

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)  
MUNICIPALIDAD DE LA PAZ  
REPUBLICA DE BOLIVIA

ESTUDIO PARA  
EL CONTROL DE LA CONTAMINACION  
DEL AGUA DE LOS RIOS  
EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Resumen

MAYO DE 1993

PACIFIC CONSULTANTS INTERNATIONAL

|        |
|--------|
| SSS    |
| JR     |
| 93-061 |

JICA ESTUDIO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA DE LOS RIOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ Resumen MAYO DE 1993

02  
51.9  
SSS



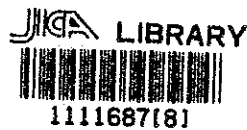
AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON (JICA)

MUNICIPALIDAD DE LA PAZ

REPUBLICA DE BOLIVIA

**ESTUDIO PARA  
EL CONTROL DE LA CONTAMINACION  
DEL AGUA DE LOS RIOS  
EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

**Resumen**



MAYO DE 1993

PACIFIC CONSULTANTS INTERNATIONAL



En este informe, el costo del proyecto se estimó a precios de junio de 1992 con una tasa de cambio de 1US\$ = Bs. 3.87.

Este texto en español ha sido redactado como referencia.

# **ESTUDIO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AGUA DE LOS RIOS EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

## **RESUMEN**

## **CONTENIDO**

|                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUCCION .....</b>           | <b>1</b>  |
| <b>2 PLAN BASICO .....</b>            | <b>3</b>  |
| <b>3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....</b> | <b>16</b> |
| <b>4 RECOMENDACIONES.....</b>         | <b>30</b> |

## **I Introducción**

La ciudad de la Paz es la ciudad más grande de Bolivia y de hecho es la capital de este país con una población aproximada de 720.000 habitantes. En la medida que la ciudad se desarrolla y crece el río Choqueyapu y sus tributarios son víctimas de la contaminación. Las principales causas de esta contaminación se debe a la descarga directa o sin tratamiento de los residuos domésticos o industriales.

Esta situación ha traído como resultado el deterioro estético y la generación de olores desagradables a lo largo de la zona urbana colidante al río. A la vez ha causado graves daños a las tierras agrícolas aguas abajo. Es por ello que para mejorar la degradada calidad acuática, se necesita el desarrollo de un plan de control de aguas contaminadas.

Este estudio de control de aguas contaminadas de los ríos en La Paz (de aquí en adelante se denominará el Estudio) fue conducido por el Equipo de Estudio de la Agencia de Cooperación Internacional Japonesa (JICA) en cooperación con la Municipalidad de La Paz (HAM-LP) y la Corporación Municipal de Agua Potable y Alcantarillado en La Paz (SAMAPA), desde Febrero de 1992 a Mayo de 1993.

Los objetivos del Estudio fueron:

- Preparar un plan de control de contaminación de las aguas del río Choqueyapu y de sus tributarios.
- Conducir el estudio de factibilidad del primer proyecto prioritario seleccionado de los componentes del Plan Básico.

El área de Estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del río Choqueyapu aguas arriba del puente del puente Lipari, tal como se observa en la Fig. 1.1 , la superficie total del área es de 535 Km<sup>2</sup>.

Los reportes del Estudio han sido preparados de la siguiente forma:

- (1) Reporte Principal (inglés)
- (2) Reporte Principal (español)
- (3) Reporte Complementario (inglés)
- (4) Resumen (inglés)
- (5) Resumen (español)
- (6) Libro de Datos (inglés)

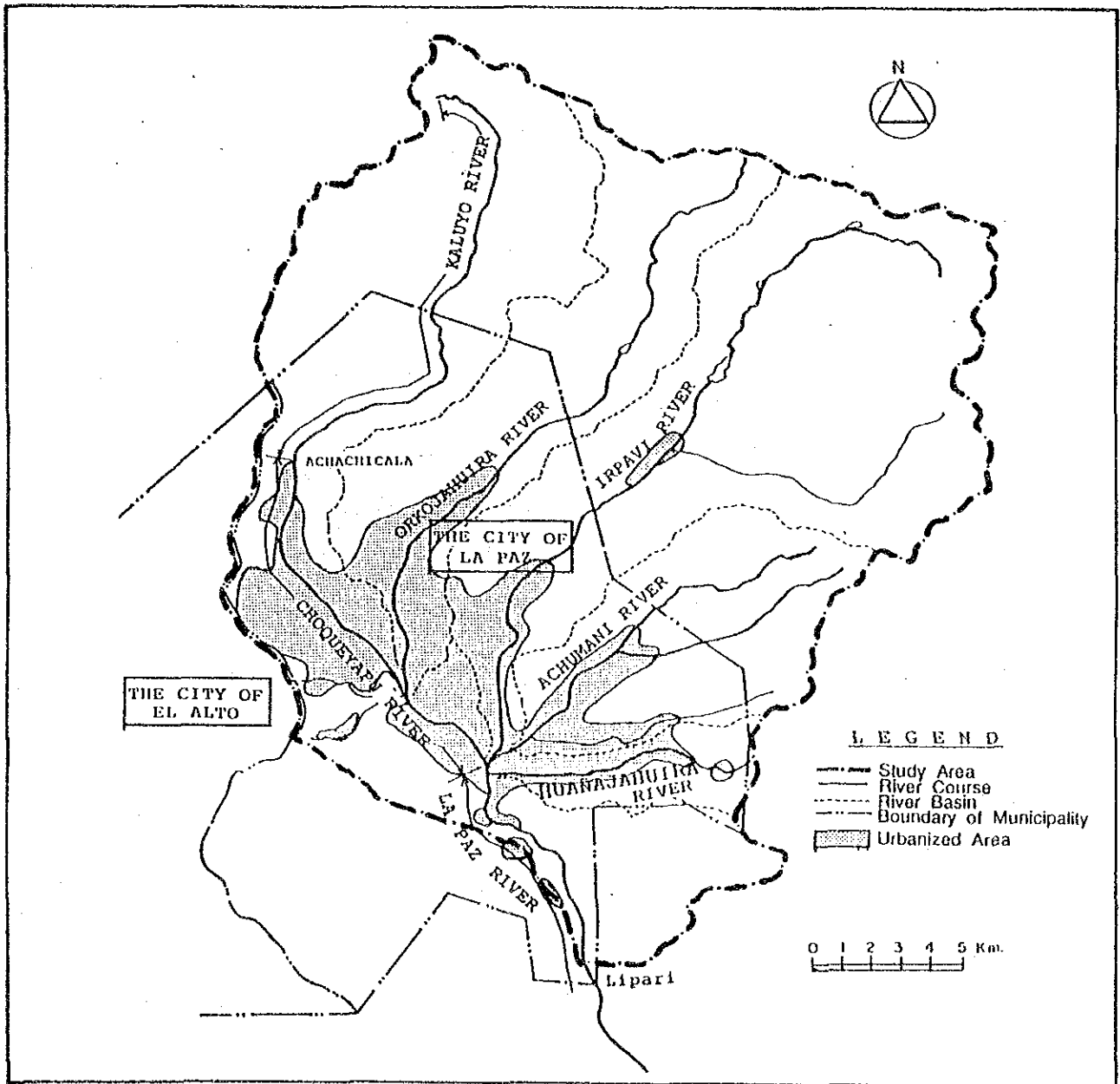
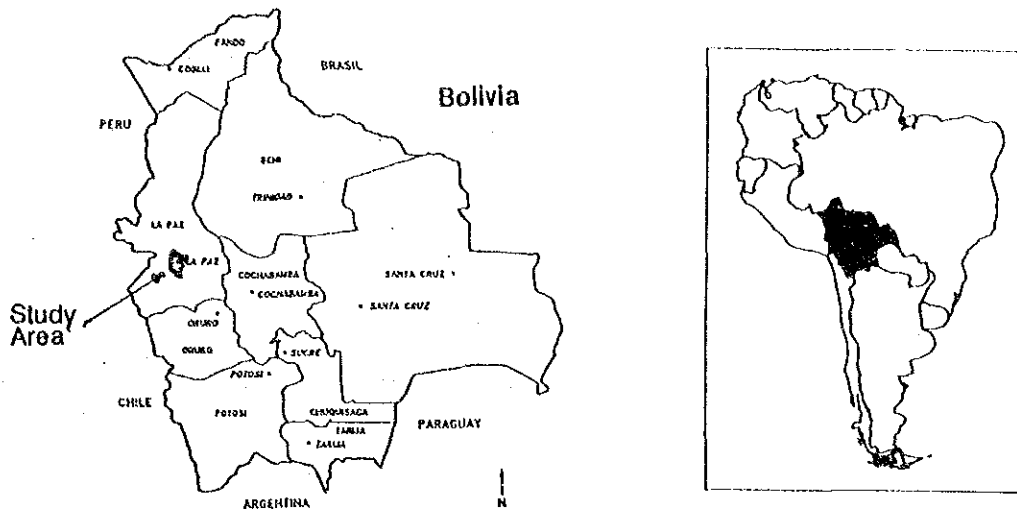
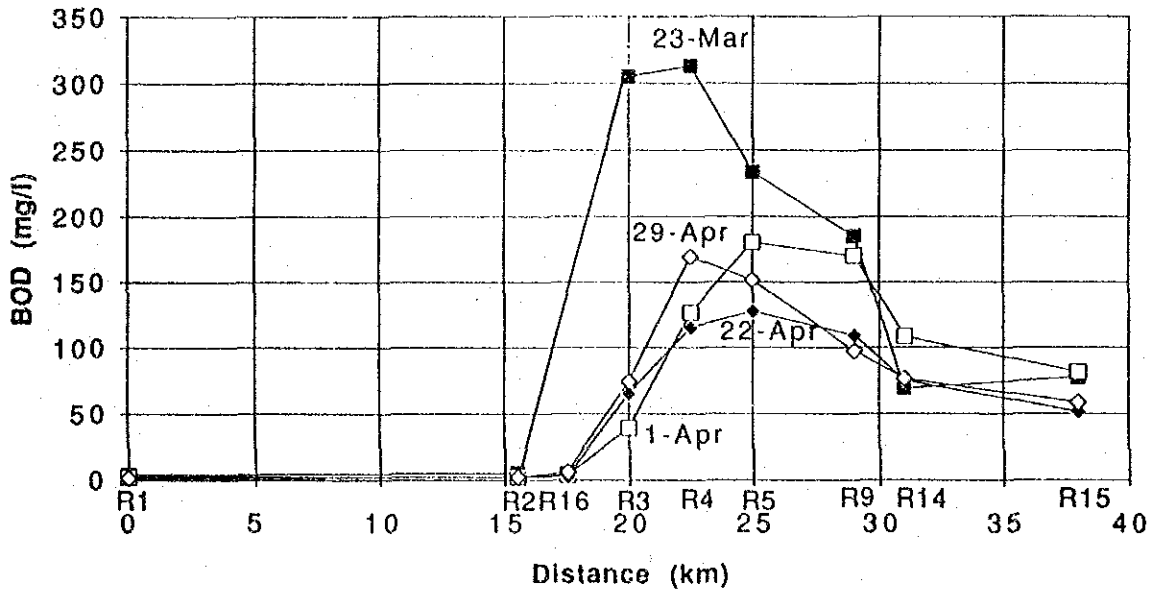


Fig. 1.1 Area de Estudio

## 2 Plan Básico

### 2.1 Condiciones de Calidad de las Aguas

El Estudio de la calidad de aguas del río Choqueyapu fue conducido en las localidades señaladas en la Fig. 2.1. Los perfiles de los DBO observados a lo largo del cauce principal del río Choqueyapu se muestran en la Fig. 2.2.



Nota: Durante la medición de Marzo 23, la planta de tratamiento de aguas de Achachicala estuvo tomando las aguas justo por debajo del punto de medición R16. Ello ocasionó la reducción del caudal y el incremento de la concentración de DBO aguas abajo, considerando que entre el punto R16-R3 se localizan una serie de industrias que descargan sus aguas.

**Fig. 2.2 Cambios del valor de BOD a lo Largo del Río Choqueyapu**

La concentración de DBO del río Choqueyapu aumenta rápidamente en la entrada hacia el área urbanizada (Nº. R3). Es evidente que las aguas fluviales que corren a través de las zonas urbanizadas se encuentran contaminadas. Sin embargo, desde que el río Choqueyapu en la zona Central, se encuentra en gran parte cubierto y sus partes abiertas muy incididas, la calidad actual de las aguas no puede ser denotada ni percibida con claridad. Además la pendiente del curso fluvial ha permitido la aereación de las aguas reduciendo la generación de condiciones sépticas. Pero, muchos de los residentes en la zona Sur de la ciudad, aún siguen siendo víctimas del mal olor proveniente del río. A ello se suma el hecho de que estas aguas son utilizadas para regar las tierras agrícolas aguas abajo, lo que constituye un daño considerable a los agricultores, ya que hace que sus productos sean impopulares en los mercados.

La calidad de las aguas de los tributarios en la zona urbanizada es similar a la del río Choqueyapu. Las aguas de estos tributarios también están causando problemas a aquellos que



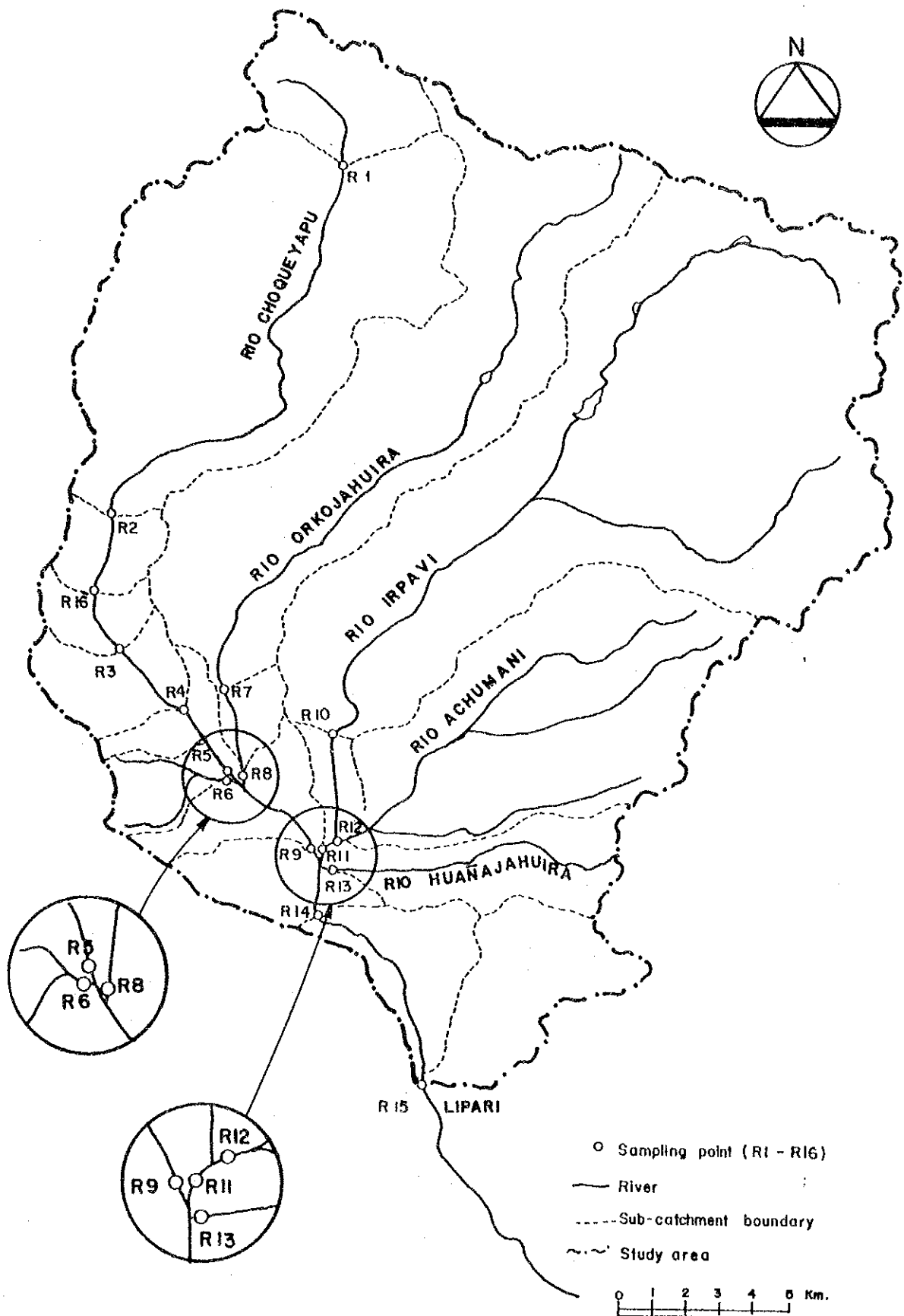


Fig. 2.1 Puntos de Extracción de Ejemplares para la Medición de la Calidad de Aguas de Río

viven en sus cercanías. Al igual que en el Choqueyapu, las principales causas de la contaminación son las aguas residuales domésticas e industriales.

## 2.2 Esquema de Planificación

El año planeado para el establecimiento del Plan Básico fue el año 2010. Pero no implica necesariamente el año objetivo definitivo para implementar el Plan Básico.

La calidad de agua objetivo planteada para el Plan Básico, fue definida basándose en los estándares bolivianos de calidad de agua (ver Tabla 2.1), considerando los usos de agua esperado o potencial para cada punto de evaluación.

**Tabla 2.1 Calidad de Agua Objetivo**

| Localización                            | Metas  | Calidad   |  |
|---|--|---|--|
|   |  | Requerida del Agua  |  |
| Aguas arriba de la zona urbanizada (R2) | Calidad de agua la cual pueda ser tratada por medios convencionales para suministrar agua potable y que no perjudique el medio ambiente circundante. | DBO: 10 mg/l<br>OD: 60%<br>Coliforme: 10,000<br>MPN/100ml |  |
| Area urbanizada (R9 R8 R11 R12)         | Calidad de agua que no genere la degradación del medio a lo largo de su curso urbano   | DBO: 50 mg/l<br>OD: 50%<br>Coliforme: 20,000<br>MPN/100ml |  |
| Aguasabajo de la zona urbanizada (R15)  | Igual al acápite anterior. Para el Choqueyapu, se espera agua apropiada para la irrigación.  | DBO: 50 mg/l<br>OD: 50%<br>Coliforme: 20,000<br>MPN/100ml |  |

El área considerada en el Plan Básico fueron las áreas de urbanización futura y existentes presentadas en la Fig. 2.3. La población existente y futura del área planeada ha sido estimada como sigue (ver Tabla 2.2)

**Tabla 2.2 Población Presente y Futura**

| Zonas        | Año 1992 | Año 2000 | Año 2010  |
|--------------|----------|----------|-----------|
| Zona Central | 631.000  | 640.000  | 650.000   |
| Zona Sur     | 84.000   | 130.000  | 240.000   |
| (Achocalla)  | 4.400    | 50.000   | 110.000   |
| TOTAL        | 720.000  | 820.000  | 1.000.000 |

### 2.3 Desarrollo de Alternativas para el Plan Básico

La calidad de las aguas futuras del río Choqueyapu ha sido estimada utilizando un modelo de simulación de calidad de aguas, considerando el caso de que no se adopte medida de control de polutantes alguna. Los resultados indican que la polución de las aguas fluviales proseguirá aguas abajo del área Calacoto, y que la concentración de DBO en el Lipari se incrementará de 54 mg/l a 72 mg/l para el año 2010.

En la formulación del Plan Básico, para controlar la contaminación de las aguas fluviales, se han considerado en forma superficial las medidas de control descritas abajo. Posteriormente las últimas tres fueron consideradas como no aplicables por las razones mencionadas entre paréntesis.

- Reducción de la carga de polutantes fluviales, a través del establecimiento de una planta de tratamiento.
- Dilución de las aguas fluviales. (Caudal de agua insuficiente)
- Purificación directa de las aguas fluviales. (Calidad del agua del río demasiado deteriorada como para ser purificada directamente)
- Desviación (No hay estructura acuíatica adecuada para recibir el agua desviada)

Como resultado, se ha concluido que para reducir la cantidad de contaminantes el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas residuales es la medida más apropiada para el Plan Básico, complementada con un: 1) plan de control de descarga de residuos industriales y 2) control de descarga doméstica en las nuevas áreas de desarrollo.

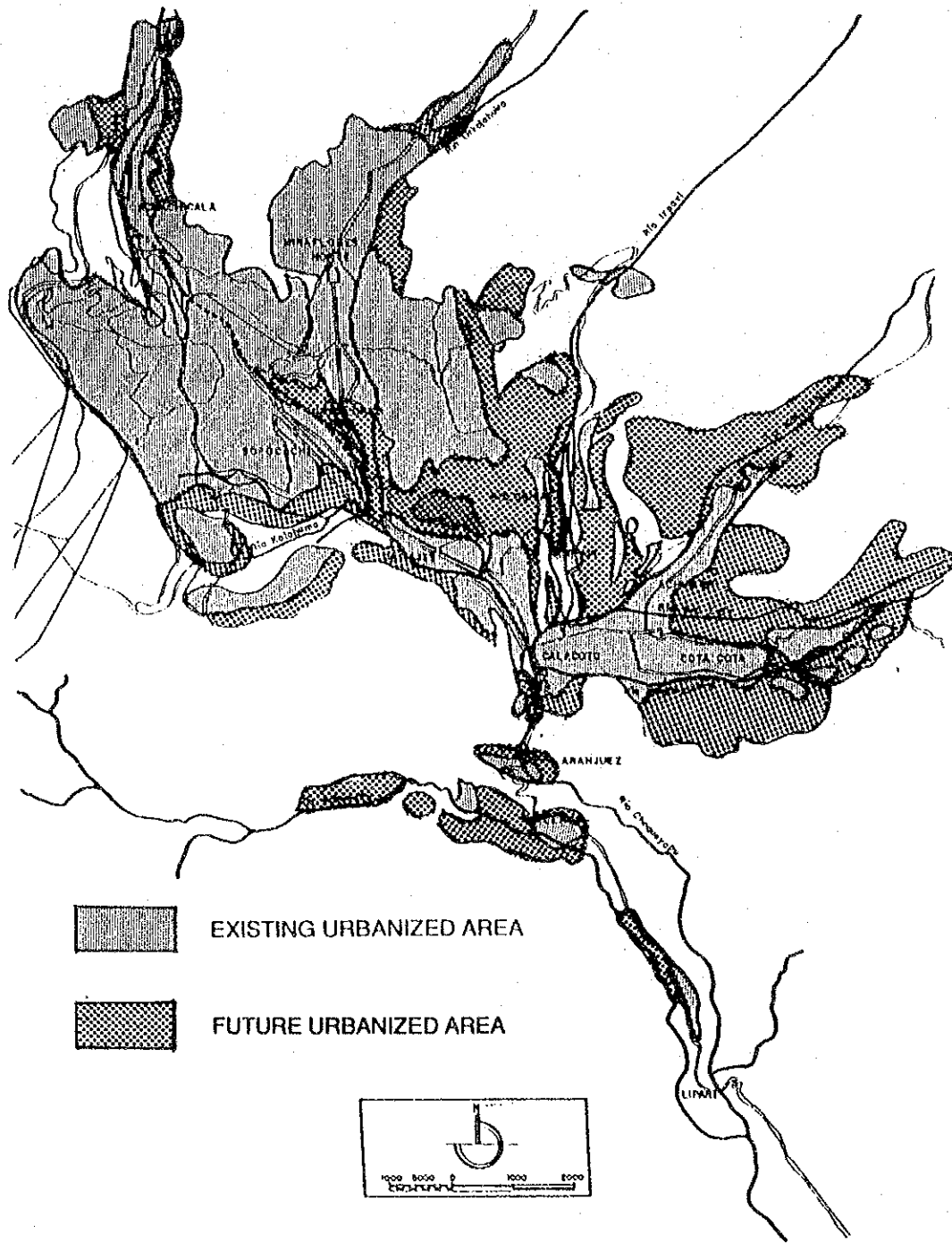


Fig. 2.3 Area de Planeamiento para la Formulación del Plan Básico

En el plan del sistema de alcantarillado, se consideró en un primer momento la división del área en zonas apropiadas cada una con una planta de tratamiento, lo cual permitiría el desarrollo del sistema paso por paso, comenzando con una zona prioritaria.

Sin embargo, estudios revelaron que tales divisiones son imprácticas debido a que el espacio disponible a un costo razonable es insuficiente para construir plantas en cada zona, ello es especialmente notorio en la zona Central. Consecuentemente, la solución más económica fue la de construir una sola planta de tratamiento en las afueras de la zona Central. Para llevar a cabo la opción centralizada, se dispone solamente de un área aguas abajo de la parte terminal del río Irpavi, y el lecho de inundación del río Choqueyapu cerca del Lipari. Ello indica que es más económico tratar en conjunto las aguas residuales de la zona Central y Sur en una sola planta ya sea localizada en el Irpavi (opción Irpavi) o en el Lipari (opción Lipari). En ambos casos el Plan Básico deberá considerar lo siguiente:

- i) Recolección de las aguas residuales desde la zona Central (excluyendo la cuenca del Orkojahuirá) a través de la toma de ellas directamente desde el Choqueyapu en Kantutani.
- ii) Instalación de una alcantarilla interceptora principal desde la toma en Kantutani al sitio de tratamiento propuesto.
- iii) Instalación de alcantarillas interceptoras en otras áreas fuera de la zona Central para recolectar las aguas residuales transportadas por las alcantarillas existentes y conectarlas a la alcantarilla interceptora principal.
- iv) Construcción de una planta de tratamiento centralizada que trate las aguas residuales recolectadas.

Para la opción Irpavi, el método de sedimentos altamente activados es el único método aplicable para tratar las aguas residuales, debido a la escasez de espacio. Para la opción Lipari, el método de sedimentos altamente activados lagunas de aereación y filtros gotcantes puede llevarse a cabo, pues se dispone de superficie suficiente. Por lo tanto, hay 4 alternativas para el Plan Básico, las cuales se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Alternativas para el Plan Básico

| Opciones | Alternativas | Sitio de la planta                                    | Método de Tratamiento                  | Desagüe Interceptor Principal  |
|----------|--------------|---|--|--|
| Irpavi   | 1            | Costa izquierda del Río Irpavi en el Area de Calacoto | Sedimentos Altamente Activados         | desde aguas arriba de la confluencia con el Río Orkojahuira hasta Irpavi, principalmente a lo largo de carreteras.   |
| Lipari   | 2A           | Cerca de Lipari, #1                                   | Sedimentos con Activación Convencional | desde aguas arriba de la confluencia con el Río Orkojahuira hasta Irpavi, a lo largo de carreteras y cuencas de ríos |
| Lipari   | 2B           | Cerca a Lipari, #1                                    | Filtros Goteantes                      | idem   |
| Lipari   | 2C           | Cerca a Lipari, #1 y #2                               | Lagunas Aireadas                       | idem   |

Nota : Para la ubicación de los Sitios de Planta, ver la Fig. 2.4.

#### 2.4 Evaluación de Alternativas

Los costos estimados de las 4 alternativas se muestran en la Tabla 2.4. La alternativa 2C (Lipari/lagunas de aereación) es la más ventajosa desde el punto de vista de los costos.

Tabla 2.4 Comparación de Alternativas  
(\$US millones, Precios 1992)

| Costos                              | Alternativas |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     | 1            | 2A           | 2B           | 2C           |
| <b>Costos de Capital</b>            |              |              |              |              |
| Alcantarilla Interceptora Principal | 4.48         | 9.06         | 9.06         | 9.06         |
| Planta de Tratamiento               | 49.82        | 49.82        | 45.53        | 19.12        |
| Instalaciones de Toma               | 1.15         | 1.15         | 1.15         | 1.15         |
| Alcantarillas Interceptoras         | 3.22         | 3.22         | 3.22         | 3.22         |
| Sub-Total                           | 58.67        | 63.25        | 58.96        | 32.55        |
| Suelos y DdV*                       | 17.25        | 2.94         | 2.94         | 5.34         |
| Ingeniería                          | 5.87         | 6.33         | 5.90         | 3.26         |
| Contingencia                        | 8.80         | 9.49         | 8.84         | 4.88         |
| <b>Total</b>                        | <b>90.59</b> | <b>82.00</b> | <b>76.64</b> | <b>46.03</b> |
| <b>Costos de operación Anuales</b>  | <b>5.00</b>  | <b>5.00</b>  | <b>2.50</b>  | <b>3.50</b>  |

\*DdV : Derecho de Via

Las 4 alternativas fueron evaluadas también desde el punto de vista de la disponibilidad de espacio, mejoramiento de la calidad de las aguas, adaptabilidad tecnológica, y del impacto ambiental y social. La evaluación de estas alternativas bajo estos aspectos fue resumida en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Evaluación de las 4 Alternativas del Plan Básico. Resumen**

| Alternativa No.                                 | 1                              | 2A                                     | 2B                | 2C               |
|---|--------------------------------|--|-------------------|------------------|
| Sitio de la Planta                              | Irpavi                         | Lipari                                 | Lipari            | Lipari           |
| Método de Tratamiento                           | Sedimentos Altamente Activados | Sedimentos con Activación Convencional | Filtros Goteantes | Lagunas Aireadas |
| Costos Iniciales                                | x                              | x                                      | x                 | xxx              |
| Costos Operativos                               | x                              | x                                      | xxx               | xx               |
| Disponibilidad del Sitio                        | x                              | xxx                                    | xxx               | xx               |
| Efecto de Mejora en la Calidad del Agua del Río | xxx                            | xx                                     | xx                | xx               |
| Adaptabilidad Tecnológica                       | x                              | x                                      | xx                | xxx              |
| Grado de Impacto Ambiental                      | x                              | xxx                                    | xxx               | xx               |
| Grado de Impacto Social                         | x                              | xxx                                    | xxx               | xx               |

Nota xxx : favorable (o fácil) xx: regular x : no favorable (o difícil)

De acuerdo a la Tabla 2.5, la alternativa 2B y 2C son consideradas las más ventajosas. El principal factor limitante para la realización de los planes, es la variable costo. Por lo tanto, la alternativa 2C es la que se sugiere como la más viable, para controlar la polución de las aguas fluviales.

## 2.5 Plan Básico

En la Fig. 2.4 se muestra un esquema general de las principales facilidades propuestas en el Plan Básico.

El flujo de aguas residuales diseñado para el Plan Básico es como sigue:

| AREA         | 1992    | 1995    | 2000    | 2005    | 2010    |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Agua Fluvial | 34,560  | 34,560  | 34,560  | 34,560  | 34,560  |
| Zona Central | 102,609 | 106,442 | 113,049 | 121,359 | 130,103 |
| Orkojahuirra | 21,646  | 23,198  | 25,920  | 28,308  | 30,948  |
| Irpavi       | 11,223  | 12,018  | 13,497  | 16,622  | 20,027  |
| Calacoto     | 8,318   | 8,667   | 9,335   | 10,938  | 12,728  |
| TOTAL        | 178,356 | 184,885 | 196,361 | 211,787 | 228,366 |

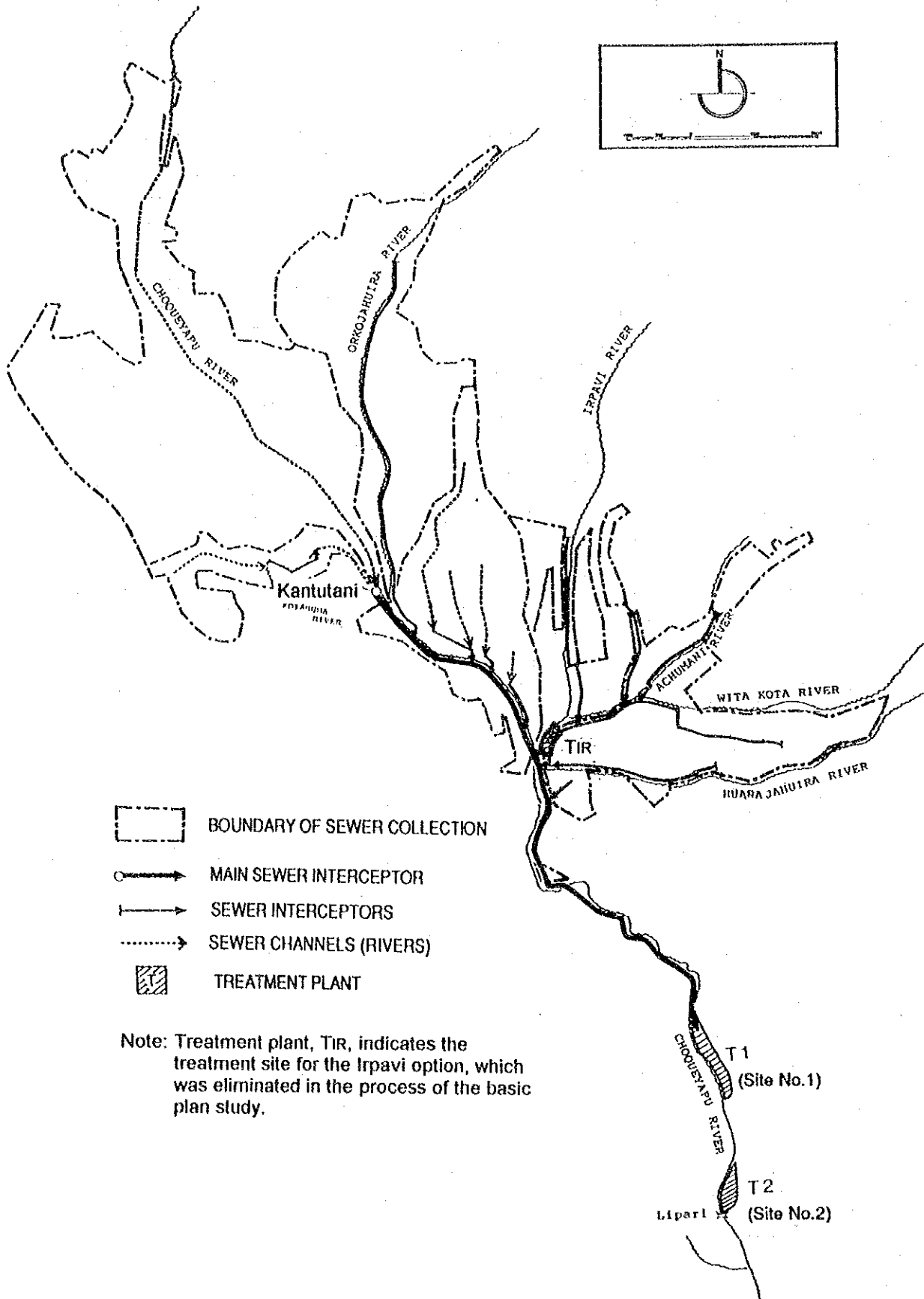


Fig. 2.4 Disposición General del Plan Básico



Los principales componentes estructurales del Plan Básico son los siguientes:

(1) Toma de Agua

Las tomas deberán ser instaladas en el Choqueyapu en Kantutani para recolectar las aguas residuales desde la Zona Central, donde las aguas residuales recolectadas por la alcantarilla interceptora por problemas tecnológicos no podrán ser separadas de las aguas pluviales.

(2) Alcantarilla Interceptora Principal

La alcantarilla interceptora contiene las siguientes secciones:

|  |         |
|--|---------|
| A lo largo de las vías principales (con pavimento asfaltado) | 3,630 m |
| A lo largo de vías secundarias (con pavimento de piedra)     | 1,260 m |
| Paso a través de áreas pobladas                              | 485 m   |
| Tunel  | 260 m   |
| En el lecho del río  | 4,215 m |

(3) Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Preparación del sitio: relleno del lecho y de las tierras de cultivo, sitio #1 (20ha) y sitio #2 (12ha).

|                         |                        |  |
|-------------------------|------------------------|--|
| Tratamiento Preliminar: | Tamiz de Barras        |  |
|                         | Tanque desarenador     |  |
|                         | Medición del caudal    | Cañalón Parshall   |
| Lagunas de Aireación    | Tipo                   | Completamente mezclada por medios mecánicos o aereadores |
|                         | Volumen                | 690.000 m <sup>3</sup>                                   |
|                         | Area superficial       | 16 ha  |
|                         | Profundidad Máxima     | 6.0 m  |
|                         | Tiempo de detención    | 3 días   |
| Cuenca de Sedimentación | Area superficial       | 11.5 ha  |
|                         | Profundidad Máxima     | 6.0 m  |
|                         | Indice de derrame      | 2 m/día  |
|                         | Depósito de sedimentos | 4 años   |

Para implementar las medidas estructurales del Plan Básico se necesita estructurar un cuerpo de provisiones institucionales apropiado (medidas no estructurales). Las siguientes medidas son recomendadas:

- a) reforzar los estándares de calidad de efluentes industriales.
- b) monitorear los efluentes industriales y aplicar los estándares de calidad de aguas.

- c) monitorear la calidad de agua fluvial.
- d) controlar la evacuación de residuos sólidos a los ríos.
- e) controlar la erosión y la extracción desmesurada de arenas y ripios de los lechos fluviales.
- f) reforzamiento de las organizaciones a cargo del desarrollo, operación y manejo de las alcantarillas

En conclusión las siguientes medidas estructurales y no estructurales se proponen:

- 1) Desarrollar un sistema de alcantarillado incluyendo tratamiento de aguas residuales tal como se ha descrito anteriormente.
- 2) Controlar el agua residual efluente de aquellas industrias que descarguen más de 100 m<sup>3</sup>/día con un DBO efluente límite de 300 mg/l .
- 3) Controlar las aguas residuales efluentes desde las nuevas comunidades en desarrollo considerando un DBO efluente límite de 50 mg/l.

Los efectos generales de las medidas anteriormente señaladas, se presentan en la Fig. 2.5.

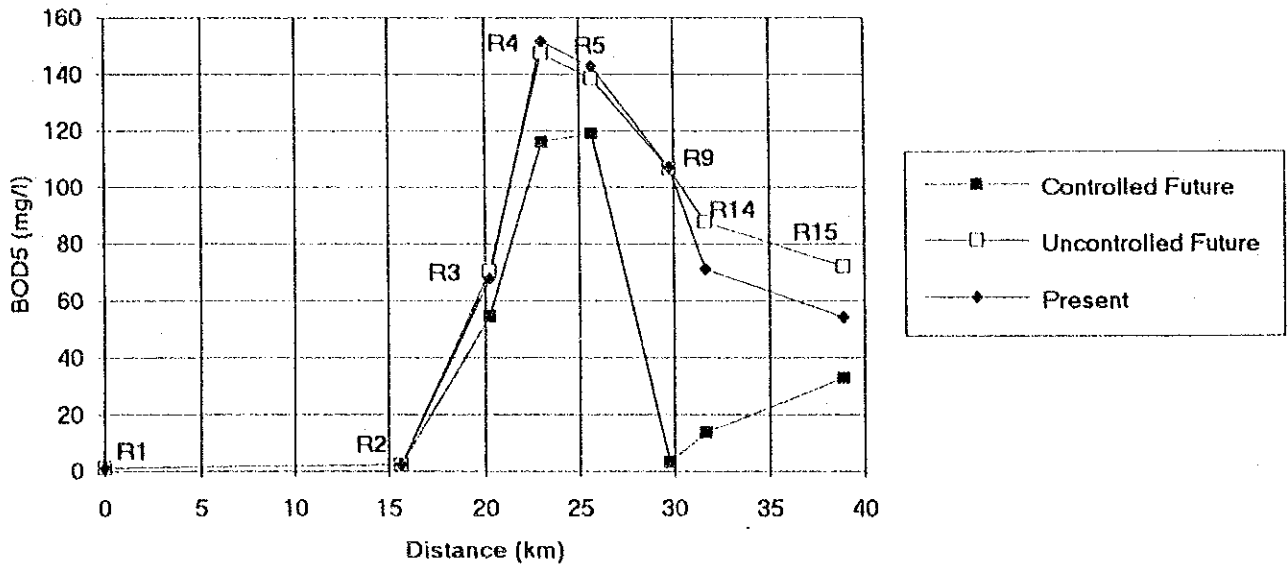


Fig. 2.5 Efectos Generales del Plan Básico

## 2.6 Programa de Implementación

El programa de implementación propuesto hasta el 2010 se presenta en la siguiente Tabla:

**Tabla 2.6 Programa de Implementación**

| Periodo de Implementación | Fase   | Áreas Servidas     | Capacidad de Tratamiento (m <sup>3</sup> /día)    | Instalaciones a ser Construidas   |
|---------------------------|--------|--------------------|---|---|
| 1993-1995                 | Fase 1 | Área Central       | 140,000 (lagunas aireadas parcialmente mezcladas) | Instalaciones de toma<br>Interceptor de desagüe principal<br>Preparación del sitio (Sitio #1)<br>Operaciones/otras edificaciones<br>Lagunas aireadas (12 Ha)<br>Cuencas de sedimentación (4 Ha)   |
| 1996-2000                 | Fase 2 | Cuenca Orkojahuirá | 170,000   | Conversión de 4 Ha de cuencas de sedimentación en lagunas aireadas<br>Conversión de 12 lagunas aireadas parcialmente en lagunas completamente mezcladas<br>Agregar equipo de aireación<br>Preparación del sitio-12 Ha (Sitio #2)<br>Cuencas de sedimentación (11.5 Ha)<br>Alcantarilla interceptora para la cuenca de Orkojahuirá |
| 2001-2005                 | Fase 3 | Cuenca Irpavi      | 200,000   | Agregar equipo de aireación<br>Alcantarilla interceptora para la cuenca de Irpavi   |
| 2006-2010                 | Fase 4 | Calacoto, etc.     | 230,000   | Alcantarilla interceptora para el área de Calacoto  |

Los costos estimados de cada fase de acuerdo al propuesto programa de implementación es como sigue (precios de 1992). Considerando la fase de construcción, el tamaño requerido de la Planta de Tratamiento fue revisada y reducida de 40 Ha a 32 Ha la cual fue estimada en comparación de las Alternativas (Tabla 2-4), resultando en la reducción de los costos totales de construcción.

| (millones de US\$) |                                 |
|--------------------|---------------------------------|
| Fase               | Costos de Construcción por Fase |
| 1                  | 23.83                           |
| 2                  | 8.19                            |
| 3                  | 0.15                            |
| 4                  | 1.15                            |
| <b>TOTAL</b>       | <b>33.32</b>                    |

## 2.7 Proyecto Prioritario

Del programa de implementación del Plan Básico, se puede denominar la fase 1 del proyecto (hasta 1995) como el proyecto prioritario. En el proyecto prioritario, las aguas residuales de la zona Central deberán ser recolectadas desde el río Choqueyapu a la planta de tratamiento.

Las instalaciones necesarias para implementar el proyecto prioritario son:

- Toma de agua en el río Choqueyapu en Kantutani.
- Alcantarilla principal interceptora (9.85 Km).
- Lagunas de aereación (12 ha; 140,000 m<sup>3</sup>/ día).
- Cuencas de sedimentación (4ha).
- Operación/edificio múltiples.

El efecto del mejoramiento de la calidad de aguas a través de la aplicación de las acciones del proyecto prioritario ha sido predecido utilizando un modelo de simulación para condiciones de flujo reducido, los resultados se observan en la Fig. 2.6. Si bien el DBO supera el valor propuesto de 50 mg/l en el área aguas abajo cuando no se aplican medidas de control, la implementación el proyecto prioritario para el mismo año se aplican, el DBO no supera el valor objetivo, en el punto R14 es de 40mg/l y en el R15 es de 47 mg/l.

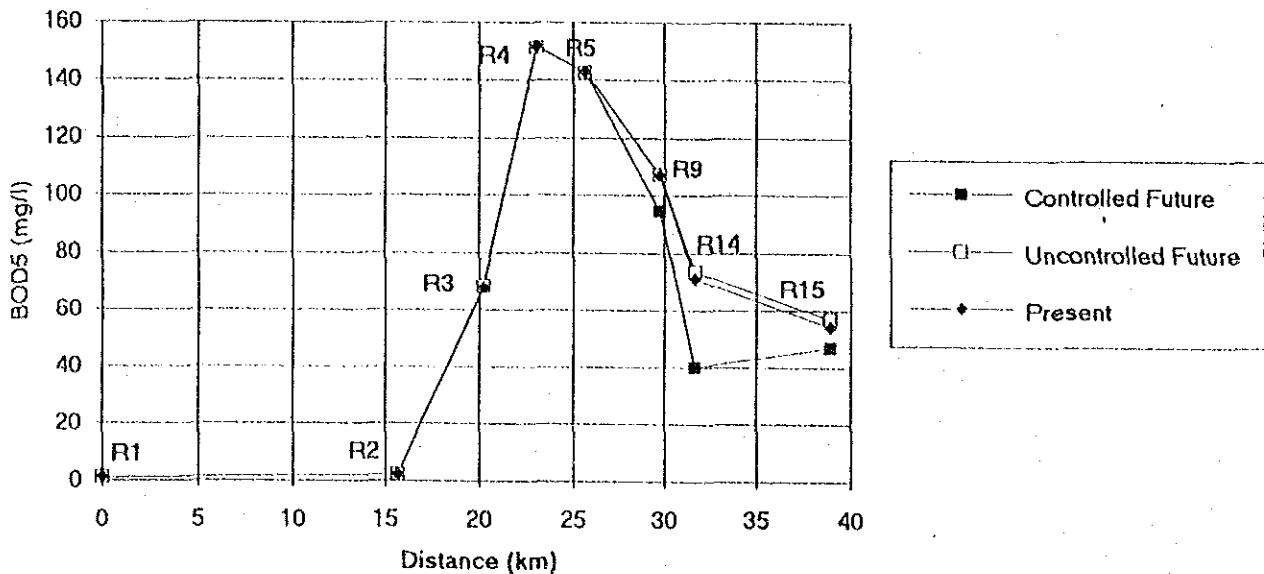


Fig. 2.6 Mejoramiento de la Calidad de Aguas a través de la aplicación del Proyecto Prioritario

### 3 Estudio de Factibilidad

El proyecto prioritario se planea implementarlo como una primera etapa del Plan Básico entre 1993 y 1995. Su objetivo es tratar las aguas residuales de la zona Central, excluyendo la cuenca de Orkojuaira, mediante una desviación del río Choqueyapu hacia la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### 3.1 Diseño de Flujo de Aguas Residuales

El diseño de aguas residuales para cada componente se determina como se indica a continuación:

| Componente                          | Agua residual de diseño     | Observaciones   |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|
| Instalaciones de toma de agua       | 170.000 m <sup>3</sup> /día | Caudal del río (0.4m <sup>3</sup> /s) + generación de agua residual desde la zona Central excepto la cuenca de Orkojuaira en 1995.    |
| Alcantarilla interceptora principal | 230.000 m <sup>3</sup> /día | Total de generación de aguas residuales desde la zona a ser servida en 2010.  |
| Planta de tratamiento de aguas      | 140.000 m <sup>3</sup> /día | Caudal del río (0.4m <sup>3</sup> /s) + generación de aguas residuales desde la Zona Central excepto la cuenca de Orkojuaira en 1995. |

#### 3.2 Instalaciones de Toma de Agua.

Se determinó que la ubicación propuesta para la toma fuera en el Kantutani, justo sobre la confluencia con el río Cotahuma porque éste presenta un alto grado de sólidos de suelo suspendidos. Sin embargo, el río Kantutani acarrea aguas residuales provenientes del área de Sopocachi, las cuales podrían ser desviadas hacia las tomas de agua. La localización de las estructuras se muestran en la Fig. 3.1.

Las facilidades de toma de agua incluyen una presa fija, una compuerta de exclusiva y una compuerta de control, una cañería de conexión, una cámara para conexión con el desagüe interceptor principal, y trabajos misceláneos tal como los trabajos de consolidación para protección del lecho del río.

Los costos de construcción para las instalaciones de toma se estiman en:

|                    |            |
|--------------------|------------|
| Obrus civiles      | US\$49.000 |
| Equipos/Materiales | US\$31.000 |
| <hr/>              |            |
| Total              | US\$80.000 |

### 3.3 Alcantarilla Interceptora Principal

La ruta propuesta de la alcantarilla interceptora principal se muestra en la Fig.3.2 y se divide en tres secciones:

**Sección A:** En esta sección, la mayor porción del interceptor se instalará debajo de la carretera. Dos rutas posibles, fueron consideradas por ej. una a lo largo de la costa izquierda y otra a lo largo de la derecha. La ruta de la costa derecha es preferida principalmente por sus bajos costos de construcción.

**Sección B:** La ruta fue seleccionada de forma tal que siga la línea de la carretera existente, para reducir la longitud total

**Sección C:** Se eligió la ruta del lecho del río porque no hay carretera a lo largo del río. Se incluye una sección de un túnel para evitar los meandros a lo largo del río aguas abajo de Aranjuez.

Los tamaños de los interceptores y el diseño de los flujos de aguas residuales para cada sección son los indicados en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Tamaños del interceptor**

| Interceptor No.º | Aguas Residuales de Diseño (m <sup>3</sup> /sec) | Tamaño (mm x mm) | Gradiente (%) | Velocidad (m/sec) | Max. Capacidad (m <sup>3</sup> /sec) |
|------------------|--|------------------|---------------|-------------------|--------------------------------------|
| 1                | 2.523  | 1200 día         | 1.0           | 2.99              | 3.379                                |
| 2                | 2.523  | 1300, 1300       | 2.0           | 2.33              | 3.155                                |
| 3                | 2.523  | 1300, 1300       | 2.0           | 2.33              | 3.155                                |
| 4                | 2.553  | 1500, 1500       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 5                | 3.066  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 6                | 3.185  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 7                | 3.261  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 8                | 3.299  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 9                | 3.493  | 1500, 1950       | 1.8           | 2.44              | 4.383                                |
| 10               | 3.502  | 1500, 1950       | 1.5           | 2.22              | 4.001                                |
| 11               | 3.504  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 12               | 3.504  | 1500, 1950       | 2.0           | 2.57              | 4.620                                |
| 13               | 3.504  | 1500, 1950       | 3.0           | 3.14              | 5.659                                |
| 14               | 3.504  | 1500, 1500       | 1.8           | 3.14              | 4.383                                |

Los cortes transversales típicos del interceptor incluyendo las secciones de los agujeros se muestran en la Fig. 3.3

Se propone hacer los trabajos de las aristas de empalme en las secciones serpenteantes (meandros) para proteger el interceptor sepultado en el lecho del río de exposiciones debidas ala erosión.

Los costos de construcción y los costos de operación son estimados como se indica en la las Tablas 3.2 y 3.3.

**Tabla 3.2 Costo Estimado de Construcción para el Interceptor de Desagües Principal**

| Items                    | Cantidad             | Precio Unitaris (US\$) | Monto (US\$)  |
|--------------------------|----------------------|------------------------|---------------|
| <b>Obras civiles</b>     |                      |                        |               |
| Concreto                 | 319 m <sup>3</sup>   | 115                    | 36,685        |
| Concreto reforzado       | 8.5 m <sup>3</sup>   | 139                    | 1,182         |
| Excavación               | 433.6 m <sup>3</sup> | 13                     | 5,637         |
| Relleno                  | 14.9 m <sup>3</sup>  | 4                      | 60            |
| Gavión                   | 120 m <sup>3</sup>   | 43                     | 5,160         |
| Sub-total                |                      |                        | 48,723        |
| <b>Equipo/Materiales</b> |                      |                        |               |
| Criba                    | 1                    | 1,385                  | 1,385         |
| Compuerta                | 1                    | 26,538                 | 26,538        |
| Emparrillado             | 1                    | 1,385                  | 1,385         |
| Vigas H                  | 2                    | 692                    | 1,385         |
| Sub-total                |                      |                        | 30,692        |
| <b>Total</b>             |                      |                        | <b>79,415</b> |

**Tabla 3.3 Costo estimado de Operación para el Interceptor de Desagües Principal**

| Personal     | Salario(US\$/Año y Toma de Agua) |
|--------------|----------------------------------|
| Ingenieros   | 4,950                            |
| Obreros      | 9,900                            |
| Nocheros     | 1,650                            |
| Conductores  | 3,960                            |
| <b>Total</b> | <b>20,460</b>                    |

### 3.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Para el proyecto prioritario, se propone construir solo una porción de las lagunas propuestas en Plan Básico y las cuencas de sedimentación en el sitio #1 como se indica en la Fig. 3.4. Para esta etapa, las lagunas deberían ser del tipo parcialmente aireado.

En el sitio #1 hay un total de 20 Ha a disposición. Ya que aproximadamente 2 Ha son necesarias para caminos, estacionamientos, berma, etc., hay aproximadamente 18 Ha utilizables para el proceso de instalaciones. Para el proyecto prioritario, se propone proveer las siguientes facilidades:

2Ha Trabajos de tratamiento preliminar (ensanada) y cofradías.

16Ha Lagunas parcialmente mezcladas aireadas con cuencas de sedimentación

Los trabajos de tratamiento preliminar consisten de tamiz de barros tanque desarenador y Cañalón Parshall.

El sistema de lagunas para el proyecto prioritario se compone de dos series paralelas de celdas, consistiendo cada una de seis celdas de 1 Ha más una de 2 Ha con una profundidad máxima de 6 metros. El perfil del sistema de lagunas se indica en la Fig. 3.5. El lecho del río en el sitio #1 requerirá de relleno para elevar el sitio de la planta por sobre los niveles de inundación. El sistema tendría un tiempo de retención de 3.86 días y la remoción de DBO sería del orden del 60%.

Las últimas celdas para ambas series de lagunas que se muestran en la Fig. 3.3 funcionando como cuencas de sedimentación, tendrían una profundidad promedio de 4.7 metros con un volumen total de 188,000 m<sup>3</sup>. De este volumen, los dos metros superiores deberían ser reservados para sedimentación y la porción del fondo para digestión y acumulación de sedimentos. Con este volumen se estima que se pueden almacenar sedimentos acumulados por cerca de cuatro años.

Las edificaciones requeridas incluyen un edificio de operaciones con laboratorio, oficina y salas de reunión, y facilidades de mantenimiento y almacenamiento para el equipo de aireación.

Los costos de construcción y operación se estiman como indican las Tablas 3.4 y 3.5.



**Tabla 3.4 Costos de Construcción para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

| Items                               | Monto (millon US\$) |
|-------------------------------------|---------------------|
| Preparación del Sitio               | 1.68                |
| Trabajos de Tratamiento Preliminar  | 0.38                |
| Lagunas Aireadas                    | 3.80                |
| Cuencas de Sedimentación (Sitio #1) | 1.59                |
| Edificios                           | 0.40                |
| Ruta de Acceso                      | 0.28                |
| Instalaciones Eléctricas            | 0.12                |
| <i>Total de Construcción</i>        | <i>8.25</i>         |
| Adquisición de Tierras y DdV*       | 2.45                |
| <b>Total</b>                        | <b>10.70</b>        |

\*DdV : Derecho de Via

**Tabla 3.5 Costos de Operación para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

|                                       | (US\$/year)    |
|---------------------------------------|----------------|
| Salario del personal                  | 71,940         |
| Equipos/Materiales                    | 11,500         |
| Servicios de agua, electricidad, etc. | 444,570        |
| <b>Total</b>                          | <b>528,010</b> |

### 3.5 Costos del Proyecto

Los costos estimados de construcción para todos los componentes del proyecto prioritario son resumidos en la Tabla 3.6. Los costos operativos para el proyecto prioritario son resumidos en la Tabla 3.7. Los costos de construcción son considerados más bajos que aquellos estimados para el Plan Maestro porque el costos de las alcantarillas interceptoras y las lagunas de aireación fueron revisados y reducidos.

| Items                                     | (millones de US\$) |             |              |
|---|--------------------|-------------|--------------|
|   | Local              | Extranjera  | Total        |
| <b>Costos de Construcción</b>             | <b>11.49</b>       | <b>1.82</b> | <b>13.31</b> |
| Instalaciones de Toma de Agua             | 0.05               | 0.03        | 0.08         |
| Alcantarilla Principal Interceptora       | 4.95               |             | 4.95         |
| Planta de Tratamiento de Aguas Residuales | 6.49               | 1.79        | 8.28         |
| Adquisición de tierras y DdV*             | 3.35               | 0.18        | 3.35         |
| Ingeniería                                |                    | 1.33        | 1.33         |
| Contingencia                              | 1.48               | 0.18        | 1.67         |
| <b>Total</b>                              | <b>17.47</b>       | <b>2.18</b> | <b>19.66</b> |

\*DdV : Derecho de Via

**Tabla 3.7 Costos Operativos para el Proyecto Prioritario**

|  | US\$/Año       |
|--|----------------|
| <b>Recolección/Transmisión de Aguas Residuales</b> |                |
| Gastos en Personal                                 | 20,460         |
| <b>Operación de la Planta</b>                      |                |
| Gastos en Personal                                 | 71,940         |
| Materiales/Equipos                                 | 11,500         |
| Electricidad, etc.                                 | 444,570        |
| Sub-Total  | 528,010        |
| <b>Total</b>                                       | <b>548,470</b> |



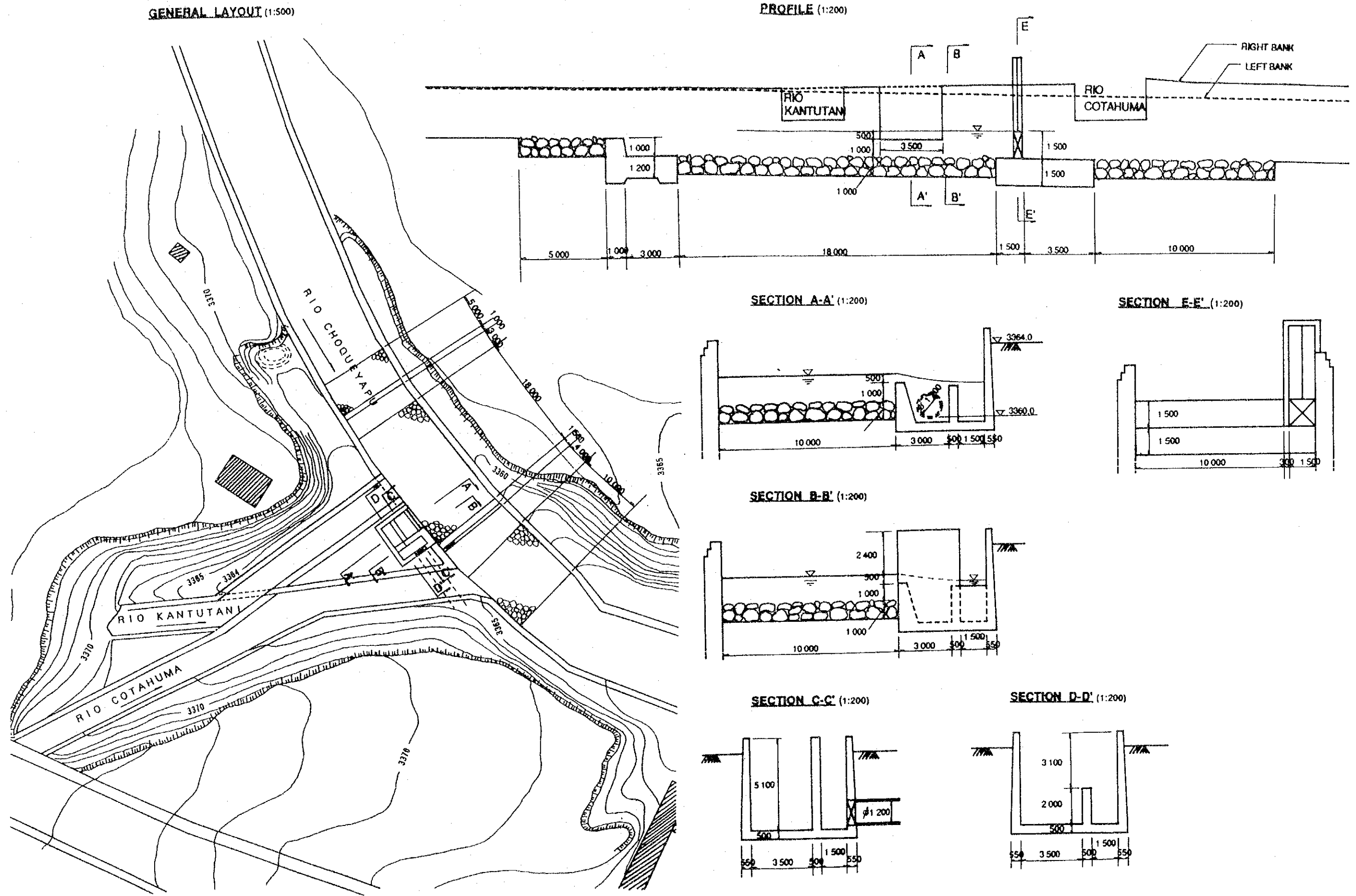
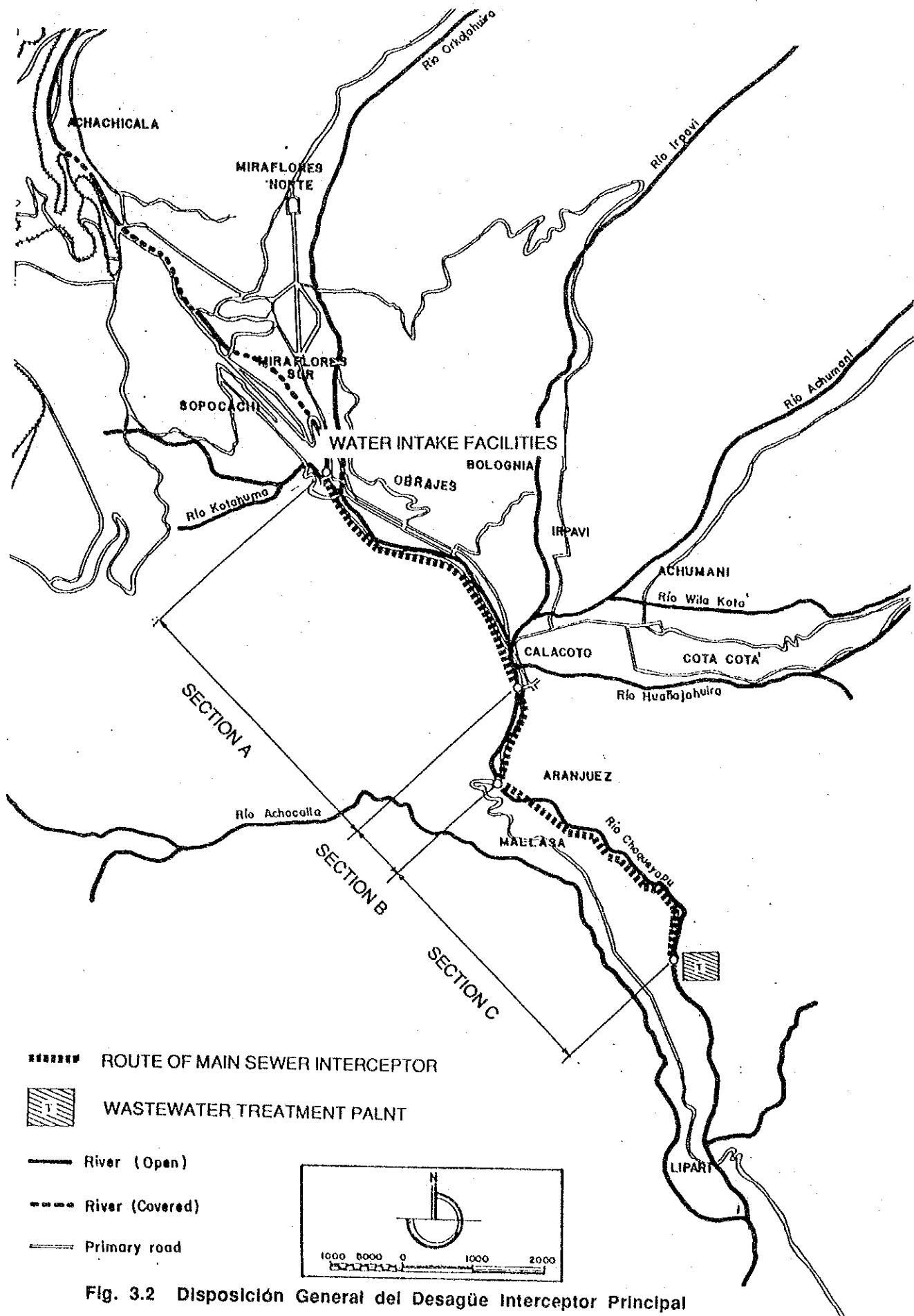


Fig. 3.1 Disposición General y Perfil de las Instalaciones de Toma de Agua



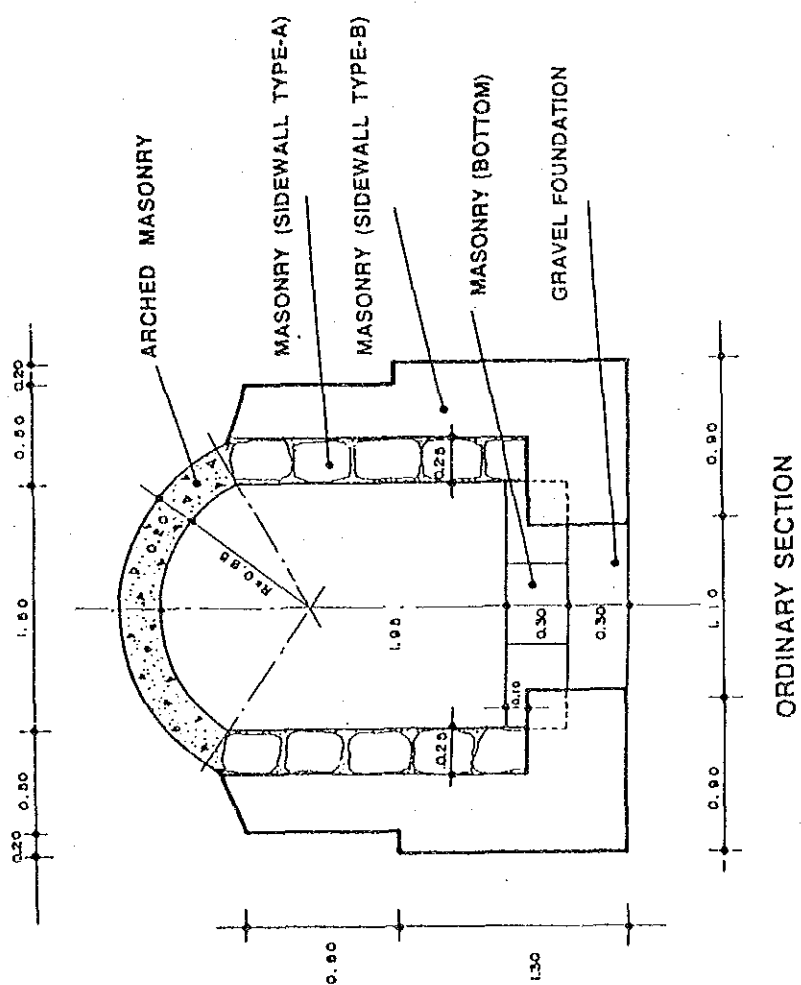
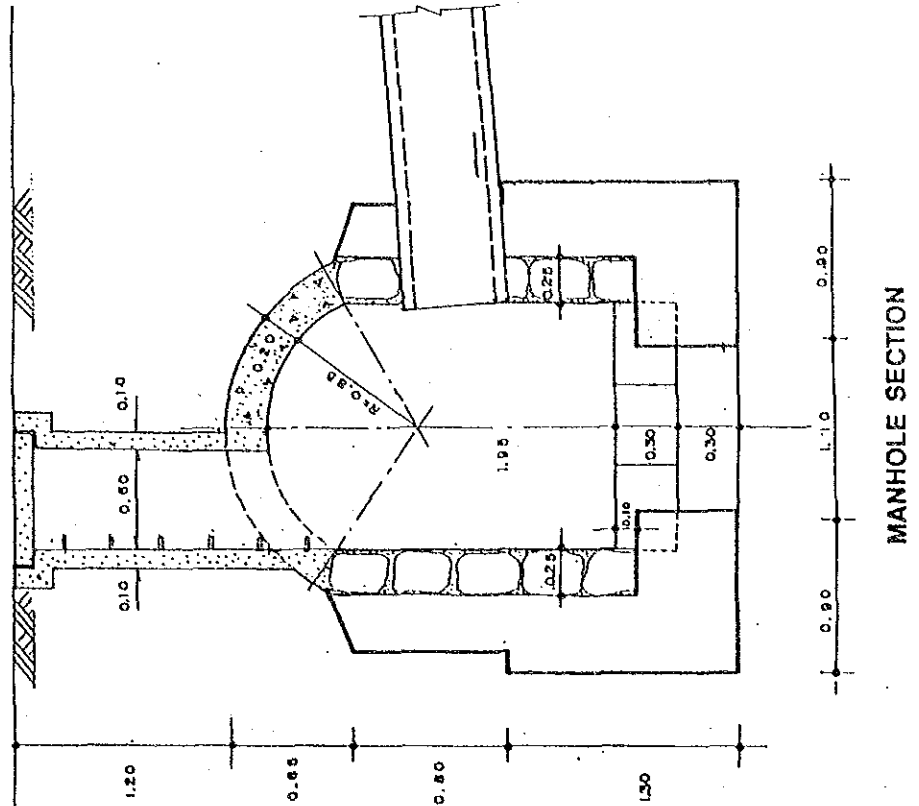


Fig. 3.3 Sección Transversal Típica del Interceptor de Mampostería Arqueada

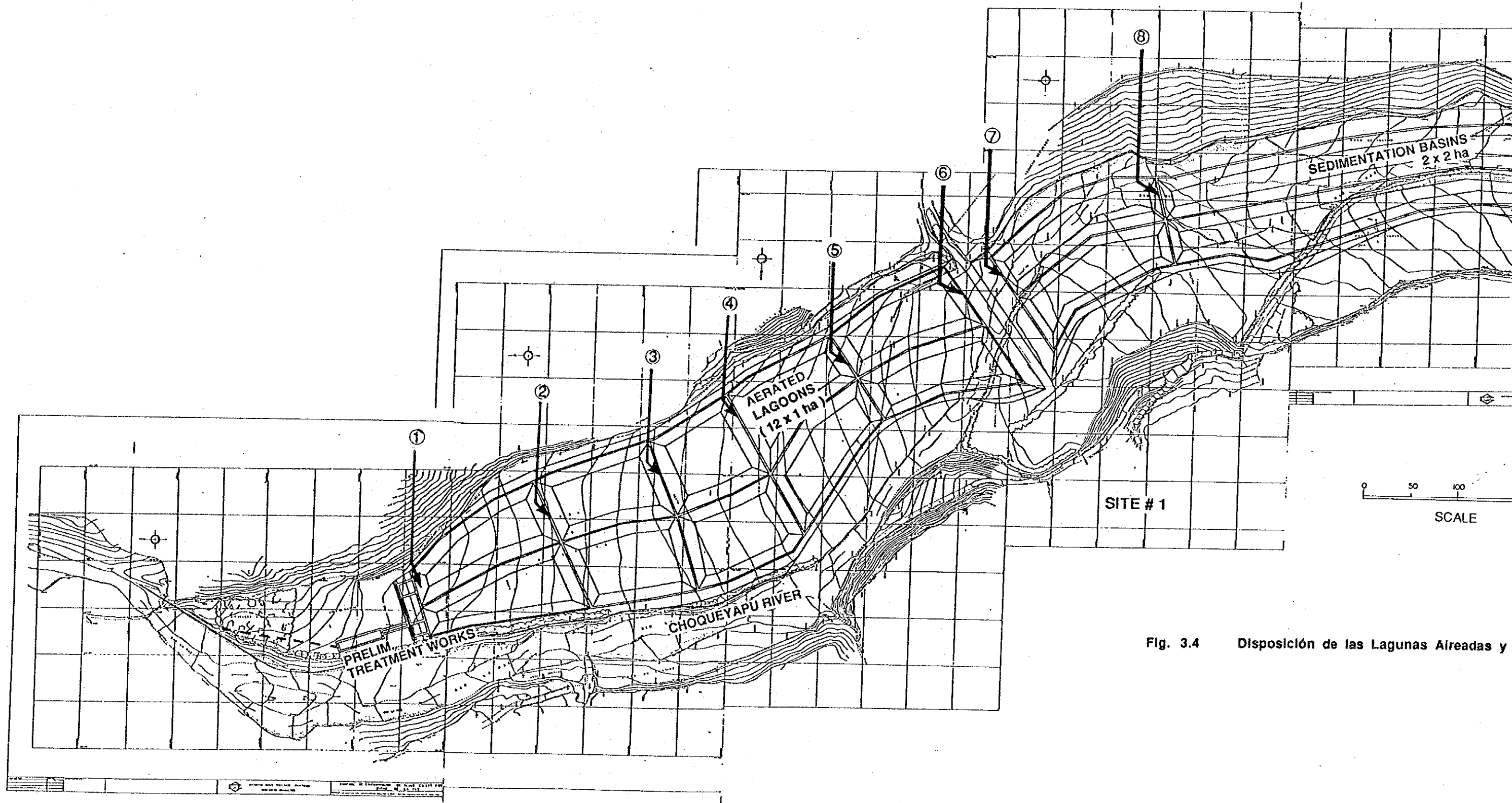


Fig. 3.4 Disposición de las Lagunas Aireadas y

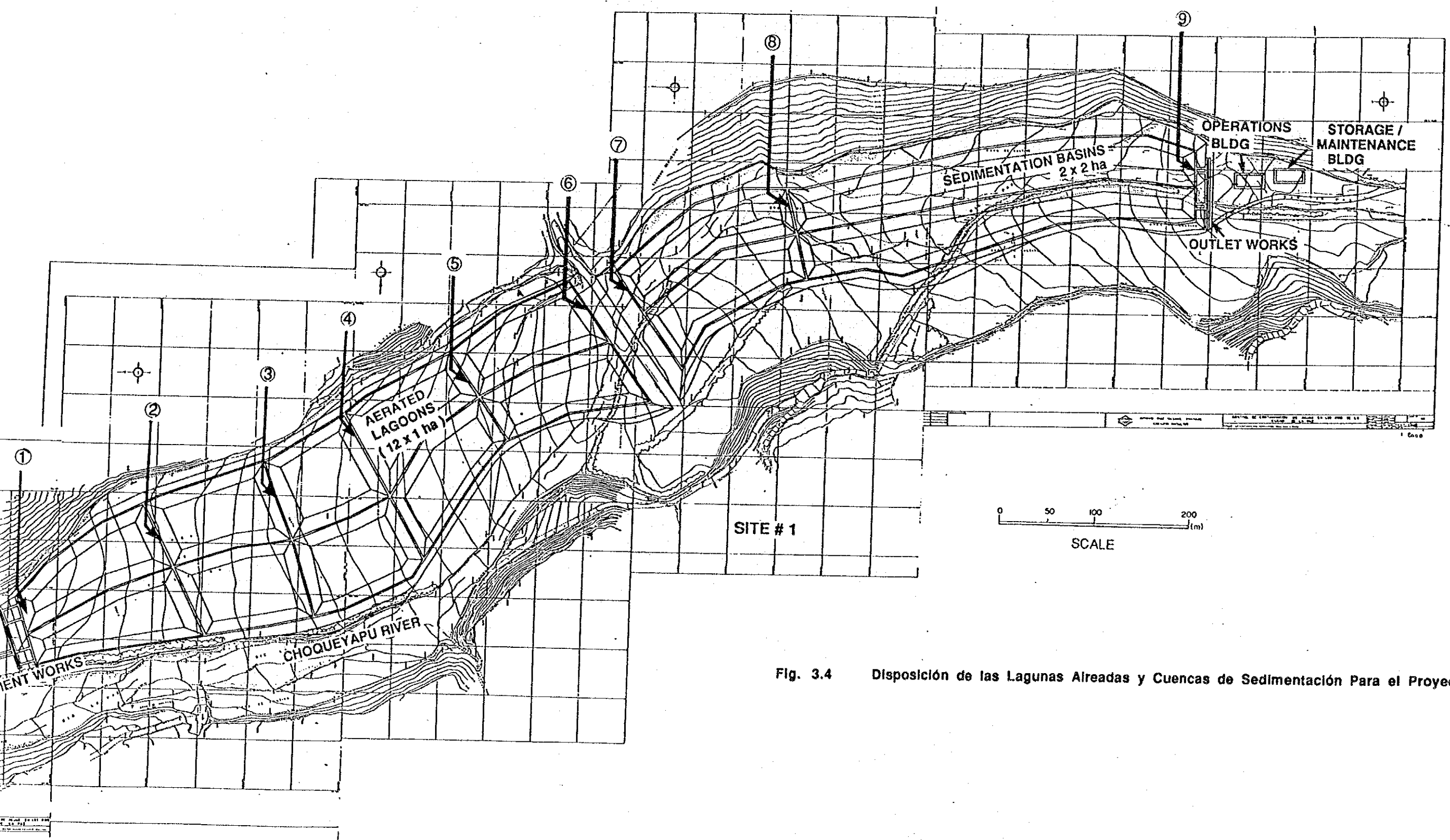


Fig. 3.4 Disposición de las Lagunas Alreadas y Cuencas de Sedimentación Para el Proyecto Prioritario



Fig. 3.5 Profile of Lagoons Site 1 - Priority Project

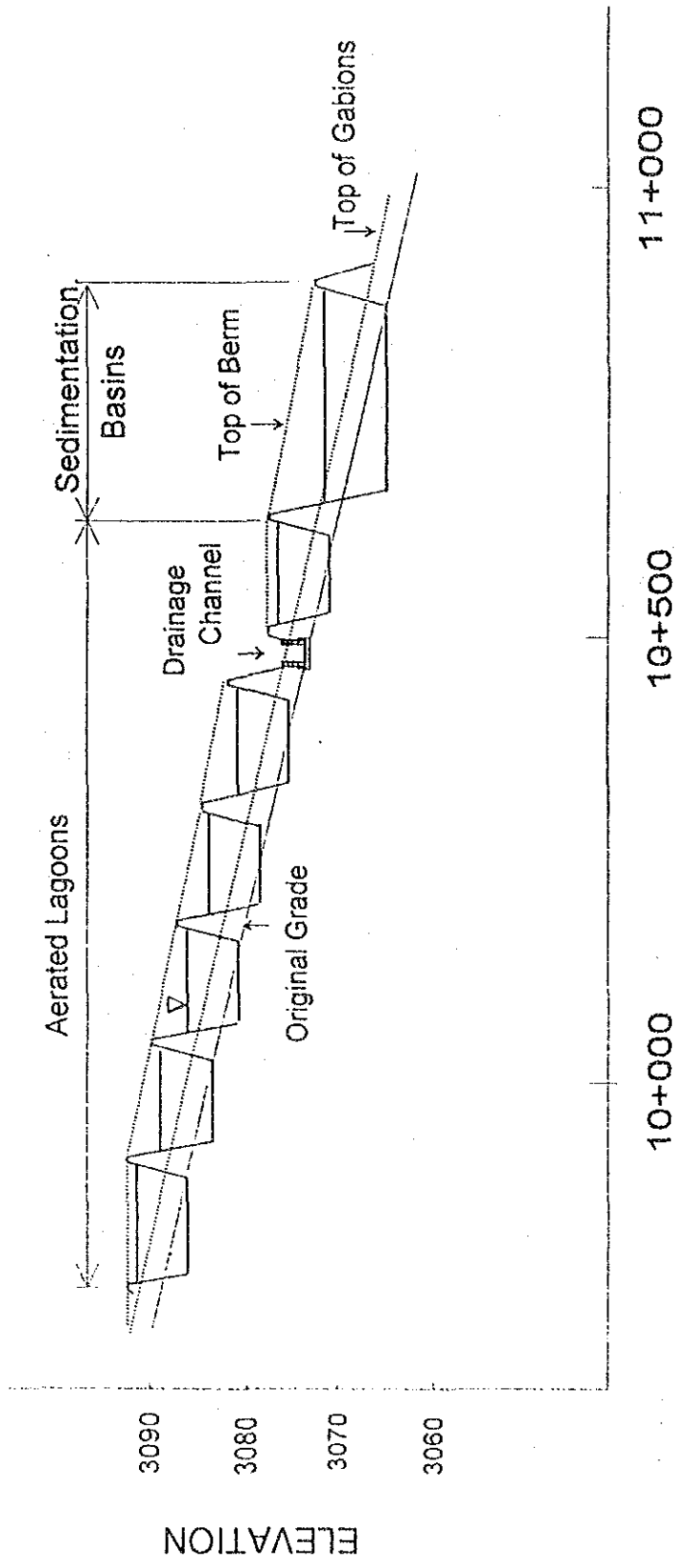


Fig 3.5 Perfil de Lagunas en el Sitio 1- Proyecto Prioritario

### 3.6 Cronograma del Proyecto

El cronograma del proyecto prioritario se indica en la Fig. 3.6:

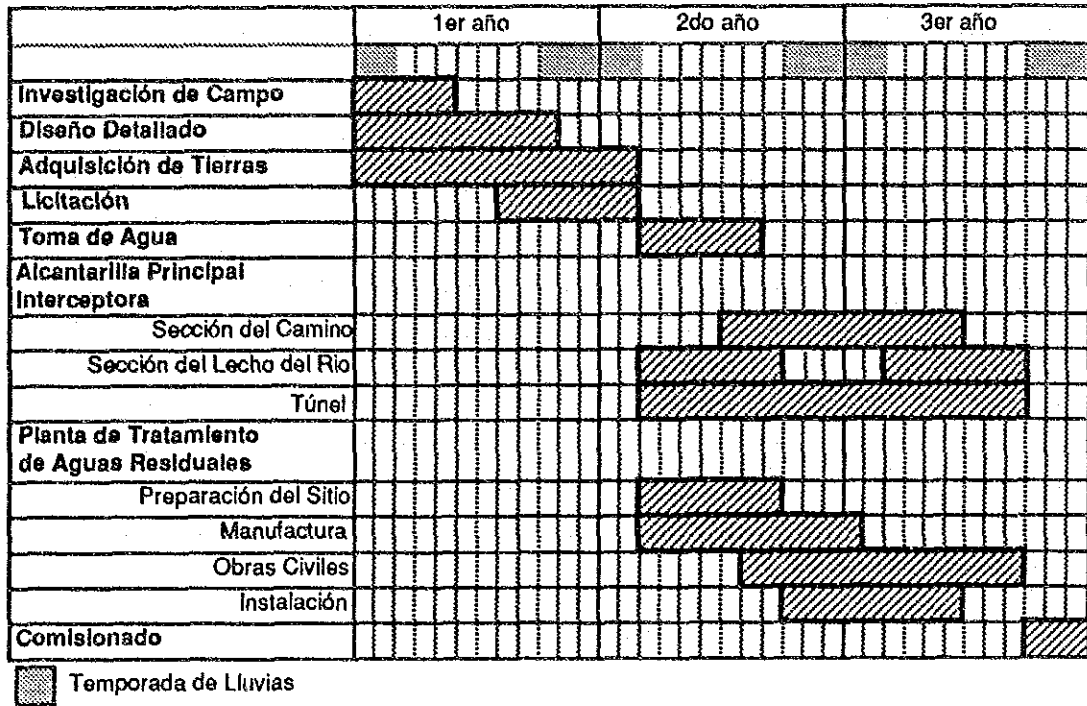


Fig. 3.6 Cronograma de Implementación para el Proyecto Prioritario

### 3.7 Requerimientos Organizativos

Entre las cuatro unidades administrativas en SAMAPA, la Administración de Ingeniería y Proyectos (GIP) debería ser responsable de la etapa de implementación del proyecto prioritario, y la Administración de Operaciones y Mantenimiento (GOM) debería ser la encargada de las operaciones y mantenimiento del sistema de desagües desarrollado.

Un aumento en varios miembros del personal sería necesario en GIP para la etapa de implementación del proyecto. Dentro del GOM, el Departamento de Operaciones de Desagües debería ser creado para la administración general de las operaciones y mantenimiento de las instalaciones existentes y las recientemente desarrolladas.

Ya que las operaciones y el mantenimiento de estas facilidades requiere de ciertas habilidades, el entrenamiento del personal es esencialmente importante. Un programa de entrenamiento debería ser preparado por las autoridades.

### 3.8 Evaluación Social y Económica

Actualmente, los lugares seleccionados para las plantas y los cultivos de los alrededores están sirviendo básicamente para el suministro de vegetales frescos y de flores. Por lo tanto, luego de la transformación de las tierras en el sitio de la planta, las áreas de la cuenca baja podrían cubrir la producción de los cultivos que potencialmente se perderían al construir la planta, como sustitutos. Estas áreas de cultivo en la cuenca aguas abajo pueden promover el trabajo sirviendo como zonas de aprovisionamiento de cultivos.

El trabajo de construcción del proyecto prioritario estimularía la economía regional. Cuando una unidad monetaria es invertida en el sector construcción, por efectos multiplicadores de la inversión en la economía regional se incorporarían 2.06 unidades. Estos comprenden una unidad para el sector construcción como efecto económico directo y 1.06 unidades a través de otros sectores como efecto indirecto.

Se trató de llevar a cabo una evaluación económica para el proyecto prioritario considerando la eficiencia económica a través del análisis de la Tasa Interna de Retorno Económica (TIRE). Debido a las dificultades en cuantificar los beneficios económicos del mejoramiento de las condiciones ambientales, los beneficios fueron calculados por medio de la predisposición-para-pagar de los residentes; se utilizaron datos obtenidos por medio de una encuesta. La TIRE calculada resultó negativa. Por lo tanto, el proyecto prioritario podría no ser viable desde el punto de vista económico. El proyecto debería de ser también considerado como adecuado para satisfacer las necesidades básicas humanas y perspectiva ambientales.

### 3.9 Evaluación Ambiental

Los impactos ambientales derivados del proyecto prioritario se resumen de la siguiente manera:

- El mejoramiento de las aguas fluviales a través de procesos de tratamiento permitirá el uso de las aguas para riego.
- La derivación de las aguas fluviales poluídas a la planta de tratamiento dará como resultado el mejoramiento de la salud pública y la sanidad, y condiciones estéticas.
- El acarreo de los residuos acumulados en la cuenca de sedimentación deberá iniciarse varios años después del comienzo de la operación de la planta. Junto con esto, es absolutamente necesario, planificar o establecer el lugar en el cual seran depositados los lodos residuales.
- Estas estructuras (tomas y otras) en el proyecto han sido diseñadas para no provocar grandes modificaciones al natural escurrimiento fluvial, el mantenimiento y observación regular de éstas se convierte en un punto de crucial importancia.

-El impacto negativo sobre la vida natural se cree que será pequeño.

-El impacto sobre el paisaje es mínimo ya que la planta de tratamiento se localiza en un lugar que no puede ser visualizado fácilmente.

-Aunque la concentración de DBO del río Choqueyapu bajo el punto de la toma o bocatoma sería reducida, la concentración de SS en esta sección se incrementará si no se controlan los niveles de SS en el Kotauma y en el Orkojahuirá. Por ende, se recomienda controlar la erosión y la intervención humana en los ríos.

-Los desagradables olores a lo largo del río Choqueyapu en la zona Sur de la ciudad se reducirán considerablemente, gracias a la desviación de las aguas polúfdas fluviales. Obviamente para mantener esta situación es necesario controlar la descarga de residuos sólidos a los ríos.

### 3.10 Evaluación Financiera

La inversión de capital para el proyecto prioritario podría ser una carga pesada para la administración financiera de SAMAPA, aún en el caso de adquirir préstamos a una tasa de interés baja.

En cualquier caso que los proyectos propuestos podrían ser implementados a través de préstamos o donaciones extranjeras, la tarifa actual por servicios de desague tendría que ser aumentada considerablemente. Para lograr unos ingresos balanceados adecuados, las tarifas por servicios de desague podrían ser 220% más que la tarifa actual para el caso de préstamos, y cerca de 52% más para el caso de donaciones. La tarifa incrementada puede ser una carga para aquellos ciudadanos de bajos ingresos. Para implementar exitosamente el proyecto, las autoridades deberían de hacer sus mejores esfuerzos para promover la comprensión del proyecto entre los beneficiarios; igualmente, se debería de tratar de obtener fondos a bajo costo.

#### 4 Recomendaciones

- Considerando los montos de inversión requeridos, la implementación del proyecto propuesto es financieramente imposible para el SAMAPA, sólo sería realidad con la ayuda del Gobierno Central. Se recomienda al Gobierno considerar esta posibilidad.
- Es muy importante que los ciudadanos comprendan la necesidad de disminuir la polución de las aguas y de compartir los costos en forma justa entre los beneficiarios. Por lo tanto, las autoridades relevantes deberían hacer sus mejores esfuerzos para promover la comprensión de los ciudadanos al tiempo que debería obtener fondos a bajo costo.
- Se recomienda hacer umplir con la mayor brevedad posible la regulación de la descarga de aguas residuales industriales especialmente para las grandes y se establezca una nueva regulación para obligar a las nacientes comunidades a instalar sus propias facilidades de tratamientos de aguas residuales. También se recomienda que las autoridades continúen sus esfuerzos para el control de la eliminación de los desperdicios sólidos.
- La implementación de proyecto propuesto mejoraría la calidad de las aguas en forma considerable. Sin embargo, no es suficiente para mejorar las aguas de regadío necesarias para regar los vegetales aguas abajo. Si se pretende mejorar las aguas de regadío se recomienda conducir un estudio para encontrar nuevas fuentes de agua tales como las aguas subterráneas.
- Debido que la organización del control de aguas contaminadas en la ciudad de La Paz actualmente no es adecuado del todo, se requiere su reforzamiento en foma inmediata. La capacidad de cada sección de la Municipalidad deberá ser fortalecida. Se recomienda reforzar la organización del SAMAPA para ejecutar el desarrollo, operación y mantenimiento de las obras y el sistema.
- Se recomienda encarecidamente rehabilitar el sistema de alcantarillado existente en la zona Sur para recolectar la mayor cantidad de aguas residuales, corrigiendo las mal conecciones entre las alcantarillas de desague y las líneas que conducen aguas pluviales.
- Se considera que vale la pena estudiar las posibilidades de otros métodos de mitigación que están siendo considerados en La Paz tales como proveer desde una represa agua para disolución.



JICA