viene a exceder a la de Juanchito, que tiene una hoya mayor. Por esta razón las descargas de pico en la Balsa dan una representación mejor del hidrograma natural de caudales que las de Juanchito. Para los estudios de control de avenidas, los hidrogramas en Juanchito se modificaron eliminando el efecto del embalse en el valle. En calidad de aproximación, se supuso que el perfil del hidrograma natural corregido de Juanchito, fuera semejante al de la Balsa, y luego se aumentó hasta dar un volumen igual al medido para la misma avenida en Juanchito.

La comparación entre los hidrogramas de los años 1950 y 1956, en Suárez, la Balsa y Juanchito, (ajustados para eliminar el efecto del embalse en el valle), está mostrada en las Figuras 17 y 18 respectivamente. El efecto regulador de los embalses de Salvajina y Timba sobre las avenidas máximas registradas, se indica en la Figura 18.

#### B-4.2 Frecuencia de Avenidas

En la Figura 16, que muestra la periodicidad de los picos de descarga en Suárez, la Balsa y Juanchito, se indican gráficamente los resultados de los análisis efectuados para determinar la frecuencia de las avenidas del río Cauca.

Debido a la influencia del embalse en el valle sobre los hidrogramas de caudales que ocurren de la Balsa para abajo, no es práctico establecer el volumen de las avenidas que ocurren en esta localidad, por referencia con los hidrogramas citados, con excepción de las grandes avenidas estudiadas. Por consiguiente, para poder determinar una relación entre la frecuencia de las avenidas en Suárez, La Balsa y Juanchito y sus volúmenes respectivos, se consideró suficiente usar el caudal promedio anual como el parámetro representativo del volumen de los caudales. Esto se considera como una aproximación razonable, dado el hecho de que la magnitud de la avenida 1949-50 es tal, que está muy por encima de las otras avenidas registradas y tiene una periodicidad poco frecuente. En la Figura 16 se ve la periodicidad para la avenida promedio anual, conjuntamente con el caudal promedio anual en Juanchito, en función del tiempo.

Como se discutió en el Capítulo 5, parece que las características de la avenida de 10 años de periodicidad, caen entre las correspondientes a las avenidas de 1949-50 y 1955-56. Sobre esta base, y también considerando la magnitud del volumen del caudal en cada año para determinar los volúmenes de embalse requeridos para obtener el control de avenidas en el valle, se decidió usar la avenida de 1949-50 en el período que comprende el caudal del pico, (Febrero 1950 - ver Figura 19).

#### B-4.3 Avenidas de Diseño para el Rebosadero

Las áreas de las hoyas hidrográficas para los sitios de Salvajina y Timba son  $3830 \text{ km}^2$  y  $5310 \text{ km}^2$  respectivamente.

En el "Informe Unificado" de 1956, (Referencia 9), se presentó originalmente un estimativo de la avenida de diseño, para el rebosadero de la presa de Timba. En el informe de 1958, Proyecto de Timba (Referencia 11), esta avenida fue reducida, quedando el pico de descarga en  $6.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . El hidrograma resultante tiene una base de 3 días de ancho, y contiene un volumen, incluyendo el caudal de base, de 685 millones de  $\text{m}^3$ . Un informe de Julio de 1962, titulado "Avenida de diseño del río Cauca para el rebosadero de la presa de Timba", (Referencia 15), constituye la base para el hidrograma máximo probable ahora usado para el diseño de los rebosaderos de Timba y Salvajina.

Este informe incluye como apéndice un estudio fechado en Junio de 1962, por V. A. Meyers, meteorólogo consultor, y titulado "Precipitación máxima probable sobre la hoya del Cauca, del sitio de la presa de Timba para arriba". En este estudio meteorológico, la precipitación máxima probable en cinco días para la hoya de Timba, se estimó en 540 mm. Luego se derivó una relación entre el caudal diario de pico y la precipitación antecedente de cinco días, de 540 mm, estableciéndose como caudal máximo probable de avenida, el de  $4350 \text{ m}^3/\text{s}$ , en el sitio de la presa de Timba. Se usó este método debido a la falta de registros y a que las grandes variaciones de una parte a otra de la zona, en las tormentas registradas, hacían poco práctica la aplicación del

método del hidrograma unitario. Se desarrolló entonces un hidrograma de avenida usando un caudal de base de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  (ya incluido en el caudal de pico de  $4350 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y asumiendo un ancho de base similar al de la avenida de Febrero de 1950. El hidrograma resultante tiene un ancho de base de 13 días y contiene un volumen de 2470 millones de  $\text{m}^3$  incluyendo el caudal de base.

El mismo tipo de análisis se empleó para el cálculo de la avenida de diseño para el rebosadero de Salvajina por Ingetec-G&H-TAMS, y es el tema de un memorándum interno de CVC (Referencia 53). Puesto que no existen diferencias apreciables en las características de las hoyas hidrográficas, ni en la elevación promedio, orientación y distancia al Océano Pacífico, el valor de la precipitación máxima probable derivada para Timba, (540 mm), puede por tanto aplicarse al sitio de Salvajina.

El volumen del hidrograma de Salvajina se obtuvo, pues, multiplicando el volumen del hidrograma de Timba, previa deducción del caudal de base, por la relación directa entre las áreas de las hoyas. El caudal de base se estimó en  $360 \text{ m}^3/\text{s}$  asumiendo que es proporcional a la raíz cuadrada de dichas áreas. El pico del hidrograma de caudales de Salvajina se obtuvo asumiendo que él ocurre dos horas antes que el correspondiente de Timba, obteniéndose así un pico máximo del caudal afluente al embalse de  $3640 \text{ m}^3/\text{s}$ , y un volumen del hidrograma, para el período de los 13 días, de 1790 millones de  $\text{m}^3$ , incluyendo el caudal de base.

El hidrograma de caudal máximo probable para la presa de Timba, tal como se usa en este informe, se determinó modificando el que se había calculado previamente para Timba, circulando la creciente que viene de Salvajina a través del embalse. Entonces el caudal afluente de pico al embalse de Timba, viene a ser de  $4330 \text{ m}^3/\text{s}$  y el volumen del hidrograma de 2470 millones de  $\text{m}^3$ , incluyendo el caudal de base.

Los hidrogramas de caudal máximo para Salvajina y Timba, aparecen en la Figura 54.

#### B-4.4 Avenidas de Diseño para las obras de Desviación.

Con el objeto de diseñar las obras de desviación y otras estructuras de la presa de Salvajina, hidrogramas de caudal con frecuencias variables entre 1 en 5 y 1 en 1.000 años, fueron preparados por TAMS y aparecen en la Figura 54. Estos hidrogramas se determinaron por análisis estadísticos, tal como se discuten en el informe de CVC, (Referencia 20). El análisis de frecuencia se hizo tomando en consideración el efecto tanto de la descarga de pico como del volumen de las avenidas registradas. Debe notarse que debido al tiempo relativamente corto de registros, (17 años), usado para este análisis, deberá tenerse cuidado al aplicar los picos de caudal para los períodos más largos.

Durante los últimos cuatro años la CVC ha venido efectuando mediciones periódicas de sedimentación en el río Cauca. En las estaciones de la Balsa y Juanchito (ver Figura 51), estas mediciones fueron comenzadas a principios de 1961 y en Suárez, en la última parte de 1963. Los resultados de estas medidas se indican en la Figura 53. Aun cuando los gráficos muestran que los resultados varían considerablemente, la tendencia a aumentar el volumen del sedimento con el aumento en la descarga del río, es evidente.

Con la ayuda de estas curvas, se calculó el volumen de sedimento que será depositado anualmente en los embalses de Salvajina y Timba, usando los caudales registrados en Suárez y la Balsa respectivamente, durante los 9 últimos años. Este lapso contiene varias de las mayores avenidas registradas, habiéndosele dado la debida ponderación al gran volumen de sedimentos transportados durante los períodos de creciente. Puesto que el período de registro de sedimentación es muy corto, particularmente en Suárez, se compararon los resultados de estos estudios con información similar para embalses en los Estados Unidos, con características y hoyas parecidas. Se encontró que los resultados eran muy semejantes y por tanto la sedimentación calculada a razón de  $515 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ , para las hoyas de Salvajina y Timba, fue la usada para el diseño.

Para estimar el volumen de sedimento, se asumió que al acumularse en el embalse de Salvajina, haya de tener una densidad de 45 lbs/pie cúbico. Para todos los demás embalses considerados durante los estudios de selección del proyecto, se asumió una densidad de 70 lbs/pie cúbico, ya que para todos ellos el nivel debe descender anualmente hasta el mínimo y por tanto el sedimento remanente se consolidará a una mayor densidad. Las eficiencias de recolección usadas, se basan en las informaciones publicadas que dan la relación entre el caudal promedio y la capacidad del embalse, ajustadas según el tipo de operación.

Puesto que los acarreos de fondo no se miden durante la toma de las muestras del sedimento, el volumen obtenido según las curvas de la Figura 53, se aumentó en un 20%. Los volúmenes de los embalses, ocupados por la sedimentación después de 50 años de operación para las diferentes presas estudiadas en los sitios de Timba y Salvajina, se indican en la Tabla B-2.

El embalse de Salvajina tiene un almacenamiento muerto de  $757 \times 10^6$  de  $\text{m}^3$ ; este volumen es equivalente a 250 años de acumulación de sedimentos. En consecuencia, la sedimentación en Salvajina no constituye problema. La forma en la cual el sedimento se distribuirá en él, se estimó sobre la base de la experiencia previa y por tanto, la elevación mínima del embalse activo, se estableció en forma de cobijar la reducción en el embalse efectivo, debida a la sedimentación. El embalse de Timba también tiene un considerable volumen muerto, como para recibir el sedimento por un prolongado lapso, en este caso unos 125 años.

TABLA B-2

## VOLUMENES DE SEDIMENTACION EN EL EMBALSE

|   | Hoya<br>Hidrográfica<br>Efectiva<br>Area<br>(km <sup>2</sup> ) | Densidad<br>del<br>Sedimento<br>(lb/pie <sup>3</sup> ) | Eficiencia<br>de Reco-<br>lección<br>(%) | Volumen de la<br>Sedimentación<br>en el Embalse<br>al Término de<br>50 Años<br>(millones m <sup>3</sup> ) |
|---|--|--|--|---|
| Proyecto múltiple de Salvajina  | 3830   | 45   | 100                                      | 150   |
| Presa de Salvajina, para control de avenidas únicamente (Alternativa) | 3830   | 70   | 50                                       | 50  |
| Salvajina. Embalse amortiguador                                       | 1000(3)  | 70   | 5  | 1,75(1)   |
| Presa de Timba. Proyecto actual                                       | 1480(3)  | 70   | 40                                       | 20 (2)  |
| Presa de Timba. Para control de avenidas (Alternativa)                | 5310   | 70   | 50                                       | 65 (2)  |

- (1) Por encima de la cresta del rebosadero.
- (2) Incluye el sedimento que pasa por la presa de Salvajina.
- (3) Esta zona es la comprendida entre la presa y el sitio de Salvajina.

## B-6 TEMPERATURA Y HUMEDAD

En la región de la CVC, las variaciones de la temperatura diurna oscilan entre 8° y 25° C, pero las temperaturas medias mensuales son notablemente estables. Las temperaturas medias del aire para la Manuelita aparecen en la Tabla B-22.

La humedad relativa en el Valle del Cauca ha sido medida en Palmira desde 1934, y los registros de esta estación, conjuntamente con los de la Manuelita están consignados en las Tablas B-23 y B-24. Puede verse que las variaciones de la humedad son pequeñas, ocurriendo los aumentos en las estaciones lluviosas. La humedad relativa media, a largo término, está entre el 60 y el 70%.

## B-7 EVAPORACION

En las Tablas B-25 y B-26 respectivamente, se indican los datos de la evaporación para las estaciones de la Granja Experimental de Palmira y de la Manuelita. Estos datos indican que en general la evaporación disminuye ligeramente durante cada estación lluviosa y continúa así un mes después, aun cuando el cambio es pequeño. El máximo promedio mensual de evaporación en La Manuelita es de 153,9 mm y el mínimo 124,3 mm. El promedio anual de evaporación en el sitio de Salvajina, se estima en unos 1800 mm.

No se han hecho medidas de evapo-transpiración en el valle del Cauca, aun cuando sí se han estimado sus valores máximos para varias cosechas. La información presentada en el "Informe Unificado" de 1956, indica una pérdida en el área de la hoya arriba de Suárez de 677 mm por año, que incluye tanto evapo-transpiración como percolación. Considerando únicamente el área del embalse de 2580 ha, esta pérdida viene a ser de 0,5 m<sup>3</sup>/s aproximadamente y por tanto la evapo-transpiración será naturalmente menor. Se estima que la evaporación del embalse de Salvajina será el 70% de la obtenida experimentalmente, aproximadamente 1270 mm por año (Referencia 20), la cual al referirla al área del embalse, significará 1 m<sup>3</sup>/s. La pérdida neta resultante para el embalse de Salvajina, debida a la evaporación, representada por la diferencia de los dos valores dados arriba, es equivalente a 0,5 m<sup>3</sup>/s y esto es menos del 0,5% del caudal medio del río. Así pues el efecto de evaporación es menor que el error probable en los registros de caudal y por consiguiente no se tuvo en cuenta para los estudios de energía.

## B-8 VIENTOS

En general, comparado con otras regiones, en el valle del Cauca los vientos son suaves. La ausencia de vientos de alta velocidad es el resultado de su localización en la zona de calmas ecuatoriales, como antes se explicó. Los vientos que ocurren son de corta duración, a causa de la circulación diurna del aire.

En la Granja Experimental de Palmira, se han hecho medidas de la velocidad del viento, para el período de Octubre de 1956 a Marzo de 1964 (ver Tabla B-27). La velocidad máxima registrada en esta localidad es de 75 km/h, habiéndose estimado con base en análisis estadísticos, una velocidad máxima de 125 km/h. Los registros disponibles del aeropuerto de Cali para el período de Julio de 1954 a Mayo de 1957, fueron estudiados también durante la preparación del informe de Timba de 1958, dando como resultado una velocidad máxima observada de 74 km/h, en lo más alto de la torre de control.

El sitio de la presa de Salvajina está flanqueado por montañas que limitan el efecto de la circulación diurna, y no cabe así esperar en este sitio, un viento de más de 100 km/h.



Para los efectos de los estudios de energía discutidos en el Capítulo 4, fue necesario compilar los registros de caudales de todas las corrientes que afectan las plantas hidroeléctricas principales de los sistemas de Medellín y Bogotá. Como se explicó previamente, el período crítico de caudal bajo para el sistema interconectado, está representado por los años hidrológicos de 1958 y 1959.

Los registros de caudal para el informe de Bogotá, fueron suministrados por Ingetec Ltda. Incluyen los del río Bogotá, en el Charquito, para el período 1934 a 1964 (ver Tabla B-32) y los del río Batá en la Esmeralda, para el período 1956-1964 que, sin embargo, no se usaron en los estudios para este informe. Para el río Bogotá, los registros de caudal incluyen el efecto regulador de los embalses del Neusa, Sisga y Muña, después de 1952. Los embalses de Neusa y Sisga no se operan estrictamente para requisitos de energía, y puesto que ellos existían antes del período seco de 1958-1959, se asume que afectaron los registros de caudal, y por consiguiente no se tuvieron en cuenta en los estudios de energía. Por el otro lado, el efecto del embalse de Guatavita, que se terminó después del período seco 1958-59, se utilizó plenamente para dichos estudios.

Para el sistema de Medellín, los registros de caudal se obtuvieron del informe para Nare de Febrero de 1962, (Referencia 29). Para poner al día estos registros se obtuvo información adicional de Integral Ltda. Los estudios de energía están basados en los caudales naturales que se muestran en las Tablas B-33 a B-36. Salvo dos excepciones, que son: (a), el río Guadalupe, para el cual los registros de caudal para los años siguientes a 1961, se obtuvieron por correlación con los caudales del río Grande; y (b), el embalse de Nare, del cual se asumió que una cantidad de  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  se desviará para el acueducto de Medellín.

#### B-10 PROGRAMAS HIDROLOGICOS FUTUROS

El desarrollo económico futuro del valle del Cauca, estará determinado en gran parte, por el uso que se haga del agua del río Cauca. La planeación para este desarrollo deberá necesariamente basarse en los registros de caudal y en otros datos hidrológicos y meteorológicos, y por consiguiente es de la mayor importancia el asegurarse que a este respecto se disponga de registros suficientes y precisos. Es pues imperativo que se tomen ciertas medidas básicas para la recolección de estas informaciones, a saber:

(a) Los limnigrafos instalados sobre el río Cauca en Juanchito y en la Virginia, están a unos 170 km de distancia y por tanto para un desarrollo apropiado de la irrigación del valle del Cauca y para la determinación de los caudales del río disponibles para la desviación al Pacífico, deberá instalarse una estación de aforos permanente en un sitio intermedio, preferiblemente cerca a Vijes.

(b) Deben instalarse o reactivarse, estaciones registradoras para todos los afluentes mayores del río Cauca, de Timba a la Virginia.

(c) La estación meteorológica existente en el sitio de la presa de Salvajina, deberá mejorarse y establecerse en firme, como estación de segundo orden.

(d) A causa de la importancia inherente al problema de sedimentación en esta zona, deberá adelantarse un programa completo de medición de sedimentos, tanto para el río Cauca, como para sus tributarios. Esta información es esencial para estudios futuros de la desviación del Cauca al Pacífico.

(e) Puesto que el control de inundaciones del río Cauca y de sus tributarios es de considerable importancia económica, es esencial que se establezca en la CVC, un departamento que tenga como objetivo principal la formulación de un plan completo de control de avenidas, basado en informaciones topográficas actualizadas para las zonas sujetas a inundaciones. Como corolario de esto, deberá siempre tenerse disponible equipo de fotografía aérea durante la estación de avenidas, de manera de que en el caso de inundación, pueda obtenerse un registro permanente del evento.

(f) Deberán continuarse las investigaciones para obtener una determinación más precisa de las pérdidas por evapo-transpiración en el valle del Cauca.

(g) Es esencial que la CVC, como procedimiento de rutina, publique anualmente todos los datos hidrológicos y meteorológicos recogidos dentro de su jurisdicción.

TABLA B-3  
ESTACIONES DE AFORO

| Estación                      | Lat. N | Long. W | Elevación (m) |
|-------------------------------|--------|---------|---------------|
| Río Cauca - Salvajina         | 2°57'  | 76°43'  | 1.028         |
| Río Cauca - La Balsa          | 3°05'  | 76°39'  | 986           |
| Río Cauca - Tablanca          | 3°08'  | 76°35'  | 983           |
| Río Cauca - La Bolsa          | 3°12'  | 76°30'  | 966           |
| Río Cauca - Hormiguero        | 3°18'  | 76°29'  | 957           |
| Río Cauca - Paso de Navarro   | 3°23'  | 76°28'  | 952           |
| Río Cauca - Juanchito         | 3°27'  | 76°29'  | 949           |
| Río Cauca - Puerto Isaacs     | 3°35'  | 76°29'  | 948           |
| Río Cauca - Paso de la Torre  | 3°39'  | 76°26'  | 945           |
| Río Cauca - Vijes             | 3°42'  | 76°25'  | 940           |
| Río Cauca - Mediacanoa        | 3°53'  | 76°23'  | 935           |
| Río Cauca - Los Estrechos     | 4°03'  | 76°19'  |               |
| Río Cauca - Puente de Ríofrío | 4°07'  | 76°17'  | 925           |
| Río Cauca - Puerto Pedrero    | 4°19'  | 76°10'  |               |
| Río Cauca - Guayabal          | 4°25'  | 76°06'  | 914           |
| Río Cauca - La Victoria       | 4°30'  | 76°04'  | 909           |
| Río Cauca - La Meseta         | 4°39'  | 76°02'  |               |
| Río Cauca - Anacaro           | 4°47'  | 75°58'  | 904           |
| Río Cauca - La Virginia       | 4°53'  | 75°54'  | 899           |
| Río Micay                     | 2°57'  | 77°14'  | 120           |
| Río Ovejas, aguas arriba      | 2°51'  | 76°33'  |               |
| Río Ovejas, aguas abajo       | 2°52'  | 76°35'  |               |
| Río Mondomo                   | 2°53'  | 76°32'  |               |
| Río Timba                     | 3°06'  | 76°39'  | 1.000         |
| Río Guachinte                 | 3°10'  | 76°37'  |               |
| Río Claro                     | 4°09'  | 76°26'  | 1.000         |
| Río Palo, aguas arriba        | 3°06'  | 76°21'  | 1.070         |
| Río Palo - Pto. Tejada        | 3°14'  | 76°26'  | 1.000         |
| Río Jamundí - Potrerito       | 3°16'  | 76°33'  | 1.010         |
| Río Jamundí                   | 3°17'  | 76°33'  |               |
| Río Pance                     | 3°20'  | 76°46'  |               |
| Río Desbaratado               | 3°18'  | 76°21'  |               |
| Río Fraile - Buchitolo        | 3°23'  | 76°22'  | 1.000         |
| Río Fraile - El Líbano        | 3°21'  | 76°15'  |               |
| Río Bolo                      | 3°29'  | 76°18'  | 1.010         |
| Río Bravo - La Esperanza      | 3°58'  | 76°38'  | 1.500         |
| Río Copomá - La Agonía        |        |         | 1.600         |
| Río Tuluá - Mateguadua        | 4°02'  | 76°11'  | 976           |
| Río Frío - Los Marines        | 4°06'  | 76°28'  | 1.530         |
| Río Frío - Salónica           | 4°09'  | 76°25'  | 1.125         |
| Río Calima - Madroñal         | 3°53'  | 76°33'  | 1.345         |
| Río Anchicayá                 | 3°39'  | 76°52'  |               |
| Río Bugalagrande              | 4°10'  | 76°10'  | 1.000         |
| Río La Paila - Electroaguas   | 4°16'  | 76°02'  | 931           |
| Río La Paila                  | 4°20'  | 76°04'  | 1.000         |
| Río Pescador - Bolívar        | 4°21'  | 76°12'  | 970           |
| Río La Vieja - Cartago        | 4°46'  | 75°56'  | 920           |
| Río Chinchiná                 |        |         |               |
| Río Campoalegre               |        |         |               |
| Río La Estrella               |        |         |               |
| Río San Francisco             |        |         |               |

TABLA B-4

ZONAS TRIBUTARIAS PRINCIPALES

HOYA DEL RIO CAUCA

(Kilómetros Cuadrados)

|  | Plano | Montañoso | Total |
|--|-------|-----------|-------|
| <b>RIO CAUCA</b>   |       |           |       |
| En el sitio de la presa de Salvajina   | 40    | 3790      | 3830  |
| En el sitio de la presa de Timba - La Balsa                                      | 90    | 5220      | 5310  |
| En el puente de Juanchito - Cerca a Cali   | 1266  | 7624      | 8890  |
| En Buga  | 2493  | 10267     | 12760 |
| En Anacaro - Cerca a Cartago   | 3864  | 13786     | 17650 |
| En la boca del río de la Vieja (A)   | 3890  | 16560     | 20450 |
| En la Virginia   | 4000  | 18440     | 22440 |
| En la boca del río Otún (B)  | 4249  | 19141     | 23390 |
| Desde el sitio de la presa de Timba hasta Cartago, incluyendo el río de La Vieja | 3800  | 11340     | 15140 |
| <b>TRIBUTARIOS DE LA MARGEN DERECHA</b>  |       |           |       |
| La Balsa hasta Cartago   |       |           |       |
| Río Palo   | 450   | 1103      | 1533  |
| Río Amaime   | 156   | 664       | 820   |
| Río Tuluá  | 31    | 689       | 720   |
| Río Bugalagrande   | 56    | 654       | 710   |
| Río La Vieja   | 20    | 2780      | 2800  |
| <b>TRIBUTARIOS DE LA MARGEN IZQUIERDA</b>  |       |           |       |
| La Balsa hasta Cartago   |       |           |       |
| Río Timba  | 10    | 300       | 310   |
| Río Risaralda  | 148   | 1372      | 1520  |
| <b>(A) Incluyendo el río La Vieja</b>  |       |           |       |
| <b>(B) Incluyendo el río Otún</b>  |       |           |       |

TABLA B-5

RIO CAUCA EN SUAREZ

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>logico | Oct    | Nov    | Dic    | Ene    | Feb    | Mar    | Abr     | May     | Jun    | Jul    | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 1946                 | 104,0  | 218,0  | 198,0  | 168,0  | 107,0  | 123,0  | 126,0   | 146,0   | 89,0   | 65,0   | 84,0  | 38,3  | 122,19 |
| 1947                 | 51,6   | 121,1  | 144,0  | 129,0  | 106,0  | 75,0   | 61,0    | 72,0    | 94,6   | 94,4   | 77,1  | 73,6  | 91,62  |
| 1948                 | 211,5  | 254,8  | 137,9  | 94,5   | 77,2   | 143,9  | 201,3   | 134,9   | 117,3  | 72,0   | 59,8  | 38,6  | 128,64 |
| 1949                 | 92,6   | 135,1  | 122,9  | 148,8  | 150,6  | 119,6  | 126,5   | 160,1   | 120,9  | 98,0   | 78,8  | 63,5  | 118,12 |
| 1950                 | 122,0  | 287,9  | 255,8  | 196,6  | 378,7  | 373,0  | 317,0   | 375,0   | 294,0  | 202,0  | 129,0 | 80,0  | 250,92 |
| 1951                 | 127,0  | 269,0  | 336,0  | 224,0  | 208,0  | 184,0  | (135,0) | (170,0) | 125,0  | 119,0  | 73,0  | 65,0  | 169,58 |
| 1952                 | 90,2   | 201,6  | 199,8  | 161,1  | 159,4  | 124,7  | 126,6   | 172,4   | 116,2  | 92,2   | 71,7  | 49,8  | 130,48 |
| 1953                 | 62,0   | 147,0  | 240,9  | 150,5  | 124,8  | 100,0  | 126,9   | 127,9   | 106,0  | 82,0   | 59,0  | 54,0  | 115,08 |
| 1954                 | 159,8  | 284,5  | 332,3  | 156,3  | 143,2  | 125,2  | 219,6   | 144,2   | 124,2  | 135,2  | 118,4 | 52,0  | 166,24 |
| 1955                 | 164,3  | 257,4  | 343,3  | 233,6  | 122,4  | 210,3  | 213,8   | 193,2   | 164,8  | 147,3  | 92,7  | 82,2  | 185,44 |
| 1956                 | 181,0  | 259,3  | 340,0  | 310,5  | 198,6  | 172,2  | 121,8   | 147,5   | 200,3  | 118,2  | 98,3  | 89,4  | 186,43 |
| 1957                 | 168,0  | 187,1  | 238,5  | 183,5  | 95,7   | 130,8  | 136,1   | 195,6   | 164,9  | 90,4   | 63,6  | 46,2  | 141,70 |
| 1958                 | 64,5   | 103,6  | 182,0  | 112,4  | 85,4   | 69,9   | 94,2    | 108,7   | 91,3   | 75,1   | 71,3  | 41,6  | 91,67  |
| 1959                 | 56,2   | 133,2  | 160,7  | 138,9  | 83,7   | 62,9   | 77,5    | 119,6   | 127,8  | 104,7  | 59,3  | 52,1  | 98,05  |
| 1960                 | 87,9   | 128,7  | 176,0  | 240,5  | 193,1  | 120,7  | 129,5   | 119,5   | 86,9   | 88,2   | 64,7  | 51,5  | 123,93 |
| 1961                 | 80,0   | 171,3  | 213,0  | 116,7  | 83,2   | 74,6   | 135,6   | 88,7    | 116,8  | 96,9   | 74,0  | 41,4  | 107,60 |
| 1962                 | 64,0   | 255,0  | 169,1  | 118,3  | 125,4  | 180,0  | 109,0   | 158,5   | 158,0  | 109,5  | 89,5  | 66,6  | 133,58 |
| 1963                 | 117,9  | 195,5  | 243,2  | 121,0  | 223,3  | 167,5  | 196,9   | 254,1   | 125,4  | 92,0   | 102,7 | 61,5  | 158,42 |
| 1964                 | 59,6   | 212,7  | 153,3  | 130,5  | 91,9   | 68,3   | 146,4   | 141,1   | 193,2  | 119,5  | 97,4  | 87,8  | 125,10 |
| Promedio             | 108,64 | 201,20 | 220,35 | 164,98 | 145,14 | 138,18 | 147,41  | 159,42  | 137,72 | 105,35 | 82,33 | 59,74 | 139,20 |

( ) Estimativos

TABLA B-6

RIO CAUCA EN LA BALISA

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1946                 | 147   | 336   | 272   | 238   | 149   | 176   | 178   | 216   | 133   | 91    | 108   | 53    | 173,8  |
| 1947                 | 70    | 143   | 188   | 176   | 174   | 110   | 87    | 115   | 141   | 129   | 103   | 120   | 130,2  |
| 1948                 | 319   | 391   | 199   | 138   | 111   | 198   | 310   | 225   | 178   | 109   | 90    | 62    | 194,2  |
| 1949                 | 42    | 196   | 169   | 205   | 221   | 188   | 192   | 268   | 191   | 146   | 113   | 82    | 176,1  |
| 1950                 | 79    | 480   | 405   | 279   | 607   | 407   | 323   | 406   | 318   | 212   | 143   | 95    | 321,2  |
| 1951                 | 46    | 300   | 381   | 253   | 235   | 217   | 166   | 212   | 161   | 148   | 86    | 75    | 198,3  |
| 1952                 | 32    | 285   | 289   | 242   | 219   | 166   | 166   | 231   | 164   | 127   | 98    | 63    | 181,8  |
| 1953                 | 33    | 188   | 288   | 187   | 175   | 155   | 207   | 228   | 174   | 127   | 82    | 66    | 163,3  |
| 1954                 | 222   | 418   | 403   | 171   | 169   | 162   | 258   | 205   | 174   | 178   | 165   | 98    | 218,6  |
| 1955                 | 239   | 390   | 560   | 413   | 252   | 309   | 307   | 297   | 231   | 203   | 136   | 124   | 288,4  |
| 1956                 | 252   | 343   | 531   | 574   | 398   | 300   | 223   | 225   | 257   | 182   | 153   | 147   | 298,8  |
| 1957                 | 196   | 192   | 248   | 220   | 131   | 155   | 166   | 236   | 211   | 105   | 79    | 62    | 166,8  |
| 1958                 | 86    | 137   | 230   | 159   | 147   | 119   | 138   | 167   | 140   | 103   | 91    | 58    | 131,3  |
| 1959                 | 85    | 172   | 194   | 186   | 129   | 122   | 133   | 186   | 182   | 140   | 79    | 64    | 139,3  |
| 1960                 | 115   | 173   | 185   | 240   | 215   | 159   | 175   | 168   | 126   | 122   | 98    | 87    | 155,3  |
| 1961                 | 102,9 | 115,5 | 332,3 | 171,0 | 119,7 | 111,7 | 193,9 | 139,1 | 160,3 | 137,1 | 87,6  | 64,1  | 144,6  |
| 1962                 | 83,4  | 276,8 | 181,2 | 163,8 | 178,8 | 200,9 | 164,9 | 202,6 | 222,3 | 122,1 | 104,0 | 75,5  | 164,7  |
| 1963                 | 131,6 | 222,5 | 310,6 | 190,5 | 299,2 | 230,3 | 342,9 | 276,8 | 162,6 | 123,5 | 109,7 | 74,6  | 206,4  |
| 1964                 | 88,8  | 300,8 | 191,1 | 160,5 | 119,9 | 92,5  | 237,8 | 207,0 | 233,3 | 145,2 | 122,2 | 111,1 | 167,5  |
| Promedio             | 148,4 | 266,3 | 292,5 | 229,8 | 213,1 | 188,3 | 208,9 | 221,6 | 187,3 | 139,5 | 107,8 | 83,2  | 190,6  |

TABLA B-7

RIO CAUCA EN JUANCHITO  
CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct          | Nov          | Dic          | Ene          | Feb          | Mar          | Abr          | Mayo         | Jun          | Jul          | Ago          | Sep          | Annual     |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| 1934            | 322          | 552          | 568          | 483          | 346          | 256          | 271          | 299          | 315          | 214          | 159          | 134          | 327        |
| 1935            | 234          | 451          | 302          | 469          | 215          | 283          | 461          | 483          | 355          | 220          | 211          | 162          | 320        |
| 1936            | 234          | 450          | 300          | (150)        | (160)        | (150)        | (260)        | (450)        | (430)        | (270)        | (160)        | (110)        | 260        |
| 1937            | (160)        | (190)        | (380)        | (520)        | (430)        | (390)        | (350)        | (400)        | (350)        | (170)        | (110)        | (90)         | 295        |
| 1938            | (230)        | (450)        | (550)        | (400)        | (410)        | (350)        | (550)        | (560)        | (350)        | (220)        | (240)        | (160)        | 372        |
| 1939            | (350)        | (580)        | (680)        | 309          | 186          | 228          | 273          | 262          | 223          | 159          | 122          | 103          | 289        |
| 1940            | 197          | 444          | 275          | 203          | 180          | 158          | 179          | 220          | 188          | 122          | 116          | 102          | 198        |
| 1941            | 206          | 253          | 262          | 220          | 179          | 160          | 259          | 215          | 124          | 114          | 89           | 78           | 180        |
| 1942            | 114          | 136          | 160          | 153          | 162          | 224          | 204          | 362          | 227          | 125          | 103          | 110          | 173        |
| 1943            | 248          | 545          | 541          | 595          | 392          | 393          | 445          | 376          | 281          | 195          | 146          | 90           | 354        |
| 1944            | 202          | 357          | 362          | (314)        | (350)        | (247)        | (235)        | (500)        | (534)        | (248)        | (132)        | (110)        | 299        |
| 1945            | (223)        | (437)        | (388)        | 331          | 238          | 159          | 323          | 394          | 223          | 151          | 133          | 90           | 257        |
| 1946            | 228          | 406          | 398          | 348          | 200          | 254          | 227          | 284          | 158          | 108          | 148          | 75           | 236        |
| 1947            | 91           | 268          | 280          | 250          | 213          | 133          | 118          | 163          | 195          | 185          | 139          | 148          | 182        |
| 1948            | 370          | 450          | 255          | 154          | 126          | 229          | 398          | 312          | 243          | 130          | 104          | 71           | 237        |
| 1949            | 177          | 251          | 217          | 257          | 297          | 244          | 257          | 319          | 256          | 294          | 149          | 119          | 229        |
| 1950            | 262          | 589          | 522          | 373          | 758          | 736          | 610          | 707          | 608          | 324          | 174          | 130          | 483        |
| 1951            | 228          | 440          | 535          | 393          | 410          | 324          | 230          | 268          | 222          | 213          | 115          | 105          | 290        |
| 1952            | 167          | 420          | 209          | 312          | 323          | 214          | 248          | 391          | 242          | 177          | 130          | 80           | 259        |
| 1953            | 117          | 297          | 427          | 278          | 232          | 192          | 340          | 344          | 232          | 163          | 116          | 95           | 236        |
| 1954            | 376          | 607          | 677          | 269          | 257          | 233          | 478          | 405          | 251          | 238          | 203          | 98           | 341        |
| 1955            | 301          | 589          | 689          | 591          | 250          | 405          | 500          | 405          | 348          | 290          | 182          | 160          | 392        |
| 1956            | 337          | 485          | 703          | 625          | 450          | 409          | 302          | 318          | 428          | 217          | 168          | 152          | 383        |
| 1957            | 344          | 319          | 386          | 369          | 175          | 269          | 319          | 408          | 357          | 162          | 97           | 80           | 273        |
| 1958            | 133          | 213          | 342          | 192          | 155          | 119          | 192          | 246          | 161          | 113          | 117          | 74           | 171        |
| 1959            | 95           | 230          | 285          | 254          | 144          | 129          | 160          | 263          | 287          | 184          | 110          | 91           | 186        |
| 1960            | 177          | 252          | 349          | 489          | 483          | 247          | 342          | 334          | 183          | 176          | 119          | 100          | 270        |
| 1961            | 151          | 311          | 429          | 181          | 170          | 157          | 314          | 212          | 209          | 180          | 113          | 77           | 209        |
| 1962            | 106          | 408          | 274          | 235          | 242          | 276          | 249          | 415          | 328          | 191          | 140          | 94           | 246        |
| 1963            | 199          | 223          | 397          | 261          | 390          | 327          | 491          | 446          | 285          | 193          | 117          | 108          | 286        |
| 1964            | 121          | 434          | 262          | 223          | 176          | 141          | 344          | 308          | 395          | 248          | 189          | 174          | 251        |
| <b>Promedio</b> | <b>216,1</b> | <b>388,3</b> | <b>400,1</b> | <b>329,1</b> | <b>280,6</b> | <b>259,2</b> | <b>320,3</b> | <b>357,1</b> | <b>289,9</b> | <b>193,4</b> | <b>140,4</b> | <b>108,7</b> | <b>274</b> |

NOTA: ( ) Estimado por Parsons, Brinckerhoff, Hogan & MacDonald.

TABLA B-8  
 RIO CAUCA EN LA VIRGINIA  
 CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul | Ago | Sep | Annual |
|----------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| 1947                 | 155 | 479  | 473  | 429  | 335  | 235  | 234  | 336  | 419  | 387 | 304 | 308 | 314    |
| 1948                 | 673 | 766  | 562  | 280  | 203  | 363  | 639  | 563  | 517  | 257 | 202 | 144 | 431    |
| 1949                 | 335 | 520  | 399  | 406  | 495  | 434  | 446  | 625  | 556  | 467 | 300 | 251 | 436    |
| 1950                 | 539 | 1025 | 880  | 700  | 1370 | 1396 | 1210 | 1417 | 1459 | 770 | 450 | 269 | 957    |
| 1951                 | 529 | 1045 | 1218 | 720  | 907  | 640  | 515  | 630  | 495  | 454 | 257 | 230 | 637    |
| 1952                 | 386 | 879  | 782  | 550  | 547  | 398  | 496  | 845  | 600  | 393 | 284 | 177 | 528    |
| 1953                 | 228 | 614  | 848  | 503  | 431  | 345  | 603  | 785  | 509  | 318 | 215 | 205 | 467    |
| 1954                 | 731 | 1075 | 1186 | 583  | 502  | 414  | 730  | 749  | 568  | 578 | 468 | 234 | 652    |
| 1955                 | 637 | 943  | 1182 | 908  | 460  | 715  | 1160 | 863  | 808  | 613 | 398 | 397 | 757    |
| 1956                 | 821 | 1109 | 1352 | 1191 | 839  | 758  | 657  | 653  | 903  | 473 | 321 | 297 | 781    |
| 1957                 | 749 | 712  | 702  | 663  | 332  | 464  | 601  | 720  | 688  | 328 | 190 | 152 | 525    |
| 1958                 | 255 | 393  | 620  | 321  | 255  | 199  | 348  | 490  | 337  | 193 | 226 | 143 | 315    |
| 1959                 | 180 | 446  | 472  | 442  | 242  | 204  | 302  | 549  | 599  | 410 | 234 | 188 | 356    |
| 1960                 | 392 | 517  | 576  | 882  | 901  | 454  | 618  | 703  | 445  | 387 | 273 | 241 | 532    |
| 1961                 | 365 | 999  | 1002 | 405  | 381  | 310  | 672  | 544  | 557  | 436 | 231 | 168 | 506    |
| 1962                 | 221 | 847  | 516  | 395  | 380  | 472  | 520  | 932  | 780  | 436 | 305 | 204 | 501    |
| 1963                 | 478 | 605  | 683  | 465  | 673  | 604  | 914  | 956  | 556  | 372 | 319 | 177 | 567    |
| 1964                 | 243 | 880  | 484  | 403  | 284  | 245  | 612  | 534  | 834  | 564 | 408 |     | 499    |
| Promedio             | 440 | 770  | 774  | 569  | 530  | 481  | 627  | 716  | 646  | 435 | 299 | 223 | 542    |



TABLA B-9

RIO TIMBA - ESTACION DE AFORO A-2, (6-134 SEGUN ELECTROAGUAS)

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Anual |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1946            |      |      |      | 22   | 11   | 14   | 19   | 22   | 10   | 6    | 4    | 4    |       |
| 1947            | 8    | 35   | 42   | 33   | 12   | 8    | 12   | 12   | 23   | 18   | 13   | 15   | 19,3  |
| 1948            | 29   | 40   | 15   | 11   | 8    | 14   | 18   | 27   | 19   | 7    | 5    | 5    | 16,5  |
| 1949            | 15   | 32   | 12   | 13   | 21   | 19   | 26   | 36   | 37   | 25   | 12   | 9    | 21,4  |
| 1950            | 34   | 69   | 37   | 21   | 49   | 47   | 43   | 102  | 32   | 18,5 | 18,7 | 8,7  | 40,0  |
| 1951            | 34   | 55   | 50   | 37   | 41   | 27   | 24   | 34   | 32   | 24   | 8,8  | 8,8  | 31,3  |
| 1952            | 16   | 27   | 32   | 22,7 | 14,7 | 9,8  | 17,4 | 37   | 16,7 | 9,4  | 7,8  | 4,0  | 17,9  |
| 1953            | 10,5 | 20,1 | 45   | 21,9 | 22,0 | 13,5 | 31,0 | 36,2 | 25,3 | 10,9 | 4,8  | 5,2  | 20,5  |
| 1954            | 29,4 | 40,0 | 36,0 | 21,0 | 19,3 | 22,5 | 47,0 | 37,6 | 24,0 | 21,2 | 10,9 | 4,9  | 26,2  |
| 1955            | 23,1 | 62,2 | 53,2 | 30,7 | 6,2  | 14,4 | 30,6 | 53,0 | 30,3 | 30,0 | 8,7  | 14,1 | 29,7  |
| 1956            | 33,1 | 43,0 | 41,8 | 42,5 | 51,4 | 31,7 | 51,6 | 45,7 | 64,9 | 19,5 | 10,2 | 11,5 | 37,2  |
| 1957            | 36,9 | 23,7 | 28,5 | 30,9 | 14,5 | 12,2 | 32,2 | 31,3 | 23,1 | 6,6  |      |      |       |
| Promedio        | 24,5 | 40,6 | 35,7 | 25,6 | 22,5 | 19,4 | 29,3 | 39,5 | 28,1 | 16,3 | 9,4  | 8,2  | 24,9  |

NOTAS: 1. Estación de Aforo A-2, operada desde Enero 1946 hasta Diciembre 1953.

Estación de Aforo 6-134, operada desde Enero 1953 hasta Julio 1957.

2. No hay datos entre Agosto y Diciembre de 1957. (El río cambió su curso).

3. CVC instaló una estación de aforo en este sitio, en Octubre 23, 1964.

TABLA B-10

RIO MONDOMO - ESTACION DE AFORO MI, DE ELECTROAGUAS

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep | Annual |
|-----------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1954            | 7,3 | 13,7 | 16,4 | 6,6  | 5,5  | 6,4  | 9,3  | 9,0  | 6,0 | 4,3 | 3,6 | 3,5 | 7,6    |
| 1955            | 9,0 | 14,5 | 19,4 | 14,8 | 7,6  | 10,7 | 12,4 | 9,2  | 7,0 | 6,2 | 3,1 | 3,0 | 9,7    |
| 1956            | 5,3 | 8,0  | 13,6 | 22,5 | 13,1 | 7,9  | 6,1  | 6,6  | 5,7 | 3,5 | 2,7 | 2,2 | 8,1    |
| 1957            | 5,8 | 5,1  | 8,1  | 7,9  | 4,7  | 6,4  | 6,2  | 9,7  | 7,1 | 4,5 | 3,2 | 2,8 | 6,0    |
| 1958            | 3,2 | 3,4  | 4,1  | 3,8  | 3,5  | 2,8  | 5,8  | 5,5  | 2,8 | 2,3 | 2,5 | 1,9 | 3,5    |
| 1959            | 2,4 | 14,8 | 7,3  | 5,0  | 3,8  | 4,1  | 3,4  | 4,6  | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 2,3 | 4,9    |
| 1960            | 4,7 | 5,2  | 4,8  | 9,6  | 12,5 | 5,2  | 5,6  | 5,4  | 3,9 | 3,0 | 2,5 | 2,7 | 5,4    |
| 1961            | 2,2 | 4,6  | 7,3  | 3,7  | 4,5  | 5,8  | 10,1 | 5,2  | 3,8 | 3,4 | 2,3 | 1,9 | 4,6    |
| 1962            | 1,3 | 6,6  | 2,8  | 4,1  | 5,8  | 7,6  | 5,6  | 8,5  | 5,9 | 3,8 | 3,8 | 3,9 | 5,0    |
| 1963            | 4,5 | 7,3  | 15,6 | 6,2  | 7,0  | 8,9  | 17,1 | 11,9 | 7,5 | 4,3 | 3,7 | 3,9 | 8,2    |
| 1964            | 5,2 | 9,9  | 4,9  | 4,7  | 4,8  |      |      |      |     |     |     |     |        |
| Promedio        | 4,6 | 8,3  | 9,9  | 8,4  | 6,8  | 6,6  | 8,2  | 7,6  | 5,5 | 3,8 | 3,0 | 2,8 | 6,3    |

NOTA: Esta estación fue abandonada en Febrero de 1964.

TABLA B-11

RIO OVEJAS - ESTACIONES DE AFORO EN EL PUENTE DEL CAMINO A POPAYAN  
Y EN EL SITIO A 2 KM AGUAS ARRIBA DE LA DESVIACION PROPUESTA

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

ESTACION DE AFORO EN EL PUENTE DEL CAMINO A POPAYAN

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr  | Mayo | Jun  | Jul | Ago | Sep | Annual |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|--------|
| 1964                 |     |     |     |     |     |     | 12,6 | 10,5 | 11,3 | 6,2 | 4,1 | 3,2 |        |

ESTACION DE AFORO A 2 KM AGUAS ARRIBA DE LA DESVIACION PROPUESTA

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep | Annual |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|--------|
| 1964                 |     |     |     |     |     |     |     |      | 19,3 | 11,3 | 11,4 | 9,9 |        |

TABLA B-12

RIOS CALIMA Y BRAVO

CAUDALES PROMEDIOS COMBINADOS MENSUALES QUE ENTRAN AL EMBALSE DE MADROÑAL (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Anual |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1946            |      |      |      | 12,9 | 7,7  | 9,7  | 20,9 | 30,5 | 11,4 | 6,4  | 4,6  | 3,5  | 14,6  |
| 1947            |      | 19,0 | 17,2 | 13,5 | 11,6 | 9,0  | 12,4 | 16,3 | 20,2 | 18,6 | 12,8 | 15,7 | 14,0  |
| 1948            | 9,4  | 18,9 | 12,4 | 7,8  | 7,2  | 7,8  | 15,0 | 23,7 | 22,6 | 11,6 | 5,2  | 8,6  | 15,3  |
| 1949            | 27,5 | 23,0 | 13,1 | 12,2 | 13,7 | 13,7 | 13,2 | 24,0 | 18,6 | 15,5 | 10,1 | 9,7  | 23,6  |
| 1950            | 16,8 | 32,3 | 17,6 | 13,2 | 23,0 | 28,2 | 28,9 | 39,8 | 35,7 | 16,4 | 13,9 | 8,6  | 15,8  |
| 1951            | 25,3 | 17,7 | 25,8 | 14,8 | 18,4 | 11,8 | 10,6 | 16,0 | 15,9 | 12,6 | 7,6  | 8,2  | 13,4  |
| 1952            | 17,7 | 29,9 | 17,4 | 14,1 | 14,8 | 9,5  | 10,3 | 20,3 | 13,5 | 10,5 | 10,3 | 6,7  | 11,5  |
| 1953            | 10,9 | 22,6 | 20,1 | 13,3 | 11,2 | 8,3  | 13,1 | 15,8 | 10,2 | 6,4  | 4,2  | 6,5  | 15,5  |
| 1954            | 10,3 | 18,7 | 20,3 | 11,7 | 8,6  | 8,7  | 18,3 | 21,6 | 15,1 | 12,8 | 10,9 | 6,5  | 17,5  |
| 1955            | 24,2 | 27,4 | 29,2 | 17,2 | 11,2 | 14,6 | 22,5 | 18,6 | 17,9 | 14,1 | 12,6 | 12,2 | 17,5  |
| 1956            | 17,9 | 22,4 | 32,6 | 22,6 | 17,6 | 13,2 | 15,1 | 16,8 | 19,3 | 9,5  | 6,1  | 5,9  | 18,2  |
| 1957            | 30,3 | 29,0 | 16,7 | 11,9 | 8,3  | 8,8  | 11,6 | 12,8 | 9,8  | 5,7  | 4,4  | 4,1  | 10,7  |
| 1958            | 15,4 | 18,7 | 13,9 | 7,6  | 5,9  | 6,0  | 8,7  | 14,2 | 11,4 | 6,8  | 7,6  | 4,6  | 9,1   |
| 1959            | 8,6  | 13,8 | 11,9 | 9,3  | 5,5  | 5,0  | 10,2 | 14,9 | 17,8 | 11,1 | 8,5  | 6,2  | 10,0  |
| 1960            | 7,5  | 11,6 | 19,2 | 22,5 | 18,7 | 8,4  | 14,0 | 15,1 | 14,3 | 13,7 | 8,6  | 6,7  | 14,2  |
| 1961            | 14,8 | 14,9 | 26,1 | 11,6 | 8,8  | 6,8  | 17,9 | 12,2 | 14,0 | 9,5  | 5,1  | 5,9  | 12,9  |
| 1962            | 15,4 | 21,4 | 15,3 | 11,9 | 10,5 | 10,2 | 19,9 | 19,7 | 19,0 | 11,4 | 8,8  | 6,5  | 13,9  |
| 1963            | 8,2  | 24,9 | 15,8 | 9,7  | 15,2 | 12,9 | 15,4 | 20,4 | 13,9 | 10,0 | 7,9  | 7,0  | 13,7  |
| 1964            | 15,0 | 21,1 | 12,1 | 6,9  | 5,1  | 5,0  | 22,8 | 18,1 | 23,0 | 15,0 | 12,6 | 10,6 | 14,6  |
| 12,2            | 31,9 | 12,1 | 6,9  | 5,1  | 5,1  | 5,0  | 22,8 | 18,1 | 23,0 | 15,0 | 12,6 | 10,6 | 14,6  |
| Promedio        | 16,0 | 22,3 | 18,7 | 12,9 | 11,7 | 10,4 | 15,8 | 19,5 | 17,0 | 11,5 | 8,5  | 7,6  |       |

TABLA B-13

RIO ANCHICAYA EN EL DANUBIO

CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct     | Nov     | Dic   | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | Mayo   | Jun     | Jul    | Ago  | Sep   | Anual |
|-----------------|---------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|------|-------|-------|
| 1946            |         |         |       | 75,0   | 48,0   | 58,0   | 119,0  | 172,0  | 67,0    | (39,0) | 30,0 | 31,0  |       |
| 1947            | 132,0   | 163,0   | 156,0 | 118,0  | 71,0   | 42,0   | 58,0   | 94,0   | (128,0) | 106,0  | 74,0 | 90,0  | 123,2 |
| 1948            | 155,0   | (157,0) | 69,0  | (62,0) | 48,0   | 48,0   | 86,0   | 134,0  | 128,0   | 68,0   | 35,0 | 52,0  | 104,2 |
| 1949            | 96,0    | 131,0   | 75,0  | 71,0   | (65,0) | 53,0   | 77,0   | 114,0  | 96,0    | 72,0   | 61,0 | 61,0  | 97,2  |
| 1950            | 147,0   | 178,0   | 123,0 | (99,0) | 117,0  | 94,0   | 104,0  | 179,0  | 170,0   | 96,6   | 91,0 | 74,0  | 147,2 |
| 1951            | 146,0   | 174,0   | 137,0 | 72,0   | 63,0   | (69,0) | (69,0) | (85,0) | 76,0    | 70,0   | 52,0 | 65,0  | 107,8 |
| 1952            | 96,0    | (96,0)  | 80,0  | 82,0   | 67,0   | 54,0   | 90,0   | 115,0  | 76,0    | 73,0   | 66,0 | 52,0  | 78,9  |
| 1953            | 96,0    | 119,0   | 133,0 | 75,1   | 63,0   | 48,5   | 73,3   | 124,3  | 84,0    | 63,0   | 41,8 | 82,1  | 83,6  |
| 1954            | 141,9   | 161,6   | 128,5 | 70,0   | 75,8   | 74,1   | 107,8  | 114,6  | 115,8   | 66,0   | 50,8 | 56,8  | 97,0  |
| 1955            | 150,1   | 151,2   | 128,6 | 95,1   | 61,6   | 116,2  | 158,3  | 126,7  | 109,8   | 93,9   | 87,0 | 114,7 | 116,1 |
| 1956            | 169,1   | 176,6   | 169,0 | 92,9   | 97,7   | 62,7   | 68,0   | 92,1   | 86,9    | 55,1   | 45,7 | 58,1  | 97,8  |
| 1957            | (114,0) | 101,0   | 97,1  | 74,9   | 49,1   | 51,6   | 75,7   | 79,0   | 64,3    | 40,8   | 31,0 | 35,9  | 67,9  |
| 1958            | 86,6    | 111,5   | 86,6  | 65,5   | 40,5   | 36,7   | 80,3   | 110,6  | 58,2    | 44,7   | 61,7 | 39,0  | 68,5  |
| 1959            | 89,5    | 120,6   | 98,7  | 61,0   | 36,5   | 36,7   | 65,7   | 95,8   | 144,8   | 63,2   | 62,1 | 43,8  | 76,5  |
| 1960            | 133,3   | 116,8   | 106,9 | 122,7  | 87,6   | 65,2   | 106,8  | 116,2  | 75,7    | 79,5   | 67,6 | 57,5  | 94,7  |
| 1961            | 87,8    | 113,1   | 111,0 | 72,9   | 42,4   | 48,7   | 95,4   | 70,2   | 81,5    | 69,7   | 42,0 | 58,5  | 74,4  |
| 1962            | 83,7    | 111,8   | 99,5  | 66,0   | 76,9   | 73,7   | 83,9   | 136,8  | 89,5    | 61,9   | 60,2 | 64,8  | 84,1  |
| 1963            | 101,8   | 118,6   | 79,1  | 51,5   | 74,7   | 64,4   | 93,3   | 112,6  | 75,1    | 61,6   | 56,4 | 53,4  | 78,5  |
| 1964            | 97,0    | 112,4   | 88,2  | 55,5   | 51,3   | 45,9   | 111,1  | 101,8  | 126,1   | 89,9   | 75,0 | 59,4  | 84,5  |
| Promedio        | 117,9   | 134,1   | 109,2 | 78,0   | 65,1   | 60,1   | 90,7   | 114,4  | 97,5    | 69,2   | 57,4 | 60,5  | 93,5  |

NOTA: ( ) valor estimado

TABLA B-14

RIO CAUCA EN SUAREZ

CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS PARA PERIODOS CRITICOS (m<sup>3</sup>/s)

(AÑOS 1958-1959)

HOJA 1 DE 2 - AÑO 1958

| Día      | Oct    | Nov    | Dic    | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | Mayo   | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 34,7   | 80,5   | 139,5  | 100,0  | 77,8   | 78,7   | 57,4   | 173,4  | 98,6   | 115,0  | 49,8   | 65,0   |
| 2        | 34,7   | 76,3   | 124,6  | 95,5   | 77,4   | 74,6   | 54,8   | 213,3  | 76,3   | 83,0   | 48,5   | 48,2   |
| 3        | 31,0   | 102,2  | 115,9  | 92,2   | 78,5   | 68,2   | 56,6   | 184,9  | 64,8   | 105,0  | 58,6   | 44,2   |
| 4        | 31,9   | 87,9   | 128,5  | 105,0  | 74,5   | 65,5   | 62,0   | 165,3  | 69,5   | 167,0  | 51,0   | 42,1   |
| 5        | 37,7   | 102,8  | 230,0  | 96,0   | 81,0   | 64,0   | 70,5   | 137,2  | 62,9   | 115,0  | 59,0   | 43,2   |
| 6        | 34,7   | 102,8  | 185,0  | 89,0   | 95,0   | 62,0   | 63,9   | 119,6  | 152,8  | 130,0  | 75,6   | 43,8   |
| 7        | 43,9   | 76,5   | 163,8  | 96,0   | 104,3  | 60,0   | 51,3   | 130,9  | 127,0  | 140,0  | 119,3  | 53,0   |
| 8        | 37,7   | 71,6   | 304,2  | 188,0  | 100,9  | 58,0   | 53,0   | 124,5  | 142,3  | 104,0  | 119,0  | 39,0   |
| 9        | 101,3  | 69,0   | 407,7  | 142,5  | 98,6   | 54,0   | 53,9   | 118,4  | 102,0  | 86,3   | 114,4  | 36,6   |
| 10       | 64,1   | 60,3   | 504,6  | 130,0  | 94,2   | 50,5   | 62,0   | 117,2  | 80,4   | 85,0   | 94,3   | 33,6   |
| 11       | 83,1   | 56,1   | 396,5  | 149,0  | 92,1   | 51,5   | 62,0   | 93,2   | 74,4   | 78,6   | 81,4   | 32,5   |
| 12       | 64,2   | 64,4   | 302,0  | 146,5  | 92,1   | 62,0   | 57,4   | 91,0   | 73,4   | 73,1   | 58,0   | 34,2   |
| 13       | 62,1   | 60,4   | 240,0  | 142,0  | 84,6   | 81,0   | 95,3   | 92,1   | 96,4   | 60,1   | 49,4   | 43,6   |
| 14       | 62,0   | 76,2   | 202,0  | 132,5  | 94,2   | 69,0   | 78,3   | 84,6   | 104,3  | 56,6   | 46,3   | 38,2   |
| 15       | 52,4   | 73,2   | 182,0  | 132,0  | 82,5   | 57,5   | 78,3   | 92,1   | 83,6   | 52,7   | 45,3   | 38,0   |
| 16       | 57,0   | 85,7   | 161,0  | 144,0  | 79,4   | 55,5   | 70,5   | 88,8   | 95,3   | 50,1   | 41,8   | 38,5   |
| 17       | 91,5   | 72,5   | 147,0  | 127,0  | 86,7   | 53,0   | 170,6  | 87,8   | 96,4   | 48,1   | 41,5   | 36,4   |
| 18       | 72,2   | 70,3   | 140,0  | 125,1  | 78,3   | 53,2   | 138,5  | 120,8  | 91,0   | 45,0   | 40,4   | 34,0   |
| 19       | 68,5   | 77,2   | 131,0  | 117,2  | 79,4   | 78,0   | 112,4  | 96,4   | 110,0  | 46,2   | 81,5   | 54,4   |
| 20       | 98,6   | 76,3   | 122,0  | 110,4  | 79,4   | 122,0  | 91,0   | 80,4   | 159,7  | 48,5   | 92,0   | 64,4   |
| 21       | 72,2   | 67,6   | 120,0  | 108,0  | 76,3   | 104,0  | 80,4   | 79,4   | 141,1  | 50,0   | 59,5   | 52,2   |
| 22       | 56,8   | 80,4   | 130,0  | 105,6  | 72,4   | 95,0   | 92,1   | 92,1   | 92,1   | 51,4   | 48,9   | 45,1   |
| 23       | 54,5   | 122,0  | 128,0  | 102,0  | 81,5   | 62,0   | 88,8   | 82,5   | 76,3   | 59,6   | 73,6   | 43,2   |
| 24       | 58,3   | 113,6  | 118,0  | 94,0   | 82,5   | 52,2   | 86,7   | 82,5   | 60,1   | 88,8   | 110,6  | 39,0   |
| 25       | 84,5   | 132,1  | 108,0  | 94,2   | 87,3   | 46,4   | 103,2  | 81,5   | 57,4   | 64,4   | 93,6   | 38,5   |
| 26       | 92,2   | 173,4  | 98,0   | 89,5   | 82,0   | 54,8   | 156,9  | 72,4   | 59,2   | 56,8   | 67,5   | 34,5   |
| 27       | 81,9   | 298,0  | 128,0  | 84,5   | 86,5   | 71,4   | 165,1  | 83,6   | 57,5   | 49,6   | 54,4   | 37,5   |
| 28       | 93,6   | 230,1  | 142,0  | 86,0   | 94,5   | 62,9   | 158,3  | 70,3   | 78,0   | 55,5   | 51,0   | 31,6   |
| 29       | 84,4   | 184,4  | 128,3  | 81,3   | 76,3   | 76,3   | 165,1  | 74,4   | 56,0   | 59,3   | 49,8   | 32,1   |
| 30       | 75,3   | 165,2  | 112,0  | 94,5   | 62,0   | 62,0   | 189,3  | 136,0  | 89,5   | 53,2   | 156,1  | 32,4   |
| 31       | 82,0   | 83,5   | 103,3  | 83,5   | 93,2   | 93,2   | 103,2  | 103,2  | 103,2  | 51,3   | 78,1   |        |
| Total    | 1999,0 | 3107,3 | 5642,9 | 3483,0 | 2393,9 | 2098,4 | 2825,6 | 3369,8 | 2728,3 | 2329,2 | 2210,2 | 1249,0 |
| Promedio | 64,5   | 103,6  | 182,0  | 112,4  | 85,4   | 67,9   | 94,2   | 108,7  | 91,3   | 75,1   | 71,3   | 41,6   |

TABLA B-15

RIO CAUCA EN SUAREZ

CAUDALES PROMEDIOS DIARIOS PARA PERIODOS CRITICOS (m<sup>3</sup>/s)

(AÑOS 1958-1959)

HOJA 2 DE 2 - AÑO 1959

| Día      | Oct    | Nov    | Dic    | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | Mayo   | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 37,7   | 76,4   | 168,7  | 265,4  | 106,7  | 55,3   | 56,6   | 89,3   | 94,4   | 122,0  | 61,1   | 53,0   |
| 2        | 34,0   | 92,1   | 138,8  | 220,2  | 110,0  | 63,2   | 79,4   | 108,0  | 94,3   | 98,6   | 62,9   | 50,4   |
| 3        | 33,8   | 105,6  | 130,8  | 205,5  | 155,9  | 70,0   | 62,9   | 119,4  | 87,8   | 261,5  | 57,4   | 93,2   |
| 4        | 34,0   | 131,4  | 134,0  | 183,8  | 125,4  | 64,2   | 60,1   | 130,3  | 90,0   | 235,2  | 60,1   | 63,9   |
| 5        | 42,1   | 135,8  | 120,4  | 182,3  | 106,5  | 63,0   | 110,0  | 233,1  | 135,6  | 107,8  | 66,6   | 52,2   |
| 6        | 34,0   | 199,4  | 135,0  | 167,6  | 99,8   | 63,9   | 69,5   | 172,5  | 131,8  | 98,6   | 58,3   | 47,2   |
| 7        | 34,0   | 288,5  | 138,7  | 149,4  | 98,5   | 63,2   | 63,9   | 152,4  | 175,7  | 105,1  | 55,7   | 40,8   |
| 8        | 42,4   | 179,5  | 131,9  | 146,6  | 92,5   | 62,8   | 57,4   | 155,1  | 150,2  | 146,8  | 50,4   | 52,2   |
| 9        | 39,3   | 133,7  | 122,0  | 143,1  | 86,4   | 62,1   | 63,9   | 152,5  | 123,9  | 107,8  | 43,9   | 63,9   |
| 10       | 38,7   | 119,7  | 117,7  | 133,4  | 82,2   | 65,8   | 60,1   | 163,6  | 136,0  | 102,0  | 40,8   | 61,1   |
| 11       | 54,9   | 109,6  | 142,0  | 128,0  | 78,5   | 58,4   | 56,6   | 172,7  | 142,5  | 92,1   | 43,9   | 48,8   |
| 12       | 54,8   | 136,7  | 140,5  | 117,1  | 75,6   | 73,0   | 53,0   | 131,0  | 141,7  | 88,8   | 66,6   | 46,0   |
| 13       | 55,0   | 123,2  | 152,1  | 109,5  | 73,9   | 86,6   | 55,7   | 114,6  | 136,6  | 94,2   | 79,4   | 59,4   |
| 14       | 73,0   | 138,4  | 127,1  | 105,0  | 71,2   | 82,6   | 51,3   | 141,1  | 129,0  | 74,4   | 63,9   | 85,2   |
| 15       | 82,7   | 129,7  | 121,8  | 97,7   | 69,5   | 81,1   | 52,2   | 120,7  | 123,7  | 66,6   | 54,8   | 65,0   |
| 16       | 70,2   | 169,4  | 133,4  | 92,5   | 66,4   | 70,4   | 55,7   | 114,8  | 127,6  | 63,9   | 51,3   | 79,3   |
| 17       | 58,5   | 218,8  | 160,0  | 87,9   | 68,1   | 73,6   | 91,0   | 100,2  | 122,8  | 74,4   | 61,1   | 65,5   |
| 18       | 51,4   | 199,7  | 148,2  | 90,6   | 88,4   | 64,4   | 90,0   | 99,0   | 125,0  | 123,2  | 47,2   | 45,9   |
| 19       | 48,8   | 147,2  | 164,7  | 93,2   | 76,7   | 62,1   | 81,7   | 94,7   | 120,2  | 166,5  | 43,1   | 43,4   |
| 20       | 55,3   | 125,9  | 139,8  | 91,2   | 70,5   | 70,7   | 74,8   | 92,2   | 111,2  | 92,1   | 82,5   | 41,0   |
| 21       | 65,3   | 112,0  | 140,7  | 119,6  | 70,5   | 58,7   | 88,6   | 97,1   | 110,3  | 76,3   | 50,4   | 38,1   |
| 22       | 66,3   | 102,8  | 153,5  | 139,8  | 71,5   | 52,7   | 69,5   | 150,7  | 98,6   | 80,4   | 42,3   | 40,4   |
| 23       | 68,3   | 103,7  | 143,7  | 124,0  | 68,0   | 49,5   | 68,8   | 110,0  | 89,8   | 103,2  | 43,1   | 42,4   |
| 24       | 61,1   | 104,5  | 183,7  | 146,1  | 79,0   | 49,1   | 110,0  | 107,5  | 125,0  | 88,8   | 40,0   | 38,1   |
| 25       | 58,4   | 86,0   | 191,5  | 164,8  | 76,9   | 55,9   | 104,6  | 92,5   | 104,3  | 81,5   | 38,5   | 35,3   |
| 26       | 71,3   | 93,3   | 199,5  | 183,6  | 62,3   | 57,4   | 151,9  | 80,0   | 89,8   | 99,7   | 44,7   | 34,3   |
| 27       | 71,8   | 86,2   | 191,4  | 154,8  | 57,8   | 52,9   | 118,3  | 79,6   | 111,2  | 105,5  | 61,1   | 33,0   |
| 28       | 71,5   | 124,5  | 171,3  | 132,2  | 56,0   | 57,3   | 98,1   | 85,1   | 163,8  | 78,3   | 111,2  | 46,1   |
| 29       | 84,8   | 101,4  | 251,4  | 116,5  |        | 54,9   | 90,2   | 80,0   | 324,6  | 73,4   | 102,0  | 43,3   |
| 30       | 77,6   | 121,1  | 283,4  | 107,4  |        | 49,6   | 80,1   | 81,3   | 116,0  | 66,6   | 97,5   | 55,1   |
| 31       | 69,8   |        | 303,9  | 105,9  |        | 54,6   |        | 86,5   |        | 71,4   | 56,6   |        |
| Total    | 1740,8 | 3996,2 | 4981,6 | 4304,7 | 2344,7 | 1949,0 | 2325,9 | 3707,5 | 3833,4 | 3246,7 | 1838,4 | 1563,5 |
| Promedio | 56,2   | 133,2  | 160,7  | 138,9  | 83,7   | 62,9   | 77,5   | 119,6  | 127,8  | 104,7  | 59,3   | 52,1   |

TABLA B-16

ESTACIONES METEOROLOGICAS Y DE AFOROS

ESTACIONES METEOROLIGICAS

|                               | Lat.N | Long.W | Elevación(m) | Cuenca   |
|-------------------------------|-------|--------|--------------|----------|
| Suárez                        | 2°57' | 76°44' | 1100         | Cauca    |
| Timba                         | 3°05' | 76°38' | 990          | Cauca    |
| Cali - San Luis Gonzaga       | 3°27' | 76°33' | 1066         | Cauca    |
| Palmira - Granja Experimental | 3°31' | 76°20' | 1006         | Cauca    |
| Río Frío                      | 4°08' | 76°17' | 930          | Río Frío |
| La Victoria                   | 4°30' | 76°05' | 910          | Cauca    |
| Cartago - Colegio Académico   | 4°43' | 75°58' | 940          | La Vieja |
| Zarzal                        | 4°25' | 76°06' |              | Cauca    |
| Obando                        | 4°36' | 76°00' |              | Cauca    |
| Pereira                       | 4°48' | 75°43' | 1350         | Otún     |

ESTACIONES DE AFOROS

|                                |       |        |      |           |
|--------------------------------|-------|--------|------|-----------|
| Popayán                        | 2°26' | 76°37' | 1730 | Cauca     |
| Munchique                      | 2°29' | 76°58' | 2500 | Cauca     |
| Coconuco                       | 2°20' | 76°26' | 2300 | Cauca     |
| San Francisco                  | 2°24' | 76°23' | 3200 | Cauca     |
| Silvia                         | 2°37' | 76°22' | 2400 | Cauca     |
| Piendamó                       | 2°37' | 76°31' | 1800 | Cauca     |
| Aguablanca - Canal Interceptor | 3°26' | 76°30' |      | Cauca     |
| Aguablanca - Canal de Drenaje  | 3°26' | 76°30' |      | Cauca     |
| Anchicayá                      | 3°38' | 76°52' | 400  | Anchicayá |
| Palmira - La Manuelita         | 3°35' | 76°18' | 1030 | Cauca     |
| Madroñal                       | 3°52' | 76°33' | 1340 | Calima    |
| La Virginia                    | 4°53' | 75°53' | 900  | Cauca     |
| Belén de Umbría                | 5°11' | 75°49' | 1360 | Cauca     |
| Calarcá - La Bella             | 4°31' | 75°38' | 1450 | La Vieja  |
| Chinchiná - Cenicafé           | 4°53' | 75°36' | 1360 | Chinchiná |
| Chinchiná - Naranjal           | 4°57' | 75°41' | 1400 | Cauca     |
| Marsella - Escuela Vocacional  | 4°56' | 75°44' | 1700 | Cauca     |
| Manizales - Cerro Guali        | 4°58' | 75°21' | 4200 | Guali     |
| Manizales - Normandía          | 5°03' | 75°32' | 1900 | Chinchiná |
| Manizales - Fac. Agronomía     | 5°04' | 75°31' | 2153 | Chinchiná |
| Manizales - La Esperanza       | 5°05' | 75°22' | 3250 | Chinchiná |
| Manizales - Las Palomas        | 5°08' | 75°28' | 2700 | Chinchiná |



TABLA B-17

POPAYAN (UNIVERSIDAD)

PRECIPITACION PROMEDIA MENSUAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep | Total<br>Anual | Promedio<br>Mensual |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------------|---------------------|
| 1929                 | 142 | 126 | 233 | 199 | 123 | 104 | 164 | 42   | 96  | 26  | 26  | 37  | 1,320          | 110,0               |
| 1930                 | 310 | 308 | 250 | 150 | 284 | 97  | 142 | 157  | 49  | 104 | 9   | 118 | 1,976          | 164,7               |
| 1931                 | 194 | 522 | 195 | 249 | 158 | 92  | 73  | 108  | 48  | 15  | 34  | 93  | 1,781          | 148,4               |
| 1932                 | 217 | 251 | 223 | 231 | 84  | 97  | 191 | 121  | 159 | 100 | 100 | 123 | 1,896          | 158,0               |
| 1933                 | 197 | 621 | 391 | 110 | 283 | 101 | 53  | 132  | 97  | 25  | 58  | 160 | 2,229          | 185,8               |
| 1934                 | 381 | 423 | 184 | 181 | 221 | 119 | 214 | 151  | 177 | 40  | 19  | 74  |                |                     |
| 1943                 |     |     |     |     |     |     |     |      | 155 |     |     |     |                |                     |
| 1944                 | 165 | 127 | 242 | 104 | 128 | 61  | 185 | 165  | 26  | 9   | 23  | 83  | 1,317          | 109,8               |
| 1945                 | 228 | 392 | 208 | 190 | 183 | 103 | 120 | 133  | 17  | 12  | 1   | 53  | 1,642          | 136,8               |
| 1946                 | 273 | 290 | 229 | 169 | 95  | 162 | 60  | 155  | 78  | 122 | 85  | 171 | 1,888          | 157,3               |
| 1947                 | 301 | 238 | 106 | 143 | 279 | 176 | 217 | 95   | 19  | 50  | 21  | 75  | 1,718          | 143,2               |
| 1948                 | 382 | 210 | 204 | 235 | 120 | 139 | 123 | 125  | 74  | 55  | 52  | 106 | 1,824          | 152,0               |
| 1949                 | 426 | 338 | 231 | 270 | 287 | 337 | 239 | 239  | 127 | 36  | 42  | 79  | 2,652          | 221,0               |
| 1950                 | 201 | 424 | 212 | 196 | 61  | 165 | 103 | 140  | 21  | 50  | 24  | 58  | 1,655          | 137,9               |
| 1951                 | 173 | 268 | 226 | 259 | 102 | 199 | 98  | 138  | 29  | 41  | 11  | 56  | 1,599          | 133,3               |
| 1952                 | 158 | 280 | 234 | 111 | 71  | 218 | 96  | 92   | 107 | 26  | 5   | 199 | 1,597          | 133,1               |
| 1953                 | 278 | 355 | 247 | 69  | 132 | 175 | 250 | 78   | 111 | 56  | 24  | 17  | 1,790          | 149,2               |
| 1954                 | 316 | 273 | 236 | 205 | 157 | 268 | 198 | 152  | 105 | 88  | 45  | 123 | 2,164          | 180,3               |
| 1955                 | 291 | 375 | 236 | 208 | 204 | 118 | 121 | 153  | 132 | 15  | 41  | 134 | 1,791          | 149,3               |
| 1956                 | 333 | 218 | 390 | 82  | 197 | 166 | 143 | 370  | 30  | 23  | 1   | 36  | 1,985          | 165,4               |
| 1957                 | 266 | 283 | 295 | 190 | 80  | 132 | 126 | 113  | 89  | 2   | 61  | 41  | 1,678          | 139,8               |
| 1958                 | 202 | 212 | 310 | 140 | 83  | 50  | 126 | 126  | 90  | 18  | 26  | 54  | 1,437          | 119,8               |
| 1959                 | 270 | 269 | 120 | 179 | 189 | 161 | 112 | 63   | 72  | 59  | 59  | 51  | 1,605          | 133,8               |
| 1960                 | 313 | 208 | 230 | 99  | 32  | 131 | 139 | 46   | 68  | 52  | 33  | 71  | 1,423          | 118,6               |
| 1961                 | 198 | 379 | 147 | 159 | 81  | 146 | 100 | 246  |     |     |     |     |                |                     |
| Promedio             | 262 | 305 | 236 | 173 | 155 | 147 | 143 | 135  | 83  | 61  | 50  | 87  | 1,772          | 147,6               |

TABLA B-18

SUAREZ

PRECIPITACION PROMEDIA MENSUAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep  | Total<br>Anual | Promedio<br>Mensual |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|----------------|---------------------|
| 1952                 |     | 227 | 247 | 153 | 146 | 99  | 201 | 236  | 84  | 39  | 12  | 32   | 2124           | 177                 |
| 1953                 | 205 | 322 | 323 | 227 | 72  | 31  | 299 | 239  | 112 | 91  | 35  | 168  | 2886           | 241                 |
| 1954                 | 454 | 705 | 330 | 144 | 212 | 187 | 248 | 200  | 95  | 163 | 57  | 91   | 2463           | 205                 |
| 1955                 | 314 | 223 | 299 | 180 | 91  | 228 | 228 | 221  | 262 | 151 | 124 | 142  | 2615           | 213                 |
| 1956                 | 250 | 238 | 278 | 295 | 293 | 125 | 183 | 197  | 290 | 110 | 59  | 297  | 1731           | 133                 |
| 1957                 | 247 | 125 | 300 | 95  | 111 | 179 | 298 | 182  | 84  | 22  | 4   | 84   | 1678           | 138                 |
| 1958                 | 197 | 237 | 95  | 85  | 63  | 122 | 417 | 189  | 61  | 45  | 40  | 127  | 2132           | 178                 |
| 1959                 | 175 | 276 | 305 | 93  | 112 | 109 | 274 | 303  | 239 | 72  | 120 | 54   | 2863           | 244                 |
| 1960                 | 225 | 316 | 399 | 276 | 273 | 267 | 358 | 278  | 38  | 165 | 131 | 137  |                |                     |
| 1961                 | 208 | 281 | 213 | 204 | 33  | 169 | 299 | 175  | 198 |     | 12  | 72   |                |                     |
| 1962                 | 236 | 463 | 193 | 147 | 196 | 407 | 198 | 239  |     | 14  | 44  | 18   |                |                     |
| 1963                 | 142 | 234 | 123 | 94  | 419 | 186 | 332 | 153  | 144 | 129 | 86  | 117  | 2159           | 180                 |
| 1964                 | 289 | 265 | 313 | 131 | 222 | 127 | 574 | 207  | 345 | 190 | 265 | 202  | 3130           | 261                 |
| Promedio             |     | 301 | 263 | 163 | 173 | 172 | 301 | 217  |     | 76  | 119 | 2578 |                | 198                 |

TABLA B-19

LA BALSAS

PRECIPITACION PROMEDIA MENSUAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep | Total<br>Anual | Promedio<br>Mensual |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|----------------|---------------------|
| 1952                 |     |     |     |     | 35  | 80  | 207 | 198  | 133 | 92  | 33  | 88  | 1841           | 153                 |
| 1953                 | 311 | 217 | 225 | 144 | 97  | 182 | 196 | 205  | 37  | 46  | 6   | 175 | 2489           | 207                 |
| 1954                 | 404 | 472 | 245 | 139 | 171 | 175 | 224 | 324  | 104 | 103 | 72  | 56  | 2323           | 194                 |
| 1955                 | 292 | 250 | 291 | 160 | 74  | 313 | 225 | 156  | 172 | 128 | 75  | 187 | 1989           | 166                 |
| 1956                 | 386 | 255 | 230 | 290 | 250 | 154 | 220 | 135  | 76  | 20  | 71  | 102 | 1448           | 121                 |
| 1957                 | 310 | 95  | 148 | 116 | 115 | 122 | 124 | 280  | 15  | 42  | 10  | 71  | 1156           | 96                  |
| 1958                 | 115 | 96  | 261 | 49  | 31  | 61  | 289 | 107  | 15  | 48  | 33  | 51  | 1100           | 92                  |
| 1959                 | 118 | 99  | 139 | 6   | 50  | 95  | 82  | 165  | 216 | 27  | 44  | 59  | 1719           | 143                 |
| 1960                 | 229 | 156 | 87  | 190 | 39  | 114 | 326 | 283  | 84  | 71  | 41  | 99  | 961            | 80                  |
| 1961                 | 73  | 175 | 61  | 108 | 50  | 76  | 140 | 91   | 11  | 107 | 0   | 69  |                |                     |
| Promedio             |     |     |     |     | 91  | 137 | 203 | 194  | 86  | 68  | 39  | 96  | 1670           | 139                 |

NOTA: Esta estación fue abandonada en Enero de 1962

TABLA B-20  
LA MANUELITA

PRECIPITACION PROMEDIA MENSUAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul  | Ago   | Sep   | Total<br>Anual | Promedio<br>Mensual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----------------|---------------------|
| 1937                 | 162,0 | 73,0  | 137,0 | 100,0 | 97,0  | 253,0 | 68,0  | 179,0 | 67,0  | 27,0 | 20,0  | 134,0 | 1317,0         | 103,7               |
| 1938                 | 120,0 | 100,0 | 178,0 | 95,0  | 100,0 | 131,0 | 314,0 | 135,0 | 79,0  | 8,0  | 140,0 | 29,0  | 1429,0         | 119,1               |
| 1939                 | 125,0 | 302,0 | 208,0 | 41,0  | 33,0  | 59,9  | 87,0  | 87,0  | 39,0  | 8,0  | 29,0  | 97,0  | 1115,0         | 93,0                |
| 1940                 | 140,0 | 92,0  | 48,0  | 73,0  | 33,0  | 18,0  | 45,0  | 147,0 | 141,0 | 0,0  | 15,0  | 72,0  | 824,0          | 68,7                |
| 1941                 | 199,0 | 88,0  | 121,0 | 39,0  | 75,0  | 54,0  | 145,0 | 88,0  | 39,0  | 55,0 | 17,0  | 37,0  | 957,0          | 79,7                |
| 1942                 | 114,0 | 48,0  | 50,0  | 85,0  | 63,0  | 147,0 | 164,0 | 145,0 | 85,0  | 13,0 | 41,0  | 66,0  | 1026,0         | 85,4                |
| 1943                 | 146,0 | 144,0 | 75,0  | 142,0 | 124,0 | 161,0 | 307,0 | 74,0  | 90,0  | 16,0 | 63,0  | 39,0  | 1381,0         | 115,0               |
| 1944                 | 281,0 | 108,0 | 102,0 | 94,0  | 90,0  | 53,0  | 99,0  | 137,0 | 169,0 | 7,0  | 67,0  | 27,0  | 1334,0         | 111,1               |
| 1945                 | 128,0 | 49,0  | 115,0 | 62,0  | 36,0  | 42,0  | 174,0 | 134,0 | 36,0  | 25,0 | 34,0  | 33,0  | 868,0          | 72,4                |
| 1946                 | 127,0 | 88,0  | 78,0  | 46,0  | 40,0  | 62,0  | 128,0 | 131,0 | 37,0  | 0,0  | 5,0   | 2,0   | 744,0          | 62,0                |
| 1947                 | 63,0  | 150,0 | 130,0 | 72,0  | 78,0  | 40,0  | 44,0  | 80,0  | 91,0  | 79,0 | 60,0  | 98,0  | 985,0          | 82,1                |
| 1948                 | 236,0 | 125,0 | 64,0  | 8,0   | 36,0  | 146,0 | 109,0 | 114,0 | 36,0  | 27,0 | 28,0  | 83,0  | 1012,0         | 84,3                |
| 1949                 | 143,0 | 86,0  | 59,0  | 62,5  | 77,4  | 82,8  | 89,3  | 87,0  | 50,1  | 71,3 | 54,6  | 61,8  | 924,8          | 76,8                |
| 1950                 | 161,5 | 70,3  | 91,4  | 77,9  | 177,5 | 258,8 | 210,2 | 99,8  | 121,5 | 43,1 | 83,7  | 38,5  | 1434,2         | 119,5               |
| 1951                 | 196,6 | 114,8 | 84,8  | 46,9  | 136,4 | 50,2  | 109,4 | 176,5 | 32,4  | 73,2 | 27,6  | 61,0  | 1109,8         | 92,5                |
| 1952                 | 117,7 | 202,7 | 161,6 | 112,4 | 34,9  | 119,8 | 156,5 | 187,6 | 22,1  | 29,8 | 23,9  | 88,0  | 1257,0         | 104,6               |
| 1953                 | 101,1 | 58,2  | 73,3  | 53,9  | 23,6  | 99,7  | 193,1 | 174,5 | 47,5  | 27,1 | 0,5   | 113,4 | 940,9          | 78,4                |
| 1954                 | 284,7 | 172,7 | 55,6  | 47,3  | 27,3  | 108,7 | 207,4 | 133,4 | 109,7 | 40,3 | 57,9  | 14,5  | 1259,5         | 105,0               |
| 1955                 | 123,5 | 82,6  | 125,9 | 79,7  | 8,3   | 130,0 | 202,9 | 317,0 | 47,1  | 19,5 | 6,1   | 26,2  | 1057,5         | 88,1                |
| 1956                 | 62,9  | 25,9  | 55,6  | 106,4 | 111,8 | 116,8 | 142,0 | 147,8 | 88,9  | 47,2 | 13,0  | 58,2  | 976,5          | 81,4                |
| 1957                 | 207,5 | 36,1  | 131,6 | 52,6  | 66,3  | 66,5  | 146,3 | 191,8 | 20,8  | 25,1 | 16,5  | 35,0  | 996,1          | 83,1                |
| 1958                 | 122,9 | 48,5  | 45,0  | 75,4  | 41,1  | 39,4  | 171,7 | 196,8 | 22,9  | 11,9 | 20,3  | 63,0  | 858,9          | 71,5                |
| 1959                 | 114,6 | 113,5 | 101,6 | 7,6   | 33,8  | 33,3  | 65,5  | 124,7 | 86,9  | 45,7 | 62,7  | 9,1   | 799,0          | 66,6                |
| 1960                 | 147,3 | 109,7 | 85,1  | 90,0  | 117,1 | 89,9  | 126,7 | 165,1 | 76,4  | 63,7 | 29,7  | 16,5  | 1117,2         | 93,1                |
| 1961                 | 143,8 | 99,3  | 96,3  | 124,5 | 20,6  | 46,7  | 168,6 | 33,0  | 22,6  | 40,4 | 9,1   | 54,1  | 859,0          | 71,7                |
| 1962                 | 208,0 | 168,4 | 141,2 | 41,6  | 100,3 | 154,2 | 145,3 | 116,8 | 46,0  | 10,7 | 33,8  | 51,8  | 1218,1         | 101,9               |
| 1963                 | 145,8 | 131,6 | 54,9  | 65,0  | 169,2 | 43,9  | 130,3 | 101,1 | 108,2 | 68,3 | 21,6  | 56,6  | 1096,5         | 91,5                |
| 1964                 | 83,6  | 130,3 | 43,7  | 17,5  | 33,0  | 15,2  | 186,9 | 88,6  | 103,6 | 55,4 | 66,0  | 93,5  | 917,3          | 76,5                |
| Promedio             | 150,2 | 107,8 | 96,9  | 68,5  | 70,8  | 93,6  | 147,7 | 135,5 | 68,4  | 33,7 | 37,4  | 55,7  | 1064,8         | 88,8                |

TABLA B-21  
PALMIRA (GRANJA EXPERIMENTAL)  
TEMPERATURA PROMEDIA (°C)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1957                 | 23,2  |       | 23,1  | 24,0  | 24,3  | 23,9  | 24,4  | 24,6  | 24,2  | 24,3  | 24,5  | 24,5  | 24,0   |
| 1958                 | 23,2  | 23,3  | 23,5  | 23,9  | 24,7  | 24,8  | 23,6  | 23,9  | 24,1  | 24,5  | 24,1  | 24,6  | 24,0   |
| 1959                 | 23,9  | 22,5  | 23,6  | 24,1  | 24,6  | 24,7  | 24,3  | 23,4  | 23,2  | 23,4  | 23,3  | 24,0  | 23,8   |
| 1960                 | 22,9  | 22,7  | 23,0  | 22,9  | 23,2  | 23,5  | 23,1  | 23,3  | 23,0  | 23,2  | 23,8  | 23,5  | 23,2   |
| 1961                 | 22,8  | 22,7  |       |       |       |       |       | 23,5  | 22,9  | 22,6  | 23,4  |       |        |
| 1962                 |       |       |       |       | 23,3  | 22,4  | 22,9  | 22,4  | 32,5  | 23,2  |       |       |        |
| 1963                 | 22,7  | 22,5  | 22,4  | 22,8  | 22,2  | 23,2  | 23,2  |       |       |       | 23,8  | 23,8  |        |
| 1964                 | 23,7  | 22,3  | 23,5  | 23,9  | 23,9  | 24,5  | 24,9  | 23,8  | 22,1  | 23,1  | 23,2  |       | 23,5   |
| Total                | 162,4 | 136,0 | 139,1 | 141,6 | 166,2 | 167,0 | 166,4 | 164,9 | 162,0 | 164,3 | 166,1 | 120,4 | 118,5  |
| Promedio             | 23,2  | 22,7  | 23,2  | 23,6  | 23,7  | 23,9  | 23,8  | 23,6  | 23,1  | 23,5  | 23,7  | 24,0  | 23,7   |
| Máxima<br>Media      | 23,9  | 23,3  | 23,6  | 24,1  | 24,7  | 24,8  | 24,9  | 24,6  | 24,2  | 24,5  | 24,5  | 24,6  | 24,3   |

TABLA B-22  
LA MANUELLITA  
TEMPERATURA PROMEDIA (°C)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1959                 | 23,9  | 23,1  | 23,8  | 23,3  | 23,2  | 23,6  | 23,1  | 23,1  | 23,1  | 23,5  | 22,7  | 24,1  | 23,4   |
| 1960                 | 23,0  | 22,9  | 23,4  | 23,8  | 23,6  | 23,7  | 23,0  | 23,4  | 22,5  | 22,3  | 23,7  | 23,9  | 23,1   |
| 1961                 | 22,0  | 21,0  | 21,7  | 22,4  | 21,9  | 21,5  | 21,7  | 21,9  | 22,2  | 22,6  | 23,0  | 23,1  | 22,1   |
| 1962                 | 23,5  | 23,4  | 22,4  | 23,0  | 22,9  | 24,1  | 23,6  | 24,0  | 24,1  | 24,1  | 25,0  | 24,7  | 23,7   |
| 1963                 | 25,0  | 23,5  | 24,6  | 24,0  | 25,0  | 26,0  | 24,5  | 25,0  | 23,5  | 24,1  | 24,1  | 24,8  | 24,5   |
| 1964                 | 117,4 | 113,9 | 115,9 | 116,5 | 116,6 | 118,9 | 115,9 | 117,4 | 115,5 | 116,6 | 141,1 | 143,0 | 116,8  |
| Total                | 23,5  | 22,7  | 23,1  | 23,3  | 23,3  | 23,8  | 23,2  | 23,5  | 23,1  | 23,3  | 23,5  | 23,8  | 23,4   |
| Promedia             | 25,0  | 23,5  | 24,6  | 24,0  | 25,0  | 26,0  | 24,5  | 25,0  | 24,2  | 24,1  | 25,0  | 24,8  | 24,5   |
| Máxima<br>Media      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |

TABLA B-23  
PALMIRA (GRANJA EXPERIMENTAL)  
PROMEDIO MENSUAL DE HUMEDAD RELATIVA (%)

| Año Hidrológico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Annual |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1934            |      |      |      | 85,0 | 79,5 | 68,5 | 79,8 | 88,0 | 89,5 | 80,0 | 75,0 | 75,8 |        |
| 1935            | 81,5 | 77,8 | 72,3 | 71,3 | 72,4 | 73,0 | 73,2 | 64,9 | 73,0 | 66,0 | 68,0 | 67,0 | 71,7   |
| 1936            | 71,0 | 75,8 | 70,6 | 64,0 | 64,0 | 66,3 | 70,2 | 75,8 | 71,6 | 66,3 | 65,3 | 68,7 | 69,1   |
| 1937            | 75,6 | 74,5 | 64,8 | 66,1 | 73,0 | 73,6 | 74,0 | 77,5 | 75,4 | 70,5 | 69,1 | 73,3 | 72,3   |
| 1938            | 67,6 | 78,5 | 76,6 | 73,9 | 74,0 | 73,7 | 80,2 | 79,3 | 73,7 | 71,4 | 76,8 | 74,3 | 75,0   |
| 1939            | 77,5 | 78,0 | 77,5 | 77,0 | 72,3 | 72,7 | 78,0 | 76,4 | 75,7 | 23,0 | 72,0 | 70,7 | 75,1   |
| 1940            | 74,7 | 75,6 | 74,5 | 71,6 | 69,5 | 71,4 | 73,0 | 75,3 | 76,4 | 71,0 | 66,0 | 67,0 | 72,2   |
| 1941            | 73,5 | 74,0 | 74,0 | 69,8 | 70,0 | 68,0 | 74,0 | 71,0 | 67,5 | 65,5 | 64,6 | 65,7 | 69,8   |
| 1942            | 69,8 | 68,4 | 68,2 | 65,0 | 68,0 | 69,0 | 72,0 | 75,0 | 71,0 | 65,0 | 66,0 | 66,0 | 68,6   |
| 1943            | 74,0 | 74,3 | 73,0 | 73,0 | 73,0 | 69,0 | 76,0 | 74,0 | 72,0 | 65,0 | 65,0 | 65,0 | 71,1   |
| 1944            | 72,0 | 72,0 | 71,0 | 69,7 | 70,9 | 70,0 | 72,2 | 79,5 | 78,7 | 67,6 | 68,6 | 66,3 | 71,5   |
| 1945            | 69,9 | 71,4 | 72,6 | 68,1 | 68,1 | 66,3 | 74,9 | 76,5 | 64,4 | 69,8 | 65,4 | 62,4 | 69,2   |
| 1946            | 73,2 | 72,5 | 71,5 | 69,0 | 66,2 | 67,6 | 72,1 | 75,6 | 65,9 | 61,8 | 61,0 | 60,7 | 68,1   |
| 1947            | 67,2 | 73,6 | 72,0 | 67,2 | 68,1 | 68,0 | 68,2 | 75,2 | 74,8 | 70,4 | 64,9 | 67,3 | 69,7   |
| 1948            | 75,6 | 73,9 | 66,8 | 62,9 | 61,9 | 69,2 | 76,1 | 77,1 | 68,5 | 62,2 | 62,3 | 71,1 | 69,2   |
| 1949            | 71,4 | 71,4 | 69,8 | 71,3 | 70,8 | 71,2 | 70,3 | 69,8 | 67,9 | 66,6 | 62,3 | 68,0 | 69,9   |
| 1950            | 74,9 | 77,9 | 72,6 | 77,6 | 76,5 | 73,4 | 76,5 | 75,5 | 76,2 | 66,6 | 66,6 | 64,5 | 73,2   |
| 1951            | 71,5 | 72,4 | 71,3 | 69,8 | 71,7 | 72,7 | 76,0 | 77,2 | 76,0 | 75,0 | 73,3 | 76,3 | 73,6   |
| 1952            | 76,3 | 77,3 | 74,3 | 74,2 | 71,4 | 66,6 | 71,2 | 72,9 | 69,1 | 64,2 | 64,3 | 64,3 | 70,5   |
| 1953            | 73,1 | 70,6 | 71,9 | 69,0 | 72,1 | 63,7 | 69,3 | 75,9 | 67,3 | 61,8 | 65,6 | 71,5 | 69,3   |
| 1954            | 81,1 | 79,8 | 75,4 | 71,9 | 70,2 | 75,4 | 80,5 | 77,4 | 79,9 | 76,9 | 72,1 | 72,3 | 76,1   |
| 1955            | 74,8 | 78,1 | 79,1 | 73,0 | 73,0 | 74,0 | 78,0 | 75,0 | 76,0 | 75,0 | 69,0 | 73,0 | 74,8   |
| 1956            | 78,0 | 79,0 | 82,0 | 71,0 | 71,0 | 67,0 | 70,0 | 73,0 | 73,0 | 69,0 | 63,0 | 66,0 | 71,7   |
| 1957            | 73,0 | 69,0 | 73,0 | 66,0 | 67,0 | 71,0 | 71,0 | 71,0 | 68,0 | 67,0 | 64,0 | 66,0 | 68,8   |
| 1958            | 72,0 | 75,0 | 74,0 | 72,0 | 67,0 | 68,0 | 72,0 | 76,0 | 69,0 | 68,0 | 67,0 | 64,0 | 70,3   |
| 1959            | 68,0 | 71,0 | 75,0 | 69,0 | 66,0 | 66,0 | 71,0 | 76,0 | 77,0 | 71,0 | 69,0 | 67,0 | 70,5   |
| 1960            | 73,0 | 74,0 | 77,0 | 75,0 | 74,0 | 72,0 | 76,0 | 77,0 | 75,0 | 73,0 | 69,0 | 70,0 | 73,8   |
| 1961            | 76,0 | 78,0 | 75,0 | 74,0 | 67,0 | 70,0 | 76,0 | 74,0 | 76,0 | 74,0 | 66,0 | 67,0 | 72,8   |
| 1962            | 73,0 | 78,0 | 75,0 | 73,0 | 72,0 | 77,0 | 76,0 | 80,0 | 74,0 | 68,0 | 68,0 | 67,0 | 73,4   |
| 1963            | 72,0 | 74,0 | 73,0 | 70,0 | 72,0 | 72,0 | 72,0 | 73,0 | 80,0 | 80,0 | 70,0 | 70,0 | 73,2   |
| 1964            | 70,0 | 76,0 | 72,0 | 69,0 | 71,0 | 69,0 | 78,0 | 74,0 | 79,0 | 72,0 | 61,0 | 72,0 | 71,9   |
| Promedio        | 73,6 | 74,7 | 70,8 | 70,9 | 70,4 | 69,2 | 74,1 | 75,4 | 73,4 | 69,6 | 67,1 | 68,3 | 71,5   |

TABLA B-24

LA MANUELITA

PROMEDIO MENSUAL DE HUMEDAD RELATIVA (%)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Annual |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1959                 | 74,1 | 73,5 | 73,6 | 74,2 | 75,4 | 72,6 | 73,8 | 76,9 | 70,2 | 76,1 | 70,4 | 70,2 | 74,6   |
| 1960                 | 81,1 | 83,9 | 82,7 | 82,4 | 77,7 | 82,5 | 85,5 | 81,9 | 80,7 | 81,0 | 77,1 | 77,7 | 81,2   |
| 1961                 | 82,1 | 85,4 | 81,8 | 81,1 | 82,6 | 83,7 | 84,0 | 88,2 | 85,7 | 79,5 | 82,2 | 81,2 | 83,1   |
| 1962                 | 85,1 | 87,3 | 86,8 | 84,1 | 86,7 | 84,0 | 86,2 | 86,7 | 82,1 | 81,8 | 79,8 | 81,7 | 84,4   |
| 1963                 | 81,7 | 86,5 | 83,5 | 76,6 | 81,9 | 79,1 | 83,8 | 81,5 | 75,9 |      |      |      |        |
| Promedio             | 80,8 | 83,3 | 81,7 | 79,7 | 80,9 | 80,4 | 82,7 | 83,0 | 78,9 | 79,6 | 77,1 | 77,9 | 80,5   |



TABLA B-25  
PALMIRA (GRANJA EXPERIMENTAL)  
EVAPORACION TOTAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1957                 |       |       |       |       |       |       |       |       | 111,2 | 136,4 | 160,1 | 160,4 | 1811,7 |
| 1958                 | 150,9 | 101,7 | 123,2 | 163,1 | 174,6 | 180,3 | 126,2 | 116,6 | 144,2 | 165,1 | 166,4 | 199,4 | 1767,4 |
| 1959                 | 174,9 | 137,4 | 148,4 | 161,9 | 165,4 | 175,1 | 141,7 | 120,2 | 115,0 | 133,1 | 134,7 | 159,6 | 1818,8 |
| 1960                 | 152,9 | 128,6 | 131,5 | 129,1 | 130,2 | 164,3 | 142,1 | 136,9 | 146,1 | 157,5 | 191,7 | 177,9 |        |
| 1961                 | 166,8 | 143,5 |       |       |       |       |       | 106,7 | 101,2 | 138,2 | 152,2 |       |        |
| Total                | 645,5 | 511,2 | 403,1 | 454,1 | 470,2 | 519,7 | 410,0 | 480,4 | 617,7 | 730,3 | 805,1 | 697,3 | 5397,9 |
| Promedio             | 161,4 | 127,8 | 134,4 | 151,4 | 156,7 | 173,2 | 136,7 | 120,1 | 123,5 | 146,1 | 161,0 | 174,3 | 1799,3 |
| % Annual             | 9,1   | 7,2   | 7,6   | 8,6   | 8,9   | 9,8   | 7,7   | 6,8   | 7,0   | 8,3   | 9,1   | 9,9   | 100,0  |

TABLA B-26

LA MANUELITA

EVAPORACION TOTAL (mm)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1959                 | 139,4 | 118,6 | 132,0 | 121,7 | 127,0 | 143,8 | 119,9 | 121,9 | 114,8 | 130,8 | 119,1 | 127,0 | 1515,8 |
| 1960                 | 122,2 | 126,0 | 123,7 | 132,3 | 145,0 | 134,9 | 118,9 | 128,3 | 108,0 | 143,0 | 125,0 | 120,9 | 1568,8 |
| 1961                 | 115,6 | 137,9 | 144,3 | 136,7 | 137,7 | 162,6 | 156,7 | 139,2 | 143,0 | 148,8 | 140,5 | 146,0 | 1710,0 |
| 1962                 | 201,7 | 158,0 | 130,0 | 165,6 | 162,3 | 154,7 | 219,5 | 156,0 | 123,2 | 143,5 | 138,7 | 135,4 | 1888,6 |
| 1963                 | 190,7 | 158,5 | 154,7 | 172,0 | 168,4 | 171,2 | 159,0 | 163,6 | 132,6 | 190,5 | 144,5 | 162,6 | 1968,3 |
| Total                | 769,6 | 699,0 | 624,7 | 728,3 | 740,4 | 767,2 | 774,0 | 709,0 | 621,6 | 756,6 | 816,9 | 830,3 | 8651,5 |
| Promedio             | 153,9 | 139,8 | 124,9 | 145,7 | 148,1 | 153,4 | 154,8 | 141,8 | 124,3 | 151,3 | 136,2 | 138,4 | 1730,3 |

TABLA B-27  
PALMIRA (GRANJA EXPERIMENTAL)  
VELOCIDAD MAXIMA DEL VIENTO (km/h)

| Año Hidro<br>lógico | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | Mayo | Jun | Jul | Ago | Sep | Annual |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1957                | 33  |     | 73  |     |     | 74  | 37  | 38   | 32  | 37  | 31  |     | 74     |
| 1958                |     |     |     | 27  | 40  | 25  | 35  | 25   | 16  | 24  | 25  | 30  | 40     |
| 1959                | 30  | 21  |     | 21  |     | 27  | 22  | 75   | 25  |     |     |     | 75     |
| 1960                |     |     | 24  | 29  | 14  | 33  | 22  | 9    | 11  | 15  | 19  | 71  | 71     |
| 1961                | 21  | 24  |     |     |     |     |     | 10   | 17  | 16  | 15  |     | 24     |
| 1962                |     |     |     |     | 14  | 12  | 19  | 13   | 14  |     | 14  | 17  | 19     |
| 1963                | 32  | 13  | 12  | 27  | 12  | 28  | 6   |      |     |     |     |     | 32     |
| 1964                | 18  | 12  | 18  | 16  | 16  | 18  |     |      |     |     | 15  | 17  | 32     |
| Período<br>Máximo   | 33  | 24  | 73  | 29  | 40  | 74  | 37  | 75   | 32  | 37  | 31  | 71  | 75     |

Velocidad promedio del viento 25,2 km/h para los 59 meses.

Desviación standard - 16,7 km/h.

TABLA B-28  
SISTEMA CHEC  
RIO CHINCHINA EN LA BOCATOMA DE LA "INSULA"  
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct              | Nov              | Dic    | Ene    | Feb    | Mar              | Abr    | Mayo   | Jun    | Jul    | Ago    | Sep              | Annual |
|----------------------|------------------|------------------|--------|--------|--------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|--------|
| 1952                 | 12,5             | 19,3             | 19,7   | 13,0   | 9,3    | 13,4             | 19,5   | 25,8   | 15,7   | 11,1   | 8,0    | /11,1/<br>13,4   | 15,1   |
| 1953                 | 21,6             | 27,6             | 22,7   | 12,8   | 12,8   | 11,9             | 19,6   | 22,8   | 20,6   | 17,0   | 12,8   | 9,0              | 17,6   |
| 1954                 | /24,5/<br>(19,2) | /30,3/<br>(24,1) | 19,9   | 15,9   | 9,6    | /21,0/<br>(18,6) | (21,4) | (20,1) | (18,2) | 20,2   | 19,7   | /28,8/<br>(12,4) | 20,8   |
| 1955                 | (18,4)           | (19,6)           | (23,0) | (19,4) | (13,1) | (15,6)           | (15,0) | (16,9) | (20,5) | (14,7) | (13,2) | (8,8)            | 19,1   |
| 1956                 | (10,5)           | (13,6)           | (19,3) | (14,2) | (12,1) | (10,9)           | (16,1) | (16,8) | (18,1) | (12,5) | (10,4) | (8,8)            | 16,0   |
| 1957                 | (9,7)            | (15,8)           | (17,8) | (16,3) | (12,0) | (10,3)           | (12,9) | (14,1) | (12,6) | (11,3) | (11,0) | (8,4)            | 12,6   |
| 1958                 | (12,4)           | (15,6)           | (18,9) | (23,1) | (20,0) | (14,9)           | (11,6) | (14,9) | (15,5) | (13,8) | (10,0) | (9,3)            | 13,1   |
| 1959                 | 15,8             | 21,4             | 23,8   | 14,1   | 13,0   | 13,4             | 15,1   | 17,8   | 15,7   | 15,9   | 11,8   | 11,4             | 16,1   |
| 1960                 | 14,3             | 28,0             | 14,6   | 10,6   | 9,9    | 11,7             | 14,2   | 19,7   | 15,6   | 15,1   | 8,7    | 9,8              | 15,2   |
| 1961                 |                  |                  |        |        |        |                  |        |        |        | 11,9   | (12,6) | (10,6)           | 14,5   |
| 1962                 |                  |                  |        |        |        |                  |        |        |        |        |        |                  |        |
| Promedio             | 15,3             | 21,5             | 20,8   | 16,6   | 13,2   | 14,2             | 16,4   | 18,4   | 16,7   | 14,4   | 11,8   | 12,2             | 16,0   |

NOTAS: ( ) Valores interpolados de una correlación entre el río Cauca en Suárez y el río Chinchiná.

/ / Valores promedios para registros de meses incompletos.

TABLA B-29

SISTEMA CHEC

RIO CAMPOALEGRE EN LA CASA DE MAQUINAS DE LA "INSULA"

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct    | Nov    | Dic    | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | Mayo   | Jun    | Jul    | Ago    | Sep   | Annual |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 1952            | 12,7   | 23,4   | 15,9   | 13,7   | 10,2   | 12,3   | 20,9   | 23,5   | 15,0   | 9,5    | 5,6    | 10,2  | 14,4   |
| 1953            | 20,3   | 22,7   | 19,1   | 10,2   | 10,9   | 7,9    | 16,2   | 18,6   | 15,5   | 16,3   | 12,2   | 6,2   | 14,7   |
| 1954            | 22,4   | 24,3   | 19,5   | 15,2   | 9,6    | 17,7   | 24,8   | 18,7   | 19,7   | 17,3   | 13,9   | 14,8  | 18,2   |
| 1955            | 30,4   | 23,8   | /22,7/ | 20,4   | (18,3) | (16,5) | (12,8) | 14,7   | (18,4) | (12,5) | (10,8) | (9,9) | 17,6   |
| 1956            | (16,4) | (17,6) | (20,8) | (17,4) | (10,7) | (13,4) | (14,0) | (14,7) | (16,0) | (10,0) | (7,9)  | (6,1) | 13,8   |
| 1957            | (8,0)  | (11,2) | (17,2) | (11,9) | (9,6)  | (8,4)  | (10,5) | (11,8) | (10,1) | (13,7) | (8,4)  | (5,7) | 10,5   |
| 1958            | (7,1)  | (13,7) | (15,7) | (14,2) | (14,4) | (7,7)  | (9,0)  | (12,7) | (13,3) | (11,4) | (7,4)  | (6,7) | 11,0   |
| 1959            | (9,9)  | (13,4) | (16,8) | (20,9) | (17,9) | (12,7) | 17,2   | 16,9   | 18,2   | 16,2   | 10,6   | 12,7  | 15,3   |
| 1960            | 15,2   | 19,1   | 14,6   | 8,1    | 7,4    | 8,6    | 10,5   | 7,8    | 12,6   | 12,2   | 6,4    | 6,9   | 10,8   |
| 1961            | 11,4   | (25,4) | 10,2   | 9,9    | 8,6    | 10,7   | 13,6   | 20,4   | 19,8   | 13,9   | (10,1) | (8,1) | 14,6   |
| 1962            | 15,4   | 19,5   | 17,3   | 14,2   | 11,8   | 11,6   | 15,0   | 16,0   | 15,9   | 13,3   | 9,3    | 8,7   | 14,1   |

NOTAS: ( ) Valores interpolados de una correlación entre el río Chinchiná y el Campoalegre.

/ / Valores promedios para meses de registros incompletos.

TABLA B-30

SISTEMA CHEC

RIO LA ESTRELLA A 15 KM DE CHINCHINA EN EL CAMINO CHINCHINA-LA ESTRELLA  
CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov   | Dic          | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul          | Ago   | Sep          | Annual |
|----------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|--------|
| 1952                 |       |       |              |       |       |       |       |       |       |              |       |              |        |
| 1953                 | 1,7   | 2,9   | 2,6          | 3,3   | 1,4   | 1,4   | 9,0   | 5,9   | 2,3   | 3,4          | 1,0   | /1,4/<br>2,0 | 3,1    |
| 1954                 | 5,6   | 6,1   | 4,8          | 2,0   | 2,8   | 1,3   | 3,1   | 3,7   | 3,7   | /4,2/<br>1,7 | (2,0) | /1,4/<br>3,1 | 3,4    |
| 1955                 | 4,3   | 5,6   | 6,6          | 3,9   | 2,5   | 4,4   | (4,9) | (6,6) | 1,7   | (2,4)        | 2,9   | (2,0)        | 4,0    |
| 1956                 | 5,2   | 6,0   | 3,6          | 2,9   | (3,4) | (3,1) | (2,5) | (2,8) | (3,4) | (2,0)        | (2,2) | (1,2)        | 3,3    |
| 1957                 | (3,1) | (3,3) | (3,8)        | (3,2) | (2,1) | (2,6) | (2,7) | (2,8) | (3,0) | (2,0)        | (1,6) | (1,1)        | 2,6    |
| 1958                 | (1,6) | (2,3) | (3,2)        | (2,3) | (1,9) | (1,7) | (2,1) | (2,3) | (2,0) | (1,8)        | (1,7) | (1,3)        | 2,0    |
| 1959                 | (1,4) | (2,6) | (2,9)        | (2,7) | (1,9) | (1,6) | (1,8) | (2,4) | (2,6) | (2,3)        | (1,5) | (1,8)        | 2,1    |
| 1960                 | (2,0) | (2,6) | (3,1)        | (3,8) | (3,3) | (2,4) | (2,5) | (2,9) | (2,6) | (2,6)        | (1,9) | (1,8)        | 2,6    |
| 1961                 | (2,6) | (3,6) | /2,8/<br>3,0 | 2,1   | 1,9   | 1,4   | 2,1   | 1,4   | 1,8   | 2,1          | 1,2   | 1,3          | 2,0    |
| 1962                 | 1,4   | 3,0   | 3,0          | 2,3   | 2,1   | (1,8) | (2,3) | (3,3) | (2,6) | (1,9)        | (2,0) | (1,6)        | 2,3    |
| Promedio             | 2,9   | 3,8   | 3,6          | 2,9   | 2,3   | 2,2   | 3,3   | 3,4   | 2,6   | 2,4          | 1,8   | 1,7          | 2,7    |

NOTAS: ( ) Valores interpolados de una correlación entre el río Chinchiná y el río La Estrella.

/ / Valores promedios para meses de registros incompletos.

TABLA B-31

SISTEMA CHEC

RIO SAN FRANCISCO EN EL KM 7 DEL CAMINO CHEC

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct   | Nov   | Dic   | Ene   | Feb   | Mar   | Abr   | Mayo  | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Annual |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1953            | 5,3   | 7,7   | 5,9   | (2,6) | (2,9) | (1,4) | (5,1) | (6,1) | (5,4) | (4,2) | (2,6) | 2,6   | 4,3    |
| 1954            | 3,4   | 5,0   | 3,8   | 2,5   | 2,9   | (2,6) | (5,7) | (6,2) | 5,5   | 5,9   | (5,5) | /1,8/ | 4,4    |
| 1955            | 5,0   | 6,5   | 9,6   | 6,5   | (5,3) | (4,8) | (3,4) | (4,2) | (5,3) | (3,3) | (2,8) | (2,4) | 4,9    |
| 1956            | 4,7   | (5,1) | (6,2) | (5,0) | (2,8) | (3,7) | (3,8) | (4,2) | (4,6) | (2,5) | (1,7) | (1,0) | 3,8    |
| 1957            | (1,7) | (2,9) | (5,0) | (3,2) | (2,3) | (1,9) | (2,6) | (3,2) | (2,5) | (2,0) | (1,9) | (0,9) | 2,5    |
| 1958            | (1,4) | (3,7) | (4,5) | (3,9) | (2,3) | (1,7) | (2,2) | (3,4) | (3,6) | (3,0) | (1,5) | (1,2) | 2,7    |
| 1959            | (2,4) | (3,7) | (4,8) | (6,2) | (5,2) | (3,4) | (3,5) | (4,4) | (3,7) | (3,8) | (2,2) | (2,1) | 3,8    |
| 1960            | (3,7) | (5,7) | (6,4) | (3,1) | (2,7) | (2,8) | (4,7) | (3,4) | (3,3) | (3,5) | (1,0) | (1,4) | 3,5    |
| 1961            | (3,4) | (7,5) | (3,3) | (1,7) | (1,5) | (2,1) | (3,1) | (5,1) | (3,7) | (2,2) | (2,5) | (1,7) | 3,2    |
| Promedio        | 3,4   | 5,3   | 5,5   | 3,9   | 3,1   | 2,7   | 3,8   | 4,5   | 4,2   | 3,4   | 2,4   | 1,9   | 3,7    |

NOTAS: ( ) Valores interpolados de una correlación entre el río Chinchiná y el río San Francisco.

/ / Valores promedios para meses de registros incompletos.

TABLA B-32

SISTEMA DE BOGOTA

RIO ALICACHIN - ESTACION DE AFOROS DE "EL CHARQUITO"

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct  | Nov   | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Annual |
|-----------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1934            |      |       |      | 35,0 | 14,8 | 7,0  | 11,5 | 19,0 | 30,7 | 36,8 | 42,9 | 14,7 | 23,6   |
| 1935            | 23,7 | 38,0  | 28,9 | 11,9 | 16,4 | 5,2  | 13,7 | 53,7 | 34,7 | 44,1 | 43,3 | 28,2 | 28,5   |
| 1936            | 38,7 | 57,9  | 45,2 | 7,7  | 3,2  | 3,7  | 10,7 | 24,8 | 34,7 | 27,2 | 32,6 | 16,3 | 25,2   |
| 1937            | 26,8 | 35,0  | 13,8 | 17,5 | 16,5 | 7,4  | 10,4 | 19,6 | 25,6 | 37,9 | 32,3 | 16,8 | 21,6   |
| 1938            | 15,4 | 44,2  | 17,0 | 7,7  | 5,3  | 7,4  | 45,9 | 88,9 | 41,0 | 38,2 | 39,2 | 21,1 | 30,9   |
| 1939            | 37,0 | 57,8  | 60,7 | 26,3 | 6,0  | 8,9  | 27,1 | 23,6 | 22,6 | 23,1 | 19,9 | 17,9 | 27,6   |
| 1940            | 26,2 | 79,9  | 23,0 | 7,8  | 2,6  | 2,4  | 7,2  | 12,7 | 20,3 | 29,6 | 29,9 | 8,7  | 20,9   |
| 1941            | 25,2 | 49,6  | 33,7 | 10,0 | 2,8  | 4,1  | 9,5  | 13,0 | 14,6 | 23,9 | 22,6 | 9,1  | 18,2   |
| 1942            | 13,5 | 22,9  | 10,8 | 2,3  | 3,9  | 3,5  | 11,8 | 36,9 | 25,9 | 33,1 | 19,4 | 11,2 | 16,3   |
| 1943            | 21,6 | 57,5  | 36,0 | 16,4 | 11,6 | 17,6 | 34,3 | 68,0 | 41,8 | 54,7 | 52,8 | 37,5 | 37,5   |
| 1944            | 26,2 | 43,6  | 19,7 | 12,9 | 8,9  | 8,1  | 18,7 | 85,7 | 73,5 | 57,0 | 36,6 | 28,1 | 34,9   |
| 1945            | 29,7 | 55,7  | 15,5 | 5,8  | 4,4  | 3,7  | 19,4 | 70,2 | 75,5 | 38,8 | 34,3 | 10,9 | 30,3   |
| 1946            | 15,8 | 34,9  | 18,6 | 12,7 | 4,1  | 5,4  | 18,6 | 22,7 | 13,5 | 27,3 | 36,7 | 13,7 | 18,7   |
| 1947            | 7,9  | 9,2   | 8,4  | 8,3  | 4,7  | 4,5  | 3,0  | 3,6  | 17,6 | 21,8 | 23,4 | 23,7 | 11,3   |
| 1948            | 49,1 | 36,6  | 4,8  | 3,8  | 3,3  | 2,7  | 23,1 | 21,1 | 21,7 | 26,8 | 18,0 | 7,6  | 18,2   |
| 1949            | 7,2  | 12,3  | 5,5  | 4,2  | 4,3  | 5,7  | 14,1 | 23,6 | 41,0 | 44,2 | 28,5 | 16,3 | 17,2   |
| 1950            | 29,2 | 27,5  | 11,1 | 6,6  | 39,7 | 32,4 | 23,5 | 77,9 | 86,9 | 51,0 | 41,9 | 16,0 | 37,0   |
| 1951            | 45,7 | 42,1  | 38,4 | 8,9  | 10,5 | 21,3 | 21,7 | 53,6 | 38,1 | 35,0 | 35,7 | 15,6 | 30,6   |
| 1952            | 18,0 | 53,4  | 14,7 | 8,8  | 9,1  | 9,8  | 20,5 | 42,1 | 29,9 | 45,4 | 38,8 | 22,1 | 26,1   |
| 1953            | 14,0 | 48,0  | 40,5 | 9,7  | 10,7 | 10,1 | 19,7 | 39,5 | 36,6 | 25,9 | 18,9 | 11,8 | 23,8   |
| 1954            | 55,3 | 60,5  | 32,8 | 10,8 | 11,5 | 11,5 | 14,1 | 18,7 | 34,5 | 22,1 | 32,5 | 20,5 | 27,1   |
| 1955            | 67,1 | 104,6 | 35,8 | 15,1 | 16,2 | 22,0 | 56,5 | 71,7 | 26,4 | 47,2 | 21,5 | 24,5 | 42,4   |
| 1956            | 53,2 | 71,6  | 36,8 | 31,8 | 16,1 | 28,6 | 28,3 | 22,8 | 40,0 | 40,6 | 32,4 | 30,8 | 36,1   |
| 1957            | 64,1 | 67,9  | 35,9 | 25,9 | 14,4 | 20,5 | 23,5 | 54,1 | 52,2 | 36,8 | 27,3 | 24,9 | 37,3   |
| 1958            | 27,9 | 32,9  | 20,4 | 13,6 | 12,8 | 12,8 | 12,4 | 14,3 | 12,8 | 17,9 | 21,8 | 17,0 | 18,1   |
| 1959            | 15,2 | 23,3  | 12,7 | 13,0 | 12,0 | 11,4 | 10,5 | 22,0 | 24,1 | 52,8 | 20,0 | 29,6 | 20,6   |
| 1960            | 29,9 | 43,1  | 16,9 | 15,2 | 16,2 | 16,2 | 23,2 | 17,3 | 18,2 | 23,1 | 29,2 | 20,7 | 22,4   |
| 1961            | 18,4 | 22,9  | 25,8 | 15,2 | 12,6 | 15,5 | 19,5 | 13,0 | 22,7 | 40,9 | 30,8 | 14,9 | 21,0   |
| 1962            | 31,5 | 56,0  | 18,4 | 14,7 | 16,7 | 15,4 | 13,4 | 24,8 | 37,2 | 33,0 | 38,0 | 18,9 | 26,5   |
| 1963            | 21,6 | 42,6  | 23,5 | 20,9 | 20,0 | 19,8 | 21,4 | 52,5 | 32,1 | 21,7 | 26,7 | 18,0 | 26,7   |
| 1964            | 17,2 | 36,5  | 16,9 | 14,9 | 15,8 | 14,8 | 17,4 | 16,9 |      |      |      |      | 18,8   |
| Promedio        | 29,1 | 45,6  | 24,1 | 13,4 | 11,0 | 11,5 | 19,6 | 37,0 | 34,2 | 35,3 | 30,9 | 18,9 | 25,7   |



TABLA B-33

SISTEMA DE MEDELLIN

RIO CONCEPCION - ESTACION DE AFOROS TC-4

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct   | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Annual |
|----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 1955                 |       |      | 6,17 | 4,82 | 3,78 | 3,95 | 5,13 | 6,60 | 7,46 | 8,22 | 7,45 | 8,20 | 6,18   |
| 1956                 | 10,20 | 8,13 | 5,25 | 5,61 | 5,28 | 4,74 | 5,61 | 7,79 | 9,56 | 6,55 | 8,30 | 7,43 | 7,11   |
| 1957                 | 8,46  | 8,45 | 5,25 | 4,13 | 3,77 | 2,98 | 4,22 | 5,75 | 4,86 | 4,66 | 5,24 | 5,41 | 5,27   |
| 1958                 | 6,70  | 5,55 | 4,40 | 3,15 | 2,52 | 2,79 | 2,51 | 4,36 | 3,14 | 2,92 | 4,70 | 3,09 | 3,82   |
| 1959                 | 3,58  | 2,96 | 2,98 | 1,99 | 1,78 | 1,93 | 2,44 | 3,67 | 4,41 | 5,28 | 4,62 | 6,23 | 3,49   |
| 1960                 | 6,27  | 6,46 | 4,29 | 3,57 | 3,12 | 2,69 | 3,98 | 4,54 | 5,48 | 5,86 | 5,78 | 6,42 | 4,87   |
| 1961                 | 5,79  | 5,27 | 5,63 | 3,47 | 3,15 | 2,93 | 4,38 | 3,95 | 5,77 | 5,93 | 4,91 | 6,45 | 4,80   |
| 1962                 | 5,64  | 7,32 | 4,56 | 3,66 | 3,12 | 3,28 | 3,45 | 6,62 | 6,02 | 6,11 | 6,89 | 6,42 | 5,26   |
| 1963                 | 6,39  | 7,00 | 4,28 | 3,55 | 3,75 | 3,82 | 5,51 | 6,18 | 5,61 | 7,66 | 5,77 | 5,74 | 5,44   |
| 1964                 | 6,48  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |        |
| Promedio             | 6,63  | 6,39 | 4,70 | 3,80 | 3,32 | 3,16 | 3,97 | 5,41 | 5,84 | 5,69 | 5,99 | 6,21 | 5,14   |

TABLA B-34

SISTEMA DE MEDELLIN

RIO GUADALUPE - ESTACIONES DE AFORO  
CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct    | Nov    | Dic    | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | Mayo   | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Annual |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1955                 |        |        |        | 15,8   | 13,2   | 16,9   | 21,8   | 28,2   | 25,9   | 29,4   | 27,6   | 28,0   | 23,0   |
| 1956                 | 35,9   | 29,0   | 18,1   | 15,1   | 15,4   | 16,2   | 21,5   | 36,1   | 40,8   | 25,5   | 33,9   | 28,4   | 26,3   |
| 1957                 | 32,2   | 30,4   | 20,0   | 13,4   | 15,9   | 11,4   | 14,8   | 21,8   | 22,7   | 22,6   | 24,8   | 23,3   | 21,1   |
| 1958                 | 25,2   | 20,1   | 15,7   | 10,5   | 9,0    | 10,0   | 9,4    | 19,7   | 12,8   | 11,7   | 21,2   | 12,9   | 14,9   |
| 1959                 | 16,4   | 12,6   | 12,7   | 8,9    | 7,2    | 9,2    | 12,3   | 18,1   | 23,3   | 29,4   | 23,1   | 31,6   | 17,1   |
| 1960                 | 33,3   | 30,9   | 19,5   | 14,4   | 11,9   | 9,5    | 16,7   | 20,9   | 25,6   | 25,1   | 25,1   | 30,1   | 21,9   |
| 1961                 | 27,9   | 24,5   | 26,4   | (11,9) | (12,5) | (13,3) | (21,3) | (15,4) | (21,3) | (19,1) | (16,1) | (20,9) | (19,2) |
| 1962                 | (20,8) | (29,0) | (16,7) | (13,1) | (11,4) | (15,0) | (18,3) | (34,0) | (26,0) | (21,0) | (25,4) | (25,0) | (21,3) |
| 1963                 | (30,0) | (28,0) | (19,0) | (12,8) | (16,3) | (17,4) | (31,7) | (33,0) | (21,7) | (25,8) | (22,6) | (20,0) | (23,2) |
| 1964                 | (27,3) | (30,5) | (15,0) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Promedio             | 27,7   | 26,1   | 18,2   | 12,9   | 12,5   | 13,2   | 18,6   | 25,2   | 24,5   | 23,3   | 24,4   | 24,5   | 20,9   |

NOTA: ( ) Valores interpolados de una correlación entre el río Grande y el río Guadalupe.

TABLA B-35

SISTEMA DE MEDELLIN

RIO GRANDE - ESTACIONES DE AFORO RG-1, RG-2, RG-8

CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidro-<br>lógico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Anual |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1955                 | 61,6 | 58,9 | 52,6 | 42,8 | 54,3 | 38,2 | 45,6 | 56,2 | 43,4 | 40,2 | 39,8 | 47,2 | 50,6  |
| 1956                 | 67,1 | 44,5 | 40,9 | 25,5 | 25,4 | 20,1 | 37,8 | 45,2 | 56,6 | 44,1 | 49,9 | 46,5 | 36,2  |
| 1957                 | 46,5 | 40,2 | 24,8 | 18,8 | 14,7 | 19,0 | 20,0 | 34,9 | 31,8 | 28,7 | 32,5 | 34,7 | 25,0  |
| 1958                 | 27,8 | 26,1 | 26,4 | 13,9 | 11,3 | 15,3 | 22,5 | 27,3 | 22,6 | 15,0 | 26,9 | 16,1 | 24,2  |
| 1959                 | 40,0 | 41,9 | 22,5 | 21,1 | 19,5 | 19,6 | 34,6 | 35,2 | 28,5 | 28,5 | 27,1 | 35,7 | 30,8  |
| 1960                 | 39,7 | 39,0 | 35,2 | 18,8 | 19,9 | 21,3 | 33,6 | 24,4 | 29,2 | 34,4 | 32,1 | 39,3 | 29,5  |
| 1961                 | 32,9 | 45,2 | 28,2 | 21,2 | 18,2 | 23,8 | 29,1 | 52,9 | 33,6 | 30,3 | 25,7 | 33,0 | 33,7  |
| 1962                 | 46,9 | 43,8 | 30,3 | 21,6 | 26,1 | 27,5 | 49,4 | 51,4 | 40,6 | 33,1 | 39,7 | 39,1 | 33,7  |
| 1963                 | 42,9 | 47,9 | 24,0 | 21,6 | 26,1 | 27,5 | 49,4 | 51,4 | 34,3 | 40,4 | 35,7 | 31,8 | 36,6  |
| 1964                 | 43,0 | 41,1 | 29,0 | 23,0 | 23,7 | 23,1 | 34,1 | 40,9 | 34,7 | 31,8 | 33,7 | 34,5 | 33,3  |
| Promedio             | 43,0 | 41,1 | 29,0 | 23,0 | 23,7 | 23,1 | 34,1 | 40,9 | 34,7 | 31,8 | 33,7 | 34,5 | 33,3  |

B-36

SISTEMA DE MEDELLIN

RIO NARE - ESTACION DE AFORO RN-5  
CAUDALES PROMEDIOS MENSUALES (m<sup>3</sup>/s)

| Año Hidrológico | Oct  | Nov  | Dic  | Ene  | Feb  | Mar  | Abr  | Mayo | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Anual |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1955            | 76,0 | 85,4 | 66,0 | 62,2 | 53,6 | 49,4 | 45,9 | 84,0 | 70,8 | 50,6 | 44,9 | 59,4 | 63,5  |
| 1956            | 87,0 | 76,6 | 56,1 | 34,9 | 28,3 | 21,7 | 43,0 | 55,0 | 43,7 | 35,0 | 56,4 | 62,2 | 46,6  |
| 1957            | 46,9 | 41,4 | 34,0 | 19,7 | 17,7 | 24,4 | 26,9 | 44,3 | 25,8 | 20,4 | 37,2 | 40,4 | 30,7  |
| 1958            | 37,5 | 34,0 | 30,8 | 17,5 | 14,5 | 16,4 | 23,0 | 35,3 | 36,2 | 29,8 | 33,8 | 25,9 | 30,5  |
| 1959            | 48,7 | 48,1 | 27,7 | 21,7 | 19,7 | 24,2 | 29,7 | 43,4 | 40,7 | 49,4 | 33,2 | 53,3 | 36,7  |
| 1960            | 47,4 | 45,0 | 51,7 | 27,4 | 25,9 | 24,9 | 30,8 | 29,9 | 38,1 | 34,0 | 28,7 | 54,0 | 36,5  |
| 1961            | 56,2 | 76,1 | 44,1 | 26,1 | 22,2 | 34,2 | 43,0 | 82,7 | 81,7 | 49,8 | 54,0 | 55,9 | 52,2  |
| 1962            | 77,5 | 64,7 | 40,3 | 28,3 | 38,8 | 41,8 | 56,0 | 59,2 | 40,0 | 42,9 | 43,4 | 47,3 | 48,4  |
| 1963            | 59,4 | 73,4 | 34,9 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| Promedio        | 57,6 | 57,4 | 40,0 | 29,7 | 27,6 | 29,6 | 37,3 | 54,2 | 47,1 | 39,0 | 40,9 | 49,5 | 43,1  |

NOTA: Las descargas anotadas son valores netos después de deducir 3 m<sup>3</sup>/s que se desviarán del embalse para el acueducto de Medellín, antes de terminar el proyecto de Nare.

## APENDICE C

### LEVANTAMIENTOS Y CARTOGRAFIA

#### C-1 LEVANTAMIENTOS Y MAPAS EXISTENTES

##### C-1.1 Mapas Existentes

Los únicos mapas topográficos básicos del Valle, hechos con anterioridad a los presentes estudios, son los del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), basados en fotografías aéreas tomadas entre 1943 y 1946 y restituidas algún tiempo después. Estos mapas, con curvas de nivel a escala 1:10000, cubren toda la zona plana del sur del Valle, entre Suárez y Cerrito y parte de la zona del Zarzal hacia el norte. Además, abarcan varias secciones montañosas aisladas de las dos cordilleras y de la parte sur del Departamento de Caldas. Igualmente cubren las hoyas de los ríos Timba y Ovejas y la mayor parte del embalse de Salvajina (ver Figura 2). Sin embargo, puesto que las curvas de nivel están de 25 en 25 m, prácticamente no aparece ninguna en la parte plana del Valle. Mapas similares, sin curvas de nivel y a escala 1:25000, existen también para la zona entre Cerrito y Zarzal.

Hacia 1947, antes de la elaboración de estos mapas, Parsons, Brinckerhoff, Hogan and MacDonald (PBHM), llevaron a cabo trabajos adicionales para el levantamiento del valle con curvas de nivel, tomándolo de las aerofotografías mencionadas. Esta labor fue posteriormente completada por OLAP y sus resultados se incorporaron en el informe titulado "Plan General de Electrificación" y "Plan General de Irrigación", terminados en 1949 y 1950 respectivamente. Este mapa, aun cuando el mejor de su clase, es sin embargo apenas aproximado y de uso limitado.

Se dispone además de un número de mapas topográficos hechos para proyectos específicos, el más importante de los cuales es el de la margen izquierda del río Cauca, entre Timba y Cali, preparado por OLAP, en conexión con el proyecto de irrigación de Timba, y también los levantados por Electroaguas, para el proyecto de irrigación del río Palo. Se han hecho otros levantamientos menores en las zonas del río Palo, río Jamundí, río La Paila y levantamientos muy detallados para el proyecto de Aguablanca.

Para el proyecto de Timba, la CVC levantó en 1955 mapas con curvas de nivel de metro en metro para la parte plana y de 5 m en 5 m en las zonas montañosas, a escala de 1:5000. El área levantada fue posteriormente ampliada por el IGAC mediante fotografías aéreas, con curvas de 5 en 5 m, hasta cubrir un área de 3,5 km por 2,0 km a cada lado de los estribos de la presa de Timba. En el sitio de Salvajina, PBHM hizo en 1947 levantamientos a plancheta hasta la elevación 1160 m, con curvas cada 16 m. A su vez, en 1948, el sitio de la presa fue levantado con curvas cada 2 m. Este mapa ha sido la base para el cálculo de los volúmenes del embalse, usados en estos estudios, habiendo sido

necesario extrapolar por encima de la elevación 1160 m. Este mapa se ha ido revisando y sustituyendo como luego se describe. Los levantamientos actuales, indican una discrepancia de alrededor de 1,5 m entre éstos y los mapas de PBHM, para la zona de Salvajina.

Un cierto número de mapas originales preparados por Asnazú Gold Dredging Co., en conexión con su explotación minera entre Suárez y Timba, fueron facilitados por esta compañía y serán devueltos a ellos en sus oficinas del Bagre, Antioquia, a la terminación de estos trabajos.

### C-1.2 Levantamientos Aerofotográficos

Las primeras fotografías aéreas en la zona de CVC, fueron las tomadas por IGAC entre 1943 a 1946. Estas fotografías, a escala de 1:33000, cubren la mayor parte de la zona plana del Valle y unas pocas de sus zonas montañosas y de Caldas, incluyendo las hoyas de los ríos Cauca, Timba, Ovejas y Dagua. Ellas son la base de los mapas del IGAC, descritos antes.

En 1957, Spartan Services Ltd., del Canadá, tomó fotografías del valle del Cauca en escala 1:20000 y de los ríos Calima, Dagua y Anchicayá y de sus tributarios, a escalas entre 1:24000 a 1:42000, al igual que de las zonas desde Popayán hasta Cali, a escala de 1:54000. Estas fotografías fueron usadas por IGAC para hacer los mapas entre Cerrito y Zarzal, antes mencionados, y también para un mapa con curvas de nivel en las zonas de los proyectos de Calima I y Calima II. Puesto que sólo se disponía de puntos de control terrestres para Calima I, la parte oriental del mapa de la zona de Calima II resultó equivocada y ha sido ahora nuevamente restituida, a partir de un nuevo vuelo hecho por IGAC.

Fotografías adicionales, que aún no han sido restituidas, fueron tomadas por IGAC en 1962, a escala de 1:20000, sobre la parte plana del valle entre Timba y el río Fraile y entre Toro y San Francisco (Valle), para la CVC y el INCORA.

El IGAC también hizo vuelos y restituyó mapas, para las zonas de los proyectos de Aguablanca y de la Victoria, Cartago. Las partes altas de los ríos Copomá, Munguidó y Riofrío, también fueron sobrevoladas y restituidas por la firma Aerofotografía Ltda. (Caldas & Zamorano), de Cali.

Existen fotos aéreas de las zonas planas del valle afectadas por las inundaciones, tomadas con cámaras de mano por personal de la CVC en Enero 14 de 1956, Enero 1960 y Junio 7 de 1964. Las del año 56, se extienden sólo de Yumbo para abajo, mientras que las del 60 y 64, cubren desde Timba hasta el norte del Valle. Estas fotografías resultaron muy útiles, en la demarcación de las zonas sujetas a inundación, (Figura 14).

C-2.1 Levantamientos para la Presa y Embalse de Salvajina

Todos los levantamientos de campo para el presente informe, fueron realizados por personal de la CVC. Puesto que los primitivos mapas de PBHM fueron levantados sobre la base de coordenadas arbitrarias, se adoptó al principio un sistema de coordenadas provisional, que luego se enlazó con los puntos del Instituto Geográfico por medio de una triangulación de segundo orden. En consecuencia, las coordenadas ahora usadas, son las del Instituto Geográfico. Las cotas para todos los levantamientos del valle del Cauca hechos por CVC, se basan en el sistema para el Valle de CVC, que proviene del dato original del IGAC usado para los levantamientos de mapas de 1945, antes descritos. Sin embargo, el IGAC ha revisado posteriormente sus cotas, de manera que sus elevaciones son hoy 5,95 m más bajas que las de CVC. Los levantamientos de PBHM para el sitio de Salvajina y embalse, se basaron en los datos del Ferrocarril del Pacífico en Suárez, que dan elevaciones numéricamente menores a las de CVC en 1,50 m. Se anota igualmente que el sistema de cotas de CVC para el valle, difiere del adoptado para las de Calima. En el Apéndice C del Informe Unificado de 1956, se inserta la descripción del sistema del IGAC.

Los levantamientos hechos en 1963-1964 para el proyecto múltiple de Salvajina, se resumen así:

(a) Levantamiento completo, a plancheta, del sitio de la presa, con curvas de 2 m en 2 m.

(b) Toma de secciones transversales del río Cauca desde el sitio de la presa hasta la confluencia con el Ovejas. Estas se hicieron para la determinación de la curva de remanso del caudal efluente, como se ve en la Figura 22.

(c) Toma de secciones transversales de los desechos de dragado entre Suárez y Timba, para determinar la disponibilidad del material de préstamo y para completar levantamientos aerofotográficos incompletos (ver también literal (f) adelante).

(d) Determinación de los perfiles en los sitios de los portales del túnel de desviación de los ríos Ovejas y Pescador, en sus posibles accesos a nuevos frentes al mismo y en la quebrada Don Martín, enlazados mediante nivelación trigonométrica y por triangulación, a la base de Salvajina. Discrepancias de hasta 10 m entre estos perfiles y las elevaciones de los mapas del IGAC, se encontraron en algunos casos.

(e) Numerosos otros trazados para la localización de las exploraciones.

(f) Además, se hicieron fotografías aéreas de las zonas denominadas A, B y C. La restitución correspondiente no se ha terminado aún y el trabajo se continúa como sigue:

Zona A. Se han tomado aerofotografías a escala 1:20000 y establecido los puntos de fotocontrol. El IGAC está haciendo ahora la restitución para curvas de 5 en 5 m, a escala de 1:5000. Esta zona cubre el embalse de Salvajina.

Zona B. Se fotografió a escala de 1:25000, pero los puntos de control terrestres no se han completado aún, ni lo serán por ahora. Restituyendo las fotografías de esta zona, que cubre el embalse de Timba, se podrá eventualmente hacer un mapa a escala de 1:2000 con curvas de 5 en 5 m.

Zona C. Se fotografió a escala de 1:7000, se establecieron los puntos de control y se está haciendo la restitución para un mapa en escala de 1:2000, con curvas a 1 m, por el IGAC. Esta zona cubre los desechos de dragado entre Suárez y Timba, que podrán usarse como material de préstamo.

#### C-2.2 Levantamientos en el Valle

Para el estudio detallado del control de avenidas y de la irrigación en el valle, se requiere un mapa muy preciso, con curvas de nivel de las zonas inundables y tierras bajas adyacentes. Desafortunadamente, tal mapa no existe, fuera de que la pequeña escala y la falta de puntos de control, no permiten la preparación de un mapa adecuado con base en las fotografías aéreas existentes. En vista del tiempo limitado para la terminación de los estudios descritos en este informe y del costo de los levantamientos necesarios, no se hizo posible ejecutar este indispensable trabajo. En cambio, se escogieron zonas representativas en las vecindades de los ríos Jamundí, Ríoclaro, La Quebrada, el Guachal, y el Palo, y se tomaron perfiles del terreno. Además, se determinaron secciones transversales de éstos y de otros tributarios, a fin de calcular la capacidad de sus cauces. Los resultados de estos levantamientos se muestran en la Figura 15 y una descripción más detallada, en el Capítulo 5. Estos levantamientos están referidos a los BM del sistema CVC para control horizontal y vertical.

La CVC está haciendo otros levantamientos detallados para los proyectos de Roldanillo-La Unión-Toro y la Victoria-Cartago, pero ellos son de poca significación para el proyecto múltiple de Salvajina.

#### C-3 LEVANTAMIENTOS FUTUROS

Los futuros trabajos de levantamientos, incluirán la terminación de los mapas correspondientes a las aerofotografías antes descritas y los levantamientos de los mapas para las desviaciones de los



ríos Ovejas y Pescador, una vez se hayan avanzado estudios más definidos de estas obras.

La necesidad más importante la constituye el mapa acotado de la zona plana del Valle, con curvas de nivel a intervalo máximo de 1 m, ya que tal mapa es un prerequisite para la planeación adecuada de todos los trabajos de avenamiento, irrigación y control de avenidas.

## APENDICE D

### ANALISIS DE LOS BENEFICIOS ATRIBUIBLES AL CONTROL DE INUNDACIONES

#### D-1 INTRODUCCION

Adicionalmente a los beneficios de energía, el proyecto múltiple de Salvajina producirá otros beneficios importantes, directos e indirectos, en forma de protección contra inundaciones, irrigación, aumento del caudal del río en los períodos secos, mejora de condiciones para la navegación y actividades recreativas. Este apéndice presenta la estimación de los beneficios derivados del control de avenidas.

Se calcularon estos beneficios analizando las zonas del valle que pueden utilizarse para la producción de cosechas de mayor valor, cuando ellas estén libres de la amenaza de inundación frecuente. El beneficio neto anual debido a la protección de inundaciones, se obtuvo, restando el producido neto total obtenido en las condiciones actuales, del producido neto total que se obtendrá después de mejorado el uso de la tierra. Naturalmente el beneficio económico de la tierra mejorada tomará varios años para alcanzar su máximo, ya que la mejor explotación sólo vendrá gradualmente, como resultado de decisiones individuales de terratenientes y arrendatarios. Sin embargo, las ventajas resultantes del uso de la tierra mejorada, son tan evidentes, que existirá un fuerte incentivo para proceder rápidamente con el desarrollo.

Los beneficios estimados, tal como aquí se presentan, se determinaron sobre una base anual, asumiendo que toda la zona protegida se explotará completamente. Con el fin de comparar estos beneficios con el valor actual del costo de los trabajos para protección de avenidas, se han descontado los beneficios, tal como se describe en el Capítulo 9, para obtener su valor actual. Esto se hizo de acuerdo con el plan para la construcción de las obras de control de avenidas en el valle y la rata estimada de desarrollo agrícola de las zonas protegidas. Se asumió, conservativamente, que un período de 10 años bastaría para la realización de estos planes.

#### D-2 BASES DEL ANALISIS

##### D-2.1 Descripción General

Este análisis está basado en la suposición de que al proteger la tierra contra avenidas de una periodicidad de una vez en 10 a 15 años, ello constituirá suficiente incentivo para que los propietarios desarrollen completamente sus tierras. Esta suposición está firmemente respaldada por el cambio en el uso de la tierra, ocurrido en los últimos años en Roldanillo-La Unión-Toro y en Aguablanca, dos zonas del valle que ya gozan de la defensa contra

inundaciones. La protección que se obtendrá para la zona plana del valle, se asume que haya de cubrir desde Timba (Robles) hasta Bugalagrande. De este último punto para abajo, hasta la Virginia, se asume que no habrá necesidad de proveer control de avenidas, pues estos trabajos serán reemplazados por los ya emprendidos por CVC, INCORA, e Ingenio Riopaila. En el cálculo de beneficios y producidos, todos los cómputos están basados en los niveles de precios que regían en Octubre de 1964, y en el patrón de explotación de la tierra correspondiente a 1963. Para la determinación de la extensión de las zonas inundadas, véase el Capítulo 5.

#### D-2.2 Clasificación de las Zonas Actualmente Sujetas a Inundación

Las tierras sujetas a inundación pueden clasificarse en cuatro categorías, de acuerdo con la facilidad de inundarse (ver Tabla D-4), así:

(a) Inundación Ocasional. Zonas susceptibles de inundarse por menos de un mes durante el año, las cuales, con cultivos transitorios, se considera pueden dar una cosecha por año, ya que se ha observado que a pesar del riesgo implícito, estas zonas son cultivadas en alguna proporción.

(b) Inundación Periódica. Zonas susceptibles de inundación por más de un mes y menos de tres meses, durante el año. Estas zonas se supone que se dedican a pastos para lechería o para carne, con una intensidad de una cabeza por ha, lo cual significa cualquier combinación equivalente de ganado durante el año, que requiera la misma cantidad de pasto que un animal adulto, en pastaje continuo por un año.

(c) Inundación Frecuente. Zonas susceptibles de inundación durante más de seis meses al año. Estas zonas están actualmente dedicadas a pastos para lechería o para carne. Durante el período de inundación, el potrero permanece inutilizado. En la época seca, de unos seis meses, la tierra carga dos cabezas por hectárea, equivalente a una cabeza por año.

(d) Ciénagas. Zonas anegadas durante todo el año. Estas zonas no tendrán utilización efectiva ninguna para cultivos.

#### D-2.3 Uso de la Tierra Después del Control de Avenidas

Con base en la inspección de las zonas inundables y de las comparativamente no sujetas a inundación, así como en numerosas discusiones con los principales agricultores de la región, se asume que el uso de la tierra en el futuro (ver Tabla D-4), será así:

(a) En las zonas que reciban protección para inundaciones, la mayor parte de los agricultores optarán por una explotación más intensiva, aun en el caso de que no se emprendan proyectos de irrigación y avenamiento. Sin embargo, por lo menos un 10% de la zona tendrá que permanecer en pastos, por motivo de tratarse de suelos inapropiados o de mal avenamiento, pero la intensidad del uso podrá aumentarse a 2 cabezas por hectárea. Teniendo esto en cuenta, a la vez que los demás usos abajo descritos, se asume como balance, que un 40% se dedicará a cosechas anuales, y un 60% a cultivos permanentes, de acuerdo con el patrón actual de cosechas de la parte plana del valle.

(b) Para los cultivos permanentes y de acuerdo con las tendencias observadas, se asume que la producción de caña de azúcar, plátano y frutas, habrá de aumentarse, en tanto que la de café y de cacao, se reducirá.

(c) Algunas de las zonas actualmente sujetas a inundación, se encuentran próximas a núcleos urbanos, especialmente en la zona Cali-Yumbo. Una vez protegidas de inundación, seguramente su valor comercial será más alto que el de las tierras agrícolas, puesto que protegiéndolas con pequeños diques complementarios, ellas serán urbanizables. Aun cuando su grado de protección contra inundaciones sea menor del que se considera indispensable para urbanizaciones importantes, se asume que de todas maneras esto acarreará un aumento en el valor de la tierra. Por tanto, para estas zonas los beneficios se calculan a una rata anual del 10% del producido realizable en el aumento del valor comercial de la tierra, que se ha estimado, conservativamente, en \$2,50 por metro cuadrado.

(d) Se asume que alrededor del 2,8% de la zona protegida habrá de destinarse para plantar árboles, para la defensa de las márgenes del río Cauca, en sitios estratégicos.

(e) Se asume que las dos terceras partes de las ciénagas se dedicarán a uso urbano, siempre que sean desecadas, drenadas y protegidas con pequeños diques suplementarios. El tercio restante se dedicará para arborización de carácter no comercial.

#### D-2.4 Cómputo de los Beneficios Directos

Para la determinación de los beneficios directos, se han hecho las siguientes suposiciones:

(a) Los beneficios directos imputables a control de avenidas en las zonas de diferentes categorías sujetas a inundación, se calcularon como la diferencia entre la entrada neta obtenida con el uso actual y el producido neto estimado una vez que la protección esté obrando (ver Tabla D-4).

(b) El producido neto se computó con referencia a la producción y costos actuales de la operación agrícola en el valle, pero sin deducir los costos asociados con la tierra. Para cultivos anuales, el producido se calculó sobre la base de la rotación de cultivos existentes en 1963, como se indica en la Tabla D-1. Sin embargo, en las zonas que se consideran como dedicadas a cultivos anuales, pero que actualmente experimentan inundaciones ocasionales, se asumió que el producido neto esté basado en una cosecha por año, en comparación con el promedio de 1,8 cosechas por año que prevalece en las tierras protegidas. Este valor promedio se obtuvo dividiendo el número total de hectáreas utilizado por año, por las empleadas durante el primer semestre. El producido neto actual para cultivos anuales en las zonas inundadas, se tomó por consiguiente como una mitad del valor promedio de \$1088/ha, que aparece en la Tabla D-3.

(c) La producción y los costos se computaron sobre la base de datos detallados compilados por CVC durante 1961-64, en las zonas de Roldanillo-La Unión-Toro, la Victoria-Cartago y Río Palo, o por las oficinas y organizaciones dedicadas a asuntos agrícolas en el Departamento del Valle (ver Tablas D-1, D-2 y D-3). Los datos de la Tabla D-1, aplicables a algodón, arroz, maíz, soya, frijol y uvas, se obtuvieron de un informe de CVC titulado "Investigación de los Datos sobre la Actividad Agrícola Mantenido por el Banco de la República". Los datos aplicables a la caña de azúcar, se obtuvieron de la Asociación Nacional de Cultivadores de Caña de Azúcar (ASOCAÑA).

(d) La intensidad del uso actual de la tierra agrícola en la parte plana del valle, incluyendo las zonas inundables, se calculó ser de 1,17 cosechas por año, con base en las áreas cultivadas durante 1963 (ver Tabla D-1).

(e) La densidad de ganado en las zonas de pastos según la utilización actual, se ha tomado a razón de una cabeza por hectárea para producción de carne, y 1,4 cabezas por hectárea para lechería. Para la explotación futura, la densidad se tomó en dos cabezas por hectárea.

(f) El producido por ganadería se computó sobre la base de un 40% por producción de carne y un 60% por lechería, por hectárea, de acuerdo con los resultados de la investigación directa y de las discusiones con los ganaderos más importantes.

#### D-2.5 Beneficios Indirectos

Se consideran como beneficios indirectos, aquellos que no pueden medirse en términos monetarios, pero que sin embargo se traducen en un aumento del bienestar general. Como resultado del control de inundaciones provisto por el proyecto múltiple de Salvajina, la región recibirá ciertos beneficios de naturaleza indirecta, siendo los más importantes los siguientes:

(a) Mayor protección para las vidas y propiedades, especialmente para los ganados y cultivos.

(b) Producción más eficiente de productos agrícolas, que permitirá obtener mejores condiciones de suministro para los consumidores industriales y domésticos.

(c) Creación de nuevos empleos en la agricultura para más de 6.000 personas, cifra estimada sobre la base del futuro uso de la tierra, tal como aquí se asume. Esto contribuirá a aliviar en forma apreciable el desempleo rural.

(d) Aumento de empleos en los procesos industriales, agrícolas, y en los servicios de transportes.

(e) Aumento general en el volumen de consumo de los productos para la agricultura, tales como semillas, equipos, fertilizantes, abonos químicos, etc.

TABLA D-1

DISTRIBUCION DEL USO DE LA TIERRA EN LA PARTE PLANA DEL VALLE DEL CAUCA EN 1963

| Uso de la Tierra             | Area Cultivada en Hectáreas |                  | Rendimiento en kg por Hectáreas |                  | Total por Año   |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|
|                              | Primer Semestre             | Segundo Semestre | Primer Semestre                 | Segundo Semestre |                 |
| <b>CULTIVOS TRANSITORIOS</b> |                             |                  |                                 |                  |                 |
| <b>ANUALES</b>               |                             |                  |                                 |                  |                 |
| Algodón                      | 30.860                      | 30.860           | 1.920                           | 3.430            | 1.920           |
| Arroz                        | 8.000                       | 8.850            | 3.060                           | 3.430            | 6.490           |
| Maíz                         | 18.880                      | 27.520           | 2.500                           | 2.180            | 4.680           |
| Soya                         | 4.610                       | 14.940           | 1.870                           | 1.250            | 3.120           |
| Frijoles                     | 1.990                       | 1.920            | 940                             | 780              | 1.720           |
| Yuca                         | 500                         | 500              | 4.000                           | 4.000            | 8.000           |
| Tabaco                       | 800                         | 800              | 2.500                           |                  | 2.500           |
| Tomate                       | 700                         | 700              | 13.350                          | 13.350           | 26.700          |
| Cebolla                      | 350                         | 350              | 5.800                           | 5.800            | 11.600          |
| Repollo                      | 350                         | 350              | 25.000                          | 25.000           | 50.000          |
| Subtotal                     | 67.040                      | 55.130           | 60.940                          | 55.790           | 116.730         |
|                              |                             |                  |                                 |                  |                 |
| <b>CULTIVOS PERMANENTES</b>  |                             |                  |                                 |                  |                 |
| Caña de azúcar               |                             |                  |                                 |                  | 80.000          |
| Plátano                      |                             |                  |                                 |                  | 540 (racimos)   |
| Café                         |                             |                  |                                 |                  | 620             |
| Cacao                        |                             |                  |                                 |                  | 450             |
| Uva                          |                             |                  |                                 |                  | 3.560           |
| Cítricos                     |                             |                  |                                 |                  | 25.000          |
| Subtotal                     |                             |                  |                                 |                  | 99.260 (22,1%)  |
| <b>PASTOS</b>                |                             |                  |                                 |                  |                 |
| Ganado-Carne (40%)           |                             |                  |                                 |                  | 63.880          |
| Ganado-Leche (60%)           |                             |                  |                                 |                  | 95.820          |
| Subtotal                     |                             |                  |                                 |                  | 159.700 (35,5%) |
| <b>AREAS URBANAS Y OTROS</b> |                             |                  |                                 |                  |                 |
|                              |                             |                  |                                 |                  | 69.000 (15,3%)  |
| <b>TOTAL</b>                 |                             |                  |                                 |                  | 450.130 (100%)  |

TABLA D-2

PRODUCCION AGRICOLA EN LA PARTE PLANA DEL VALLE DEL CAUCA

| Uso de la Tierra             | Producción Total<br>(Tons) |                     | Precios<br>(Pesos por Ton) |                     | Valor Bruto de<br>la Producción<br>Anual<br>(Pesos) |
|------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|---|
|                              | Primer<br>Semestre         | Segundo<br>Semestre | Primer<br>Semestre         | Segundo<br>Semestre |   |
| <u>CULTIVOS TRANSITORIOS</u> |                            |                     |                            |                     |   |
| <u>ANUALES</u>               |                            |                     |                            |                     |   |
| Algodón                      | 59.320                     |                     | 2.700                      |                     | 160.164.000   |
| Arroz                        | 24.490                     | 30.370              | 1.000                      | 1.000               | 54.860.000  |
| Maíz                         | 47.130                     | 60.100              | 1.000                      | 1.000               | 107.230.000   |
| Soya                         | 8.630                      | 18.650              | 1.320                      | 1.460               | 38.621.000  |
| Frijoles                     | 1.860                      | 1.500               | 2.400                      | 3.200               | 9.264.000   |
| Yuca                         | 2.000                      | 2.000               | 1.300                      | 1.300               | 5.200.000   |
| Tabaco                       | 2.000                      |                     | 3.840                      |                     | 7.680.000   |
| Tomate                       | 9.350                      | 9.350               | 550                        | 550                 | 10.285.000  |
| Cebolla                      | 2.030                      | 2.030               | 1.350                      | 1.350               | 5.481.000   |
| Repollo                      | 8.750                      | 8.750               | 110                        | 110                 | 1.925.000   |
| Subtotal                     |                            |                     |                            |                     | 400.710.000   |
| <u>CULTIVOS PERMANENTES</u>  |                            |                     |                            |                     |   |
| Caña de Azúcar               | 6.400.000                  |                     |                            | 70                  | 448.000.000   |
| Plátano                      | 2.605.000 (racimos)        |                     |                            | 12 (por racimo)     | 31.260.000  |
| Café                         | 5.330                      |                     |                            | 5.880               | 31.340.000  |
| Cacao                        | 1.580                      |                     |                            | 7.360               | 11.629.000  |
| Uva                          | 4.630                      |                     |                            | 6.000               | 27.780.000  |
| Cítricos                     | 25.000                     |                     |                            | 250                 | 6.250.000   |
| Subtotal                     |                            |                     |                            |                     | 556.259.000   |
| <u>PASTOS</u>                |                            |                     |                            |                     |   |
| Ganado-Carne                 | 11.690                     |                     |                            | 4.000               | 46.760.000  |
| Ganado-Leche                 | 141.050                    |                     |                            | 1.000               | 141.050.000   |
| Subtotal                     |                            |                     |                            |                     | 187.810.000   |
| GRAN TOTAL                   |                            |                     |                            |                     | 1.144.779.000                                       |



TABLA D-3  
 INGRESO BRUTO, COSTO TOTAL DE PRODUCCION, E INGRESO NETO  
 (Pesos)

| Item                                   | Entrada<br>Bruta<br>Por<br>Hectárea | Costo Total de<br>Producción por<br>Hectárea Inclu-<br>yendo la Tierra | Entrada<br>Neta<br>Por<br>Hectárea |
|--|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| <u>CULTIVOS TRANSITORIOS (ANUALES)</u> |                                     |  |                                    |
| Algodón                                | 5.189                               | 2.800  | 2.389                              |
| Arroz                                  | 3.256                               | 2.106  | 1.150                              |
| Maíz                                   | 2.311                               | 1.714  | 597                                |
| Soya                                   | 1.975                               | 1.684  | 291                                |
| Fríjoles                               | 2.369                               | 2.100  | 269                                |
| Yuca                                   | 5.200                               | 3.800  | 1.400                              |
| Tabaco                                 | 9.600                               | 3.700  | 5.900                              |
| Tomate                                 | 7.289                               | 9.400  | (-2.111)                           |
| Cebolla                                | 7.842                               | 3.775  | 4.067                              |
| Repollo                                | <u>2.750</u>                        | <u>3.672</u>   | (- 922)                            |
| Promedios                              | 3.279                               | 2.191  | 1.088                              |
| <u>CULTIVOS PERMANENTES</u>            |                                     |  |                                    |
| Caña de Azúcar                         | 5.600                               | 2.000  | 3.600                              |
| Plátano                                | 6.432                               | 1.540  | 4.892                              |
| Café                                   | 3.646                               | 1.355  | 2.291                              |
| Cacao                                  | 3.312                               | 2.934  | 378                                |
| Uvas                                   | 21.360                              | 13.400   | 7.960                              |
| Cítricos                               | <u>6.250</u>                        | <u>3.700</u>   | <u>2.550</u>                       |
| Promedios                              | 5.604                               | 2.121  | 3.483                              |
| <u>GANADO</u>                          |                                     |  |                                    |
| Carne                                  | 732                                 | 366  | 366                                |
| Leche                                  | <u>1.472</u>                        | <u>883</u>   | <u>589</u>                         |
| Promedios                              | 1.176                               | 676  | 500                                |
| PROMEDIOS BRUTOS                       | 3.003                               | 1.538  | 1.465                              |

NOTAS: Todos los promedios son ponderados.

Los números en paréntesis indican pérdida neta y están incluidos en los promedios ponderados.

TABLA D-4

INGRESO ANUAL AGRICOLA, ANTES Y DESPUES DEL CONTROL DE INUNDACIONES  
(Pesos)

| Clasificación de las Zonas  | Uso de la Tierra            | Area Hectáreas | %     | Producido Neto por Hectárea | Producido Neto Total |
|---|-----------------------------|----------------|-------|-----------------------------|----------------------|
| <u>USO ACTUAL DE LA TIERRA EN ZONAS INUNDADAS</u>                 |                             |                |       |                             |                      |
| Inundación ocasional  | Cultivos transitorios       | 19.040         | 36,7  | 544                         | 10.358.000           |
| Inundaciones periódicas   | Pastos                      | 9.780          | 18,9  | 500                         | 4.890.000            |
| Inundaciones frecuentes   | Pastos                      | 18.860         | 36,4  | 500                         | 9.430.000            |
| Ciénagas  | Ninguno                     | 4.180          | 8,0   |                             |                      |
| Total   |                             | 51.860         | 100,0 |                             | 24.678.000           |
| <u>USO POTENCIAL DE LA TIERRA DESPUES DEL CONTROL DE AVENIDAS</u> |                             |                |       |                             |                      |
|   | Cultivos transitorios (40%) | 17.000         | 32,7  | 1.088                       | 18.496.000           |
|   | Cultivos permanentes (60%)  | 25.500         | 49,2  | 3.483                       | 88.817.000           |
|   | Pastos                      | 5.190          | 10,0  | 1.397                       | 7.250.000            |
|   | Zonas urbanas               | 2.740          | 5,3   | 2.500                       | 6.850.000            |
|   | Arboles                     | 1.430          | 2,8   |                             |                      |
| Total   |                             | 51.860         | 100,0 |                             | <u>121.413.000</u>   |
| <b>AUMENTO ANUAL TOTAL EN ENTRADAS NETAS</b>                      |                             |                |       |                             | <b>96.735.000</b>    |

APENDICE E

BIBLIOGRAFIA

1. "Informe sobre los Estudios para el Desarrollo Hidráulico del Valle". Parsons, Brinckerhoff, Hogan and McDonald, New York, 1947.
2. "Proyectos A-987 y B-10065 para Regadío en el Valle Central". Parsons, Brinckerhoff, Hogan and McDonald, 1947.
3. "Proyecto General de Electrificación" - Informe - Olarte, Ospina, Arias, Payán, Bogotá, 1949.
4. "Plan General de Irrigación" - Informe - Departamento del Valle del Cauca - Secretaría de Agricultura y Ganadería. OLAP, Cali, 1950.
5. "Proyecto de Aguablanca". Olarte, Ospina, Arias, Payán, 1951.
6. "Flood Control in the Cauca Valley". OLAP, 1954.
7. "Anteproyectos de Irrigación del Río Timba". OLAP, 1949
8. "La Corporación Autónoma Regional del Cauca y el Desarrollo del Alto Cauca". Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, Washington, Agosto 1955.
9. "Unified Development of Power and Water Resources in the Cauca Valley". OLAP, G & H, and KTAM, Enero 1956.
10. "Desviación Cauca-Pacífico". OLAP, G & H, and TAMS, Noviembre 1957.
11. "Timba Project". OLAP, G & H, and TAMS, Abril 30, 1958.
12. "Report on Review of Sedimentation conditions in the Anchicayá Reservoir to Central de Anchicayá Limitada". L.G. Stranb, Octubre 1958.
13. "The CVC Power Program 1960-1970". OLAP, G & H, TAMS, Septiembre 1959.
14. "CVC Advance Planning Requirements". INGETEC, G & H, TAMS, Mayo 1962.
15. "Spillway Design Flood for Cauca River above Timba Dam". INGETEC, G & H, TAMS, Julio 1962.
16. "Proyecto de Timba - Informe parcial de Suelos". Corporación Autónoma Regional del Cauca, Marzo 1963.

17. "Report on the Calima II Project". Corporación Autónoma Regional del Cauca, Cali, Junio 30, 1963.
18. "The Cauca Valley, Colombia, Land Tenure and Land Use". Raymond E. Crist, 1952.
19. "Salvajina Hydrologic Information". Memorando de E. Hadjiloukas a J.V. Williamson, Junio 2, 1964. (Archivos de CVC).
20. "Cauca River Hydrology with Special Reference to the Salvajina Project". Corporación Autónoma Regional del Cauca, Informe C-7353, Abril 1964.
21. "Cauca Valley Coal Survey". Auteco-Brussels, 1963-1964.
22. "Geologic Report - Salvajina Project". Memorando de A. L. O'Neill a J.V. Williamson, Julio 31, 1964. (Archivos de CVC).
23. "Previsions de Production et de Prix de Revient". Emile Roland, Agosto 1964. (original en archivo No. 712 de CVC).
24. "CVC & CHEC - Generation and Peak Demands". Corporación Autónoma Regional del Cauca, Diciembre 1964.
25. "Power Development Program - Central Hidroeléctrica de Caldas". OLAP-KTAM, New York - Bogotá, 1953.
26. "La Esmeralda-San Francisco Project". KTAM-OLAP, New York-Bogotá, 1954.
27. "Plan de Utilización del Río Guadalupe". Olarte, Ospina, Arias y Payán Ltda., Medellín, 1955.
28. "Second Power Program - Report 535-1, Vol. II". OLAP Ingeniería, Abril 1961.
29. "Nare Hydroelectric Project - Alternatives for Development Analysis and Recommendations". Edison Integral. Milán-Medellín, Febrero 1962.
30. "Proyecto de Guatavita - Información General". Ingetec Ltda., Octubre 1962.
31. "Central Hidroeléctrica de Salto II - Información General". Ingetec Ltda. Diciembre 1962.
32. "Nare Hydroelectric Development". Edison-Integral, Milán-Medellín, 1962.
33. "Proyecto Hidroeléctrico de Laguneta - Datos Generales". Ingetec Ltda., Enero 1963.

34. "La Hidrología del Area de la CAR". Development and Resources Corporation, New York, Enero 1963.
35. "Central Termoeléctrica de Zipaquirá - Información General". Ingetec Ltda., Febrero 1963.
36. "Plan National d' Electrification 1964-1975". Electricité de France, Mission 1961-1962.
37. "Memorandum; Interconnection Study of the Bogotá, Cali, Medellín Power Systems - Progress Report on Preliminary Findings". Ingetec, Integral, Noviembre 30, 1963.
38. "Central Hidroeléctrica de San Francisco". Anteproyecto-Informe. Syndibel, Bruselas-Manizales, Noviembre 1963.
39. "Central Hidroeléctrica de San Francisco". Anteproyecto, Anexos A, B y C. Syndibel, Bruselas-Manizales, Noviembre 1963.
40. "Central Hidroeléctrica de San Francisco". Anteproyecto, Anexos D, E y F. Syndibel, Bruselas-Manizales, Noviembre 1963.
41. "Central Hidroeléctrica de San Francisco". Anteproyecto. Planos. Syndibel, Bruselas-Manizales, Noviembre 1963.
42. "Plan Piloto de Electrificación". Samel Ingenieros, Bogotá, Enero 1964.
43. "Colegio Project 1 and 2 - Summary of Plant & Reservoir Characteristics of Bogotá System". OLAP, Febrero 1961.
44. "Geología de los Departamentos Valle y Cauca y en especial del Carbón". Enrique Hubach y Benjamín Alvarado, Mayo 1934.
45. "Serie A - Sismología (Segunda Epoca) Publicación No. 18". Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, Enero 1959.
46. "Estudios Geológicos en Colombia". Servicio Geológico Nacional, Tomo IX, 1960.
47. "Estratigrafía del Terciario y Mactriachtiano Continentales y Tactogénesis de los Andes Colombianos". Thomas Van der Hammen, Servicio Geológico Nacional, Bogotá, 1960.
48. "Soil Testing". W. T. Lambe, 1951, pp. 52.
49. "Compression Characteristics of Rolled Fill Materials in Earth Dams". J. P. Gould, U.S.B.R. TM-648, Marzo 1954.
50. "Design and Performance of the Sasumua Dam". K. Terzaghi, Institution of Civil Engineers, London, 1958.

51. "Earth Manual". U.S.B.R., E-15, Julio 1960.
52. "ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils". 1960, pp. 828.
53. "Salvajina Project - Spillway Design Inflow Flood". Memorando de D. E. Abramowitz a J. V. Williamson, Junio 20, 1963 (Archivos de CVC).
54. "Estudio Detallado de los Suelos de Roldanillo-La Unión-Toro". IGAC y CVC, Agosto 1963.
55. "Estudio Detallado de Suelos de la Parte Plana de los Municipios de Jamundí y Cali". IGAC y CVC, Marzo 1963.
56. "Estudio Detallado de Suelos de los Municipios de Palmira y Cerrito. IGAC y CVC, 1962.
57. "Reconnaissance Soils Survey of the Flat Part of the Cauca Valley". W. E. Reese and D. Goosen, FAO and CVC, 1957.
58. "An Investigation of Water-born Wastes Contributing to the Pollution of the Rio Cauca". Tesis por Jacques Edward Donaldson, con la asistencia de la Universidad de Tulane, Agosto 1963.
59. "A Study of Deoxidation and Reaeration Characteristics of the Rio Cauca". Tesis por Leslie Martin Dunn con la asistencia de la Universidad de Tulane y del Valle, Julio 1964.