

CAPITULO 4

DESCRIPCION RESUMIDA DEL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA

CAPITULO 4 DESCRIPCION RESUMIDA DEL PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA

4.1 Objetivos del Proyecto

Los objetivos del "Estudio del Mejoramiento de la Carretera entre San Borja y Trinidad" son los siguientes:

- llevar a cabo evaluaciones, bajo puntos de vista técnicos y económicos, para el mejoramiento de la carretera entre San Borja y Trinidad.
- efectuar la investigación necesaria y elaborar el diseño para el mejoramiento de la misma a nivel de carretera adecuada para cualquier tipo de clima y a la vez.
- estimar y analizar el impacto social y económico resultante del mejoramiento de la misma.

4.2 Propuesta de Normas del Diseño

4.2.1 Especificaciones Básicas del Proyecto

Las especificaciones básicas para mejorar la carretera San Borja-Trinidad se resumen en la Tabla 4-2-1.

Tabla 4-2-1 Especificaciones Básicas

Reglón	Especificaciones
Ancho de la carretera	Total = 9 m
	Carriles $2 \times 3.5 \text{ m} = 7 \text{ m}$
Longitud del Proyecto	Carretera = 221.9 kms
	Vía de transbordo = 7.1 kms (Rfo Mamoré)
	Total = 229.0 kms
Estructuras principales	17 puentes con una longitud total de 987.2 m (Actualmente siete [7] están bajo construcción y/o se proyecta su construcción antes de la ejecución del presente proyecto).
Terminales para el transbordador	2 (Rfo Mamoré)
Canales	3 (Rfo Mamoré)
Tipo de pavimento	Trinidad - Rfo Mamoré: Concreto asfáltico
	Rfo Mamoré-San Borja: Concreto asfáltico; sin embargo en este tramo se utilizará grava para la capa de rodamiento

4.2.2 Diseño de la Carretera del Proyecto

Las normas geométricas del diseño de la carretera proyectada están determinadas tal y como se muestra en la Tabla 4-2-2 y de acuerdo con las siguientes normas:

- ① Carretera : Manual y Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 1984, SNC
- ② Pavimento : AASHTO - Interim Guide (Guía Provisional de la AASHTO)
- ③ Puentes : AASHTO - Standard Specifications for Highway Bridges
(Especificaciones Estándar para Puentes Viales), ACI Code (Código ACI)

En base al diseño indicado, la sección transversal típica fue determinada para los tramos Trinidad - Rfo Mamoré y Rfo Mamoré - San Borja, como se muestra en Figura 4-2-1.

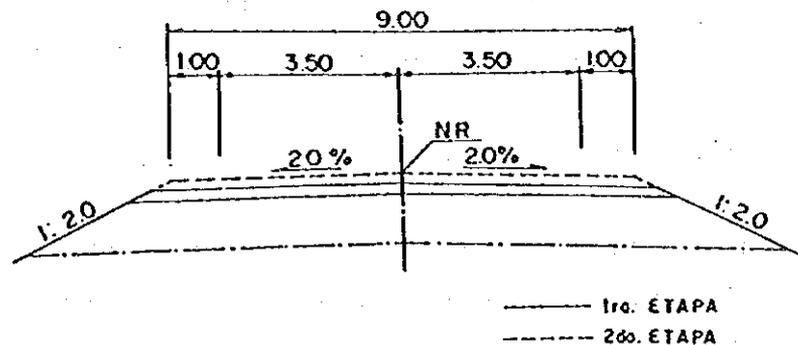
4.2.3 Principios del Diseño del Alineamiento Horizontal y Vertical

El diseño del alineamiento horizontal y vertical fue determinado de acuerdo con los siguientes criterios:

Tabla 4-2-2 Normas Geométricas de Diseño

Item		Valor Básico	Valor Adoptado
Topografía		Plana	Plana
Velocidad de diseño (km/h)		100	100
Radio mínimo de curvas horizontales (m)		415	425
Pendiente máxima %	Recomendada	4	
	Admisible	5	3
Distancia mínima de visibilidad (m)	Frenado	155	208
	Paso	425	
Peralte (%)	Recomendado	6	6
	Admisible	8	
Curvas verticales (K) convexas	Recomendada	107	
	Admisible	58	58
Curvas verticales (K) cóncavas	Recomendada	52	
	Admisible	36	50
Franqueo vertical mínimo (m)		5.5	≥5

Tramo Rio Mamoré - San Borja



Tramo Trinidad - Rio Mamoré

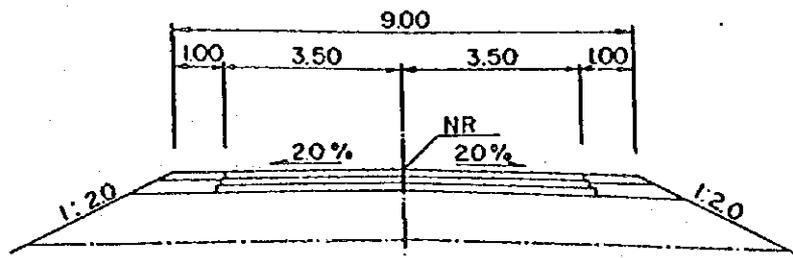


Figura 4-2-1 Sección Transversal Típica

(I) Diseño del Alineamiento Horizontal

Durante la selección de la ruta, se ha considerado utilizar al máximo el trazo de la carretera actual.

(2) Diseño del Alineamiento Vertical

- ① Deberá estar de acuerdo con las normas de Diseño Geométrico.
- ② En áreas propensas a la inundación, la altura del nivel de la capa diseñada de subbase deberá construirse 60 cm más arriba que el nivel máximo de agua, que es de 154.80 m sobre el nivel del mar.
- ③ En áreas no propensas a la inundación, la altura de la capa diseñada de subbase deberá construirse a un nivel de 60 cm sobre el nivel natural del terreno actual. Sin embargo, este criterio no se aplicará a tramos de carretera con niveles de altura aislada mayores.
- ④ En tramos carreteros cercanos a puentes, se adoptarán los niveles de altura propuestos para los puentes.
- ⑤ No deberá efectuarse ninguna excavación en la carretera existente. Sin embargo, este criterio no se aplicará a tramos de carretera con niveles de altura aislada mayores.

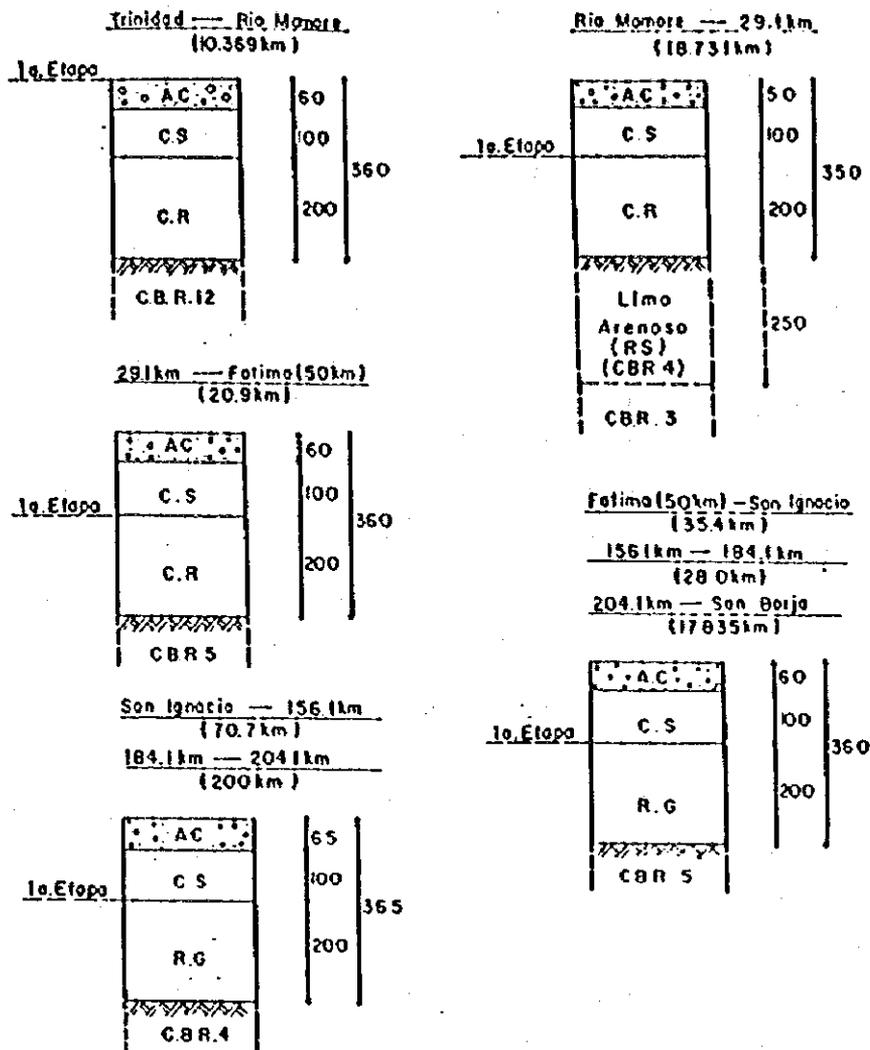
4.2.4 Diseño del Pavimento

Para el diseño del pavimento, se han adoptado cinco tipos distintos de estructura de acuerdo a las condiciones de los distintos tramos de la carretera, tal como se muestra en la Figura 4-2-2.

4.2.5 Diseño de Puentes

Ríos y corrientes de agua intersectan la carretera actual en varios lugares, por lo que se utilizan puentes de pontones para atravesarlas. En tramos donde la sección del río es mediana o pequeña con insuficiencia de drenaje, se utilizan puentes de madera o caños (tubería) corrugados. Las dimensiones y la sección transversal típica de los puentes se muestran en la Tabla 4-2-3 y en la Figura 4-2-3 respectivamente, utilizando para las mismas las siguientes condiciones estructurales:

- ① Tipo de puente : Vigas compuestas simples de hormigón preesforzado
- ② Estribos : Estribos celulares
- ③ Cimientos : Pilotes de hormigón armado



- A.C. : Concreto asfáltico (mezcla en caliente del Cerro San Jorge) Capa superior
 C.S. : Piedra triturada (de San Jorge) Base (CBR80)
 C.R. : Triturado sin tamizar (de Cerro Chico) Subbase (CBR60)
 R.G. : Grava de río (de Caripo y del Río Dartagnan) Subbase (CBR60)
 R.S. : Arena limosa de la margen izquierda del río Momoré Subrasante mejorada

Figura 4-2-2 Estructuras de Pavimento

Tabla 4-2-3 Diseño de las Dimensiones de Puentes

(unidad : m)

Nombre del Puente	Longitud Total	Longitud de la Viga	Longitud del Tramo
San Borja	25.660	25.660	25.000
San Gregorio	25.660	25.660	25.000
Puerto Almacén	25.660	25.660	25.000
Amistad	30.660	30.660	30.000
Sicuri	30.660	30.660	30.000
Tajibo	30.660	30.660	30.000
Mururita	30.660	30.660	30.000
Curirabita	20.660	20.660	20.000
Curiraba	25.660	25.660	25.000

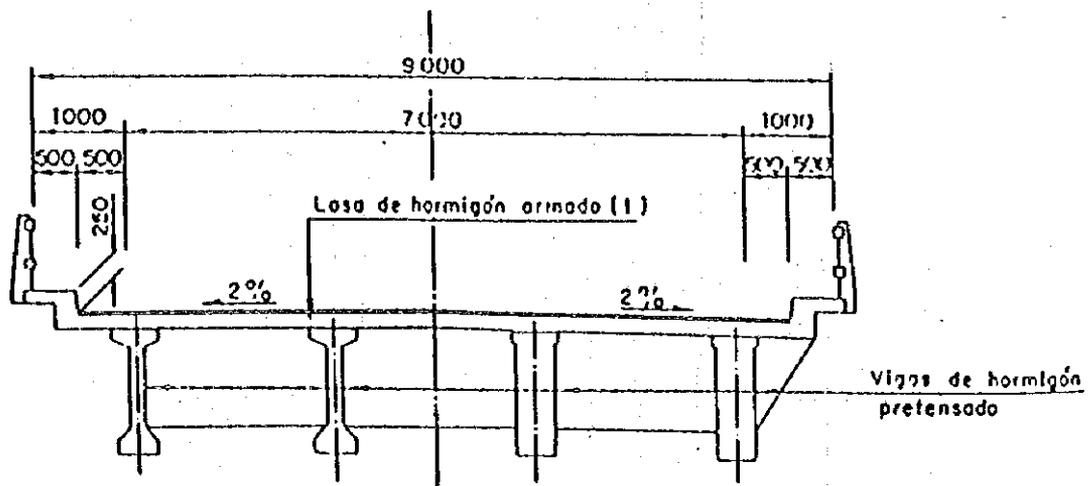


Figura 4-2-3 Sección Transversal Típica de Puentes

Un total de 349 caños o tuberías corrugadas (acanaladas) serán instaladas a lo largo de la carretera proyectada. La cantidad y dimensiones del diseño de las mismas, para cada tramo del Proyecto, se muestran en la Tabla 4-2-4.

Tabla 4-2-4 Cantidad de Caños Metálicos Corrugados

Tramo Proyecto	Diámetro del Caño o Tubería								Total
	0.90	1.20	1.50	1.80	2.10	2.40	2.70	3.00	
I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	-	-	2	-	-	-	7	10	19
III	1	6	1	1	2	5	2	14	32
IV	8	15	3	-	3	-	-	-	29
V	18	15	16	22	19	13	15	16	134
VI	19	4	2	4	-	-	-	-	29
VII	51	10	8	1	-	-	-	-	70
VIII	2	3	13	3	-	-	-	15	36
Total	99	53	45	31	24	18	24	55	349

4.3 Suelo y Agregados

4.3.1 Suelo

En lo que se refiere a la clasificación del suelo, la mayor parte del material en toda la carretera fue clasificado como A-7, A-6 y A-4, encontrándose también una pequeña cantidad clasificada como A-2. Cada categoría ocupa respectivamente el 45%, 29%, 23% y 3% de la longitud total de la carretera respectivamente. Todos estos materiales pueden ser empleados para rellenar el terraplén y también como material para la subrasante de la carretera proyectada, salvo los suelos clasificados como A-7 en algunos sectores de la carretera.

El suelo (A-7) en los alrededores de la carretera entre Trinidad y la margen derecha del río Mamoré presenta valores bajos de CBR que varían de 1 a 3, siendo inadecuados para material de subrasante. Existe, sin embargo, suelo de alta calidad (A-4) en la última parte de este sector (en el terraplén natural en el margen derecho del río Mamoré) que puede ser utilizado como material para la subrasante.

La mayor parte del suelo entre la margen derecha del río Mamoré y el punto de ubicación del Km 19 presenta valores bajos de CBR que varían de 1 a 3, por lo que un suelo de mejor calidad deberá utilizarse en la superficie de la subrasante. Para el material de la superficie de la subrasante se puede emplear el suelo de alta calidad del terraplén natural de la margen izquierda del río Mamoré.

4.3.2 Agregados

Las canteras, grava seleccionada y bancos de arena, así como los tipos de agregados a utilizar son los siguientes:

(1) Materiales para la Capa de la Subbase

- Bancos de préstamo del Sector San Borja para el tramo de carretera entre San Borja y la estación del Km 29.1:
Grava de canteras sin tamizar procedente de Caripo y Dartagnan.
Se recomienda el uso de una mezcla de materiales de ambos bancos.

- Bancos de préstamo del Sector de Trinidad para el tramo de carretera entre Trinidad y la estación del Km 29.1:

Grava triturada procedente del Cerro Chico.

(2) Materiales para las Capas de la Base y Superficial

- Bancos de préstamo del Sector Trinidad para ser empleados únicamente entre Trinidad y el río Mamoré:

Piedra triturada graduada procedente del Cerro San Jorge (Depósito No.1).

(3) Agregados para el hormigón de Puentes

- Bancos de préstamo del Sector San Borja:

- Río Quiquibey : Agregados finos (arena).

Agregados gruesos (grava). Estos agregados no deberán utilizarse para hormigón de alta resistencia.

- Río Alto Ben : Agregados gruesos (grava).

- Bancos de préstamo del Sector Trinidad:

- Cerro San Jorge : Agregados gruesos (piedra triturada, Depósito No.1).

- Río Blanco : Agregados finos (arena, Urubicha).

4.4 Programa de Construcción

Los trabajos de construcción para el mejoramiento de la carretera han sido programados para ser iniciados en 1997 y finalizados en el año 2000. El programa general de ejecución se muestra en la Tabla 4-4-1.

Tabla 4-4-1 Programa de Construcción

Reglón	Cantidad	1997	1998	1999	2000	Observaciones
Trabajos de preparación		---				
Desmante	1,347 ha	---	---	---	---	
Corte y limpieza	579 ha	---	---	---	---	
Remoción de caños corrugados existentes	930 ml	---	---	---	---	
Colocación de caños corrugados	3,935 ml	---	---	---	---	
Construcción del terraplén	1,240,982 m ³	---	---	---	---	
Subbase	373,709 m ³	---	---	---	---	
Forma de la subbase	2,159,903 m ²	---	---	---	---	
Facilidades para transbordadores (ferry)	Global	---	---	---	---	
Puentes	10 puentes	---	---			Incluye el Puente Tijamuchi
Capa de subbase	438,357 m ³	---	---	---	---	
Capa de base	7,179 m ³			---		
Superficie de rodadura de asfalto	70,781 m ²			---		
Pavimentación de los hombros	20,223 m ²			---		
Trabajos de protección	8,892 ml				---	
Colocación de señalización vertical	Global				---	
Colocación de señalización horizontal	Global				---	
Oficina de administración del transbordador	Global				---	

Maquinaria (Capacidad)	Cantidad	1997	1998	1999	2000	Observaciones
Topadora (bulldozer) (21 ton)	26	---	---	---	---	
Retroexcavadora (0.6 m ³)	6	---	---	---	---	
Pala mecánica (2.1 m ³)	4	---	---	---	---	
Volqueta (12 ton)	141	---	---	---	---	
Compactadora de rodillos (20 ton)	4	---	---	---	---	
Compactadora vibratoria de tambor (20 ton)	2	---	---	---	---	
Motoniveladora (3.7 m ³)	2	---	---	---	---	
Mezcladora de hormigón (0.6 m ³)	6	---	---	---	---	
Planta de asfalto	1			---		Incluye el Puente Tijamuchi
Máquina acabadora de asfalto	1			---		
Trituradora de piedra (set completo)	1	---	---	---	---	

CAPITULO 5

ESCENARIO DE LOS TEMAS AMBIENTALES

CAPITULO 5 ESCENARIO DE LOS TEMAS AMBIENTALES

5.1 Factores Ambientales

Basado en los componentes del proyecto, se considera que los impactos ambientales son principalmente causados por la construcción, mejoramiento y uso de la carretera.

La construcción de una carretera, como factor ambiental, puede dividirse en las siguientes obras y sub-obras:

(1) Etapa de Construcción

- Desbosque
- Movimiento de tierras (corte, terraplén, etc.)
- Uso de maquinaria pesada y volquetas
- Puente
- Alcantarillas
- Control de aguas
- Basura (desperdicios domésticos, desperdicio de tierra no utilizada, área de vaciaderos de basura)
- Canteras de agregados y arena
- Pavimento y planta de asfalto
- Planta de hormigón
- Instalaciones para trabajadores

(2) Uso de la Carretera

- Facilidades de la carretera (carretera, puente, alcantarilla, aceras, etc.)
- Tráfico y seguridad del tráfico

5.2 Selección de Items Ambientales

Los items ambientales correspondientes a la construcción de la carretera generalmente se presentan de la siguiente manera:

(1) Ambiente Natural

- Tierra (topografía y geología)
- Suelos
- Agua
- Meteorología
- Mar y costas marinas
- Flora
- Fauna
- Paisaje

(2) Ambiente Social

- Basura
- Monumentos histórico-culturales (ruinas y bienes culturales)
- Condiciones del tráfico
- Sanidad
- Peligros
- Distrito de corte
- Reubicación
- Condiciones socioeconómicas (actividad económica)
- Seguridad
- Comunidad
- Instalaciones de recreación
- Derecho de agua y derechos comunales

(3) Ambiente de Vida

- Calidad del aire
- Calidad del agua

- Contaminación de suelos
- Ruido y vibraciones
- Hundimientos de tierra
- Olor
- Luz

La selección de los items ambientales debe hacerse por el método de matrices, tal y como se muestra en la Tabla 5-2-1, la cual integra la relación entre los items ambientales y los factores ambientales, así como una condición de influencia debida a cada factor ambiental.

Los items ambientales incluyen meteorología, mar y costas marinas, condiciones de tráfico, basura, sanidad, peligros, distrito de corte, reubicación, seguridad, instalaciones de recreación, derecho de agua y derechos comunales, hundimiento de tierra, contaminación de suelos, olor y luz.

Consecuentemente, se han seleccionado los siguientes items ambientales:

- ① Tierra (topografía y geología)
- ② Suelos
- ③ Agua
- ④ Flora
- ⑤ Fauna
- ⑥ Paisaje
- ⑦ Ruinas y bienes culturales
- ⑧ Actividad económica
- ⑨ Comunidad
- ⑩ Calidad del aire
- ⑪ Calidad del agua
- ⑫ Ruido y vibraciones

Tabla 5-2-1 Factores Ambientales - Matriz de Items Ambientales

(Selección de items ambientales)

Factores ambientales	Etapa de Construcción *1													*3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Items ambientales *2														
- Medio ambiente natural														
1) Tierra (topografía y geología)	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	-	-	⊙
2) Suelos	0	0	-	-	0	-	0	0	-	-	-	-	-	⊙
3) Agua	0	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	⊙
4) Meteorología	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5) Mar y costas marinas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6) Flora	0	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	0	⊙
7) Fauna	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	⊙
8) Paisaje	0	0	-	0	0	-	0	0	-	-	-	0	-	⊙
- Medio ambiente social														
9) Basura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10) Monumentos histórico - culturales (ruinas y bienes culturales)	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	⊙
11) Condiciones del tráfico	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12) Sanidad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13) Peligros	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14) Distritos de corte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15) Reubicación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16) Condiciones socioeconómicas (actividad económica)	-	-	0	0	-	-	-	0	-	-	-	-	-	⊙
17) Seguridad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18) Comunidad	0	-	0	0	-	-	-	0	-	-	0	0	0	⊙
19) Instalaciones de recreación	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20) Derecho de agua y derechos comunales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
- Medio ambiente de vida														
21) Calidad del aire	-	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	0	0	⊙
22) Calidad del agua	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	⊙
23) Contaminación del suelo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24) Ruido y vibraciones	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	⊙
25) Hundimientos de tierra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26) Olor	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27) Luz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Nota -*1:

- Etapa de construcción

- 1) Desbosque
 - 2) Movimiento de tierras (corte, terraplén, etc.)
 - 3) Uso de maquinaria pesada y volquetas
 - 4) Puente
 - 5) Alcantarillas
 - 6) Control de aguas
 - 7) Basura
 - 8) Canteras de agregados y arena
 - 9) Pavimento y planta de asfalto
 - 10) Planta de hormigón
 - 11) Instalaciones para trabajadores
- Uso de la carretera
- 12) Facilidades de la carretera (carretera, puente, alcantarilla, aceras, etc.)
 - 13) Tráfico y seguridad del tráfico

*2: 0 : Items ambientales relacionados

*3: Selección de los items ambientales

⊙: Items ambientales seleccionados

CAPITULO 6

ESTADO AMBIENTAL ACTUAL DEL AREA DEL PROYECTO

CAPITULO 6 ESTADO AMBIENTAL ACTUAL DEL AREA DEL PROYECTO

6.1 Investigación Ambiental

6.1.1 Items de Investigación Ambiental

La investigación ambiental para la evaluación del impacto ambiental consiste en los siguientes ítems, los cuales fueron seleccionados por el método de medio ambiente.

- Tierra (topografía y geología)
- Suelos
- Agua
- Flora
- Fauna
- Paisaje
- Ruinas y bienes culturales
- Actividad económica
- Comunidad
- Calidad del aire
- Calidad del agua
- Ruido y vibraciones

6.1.2 Area de Investigación

La extensión del área de investigación está compuesta por una longitud de 228.99 km, que corresponde a la carretera del proyecto entre San Borja y Trinidad; el ancho del área es de aproximadamente 50 km en ambos lados, para el norte y sur de la carretera, tal como se muestra en la Figura 6-1-1.

Los datos meteorológicos del área del proyecto, incluyendo San Borja, San Ignacio y Trinidad, elaborados por A.A.S.A.N.A., se muestran en el Apéndice 6.1.

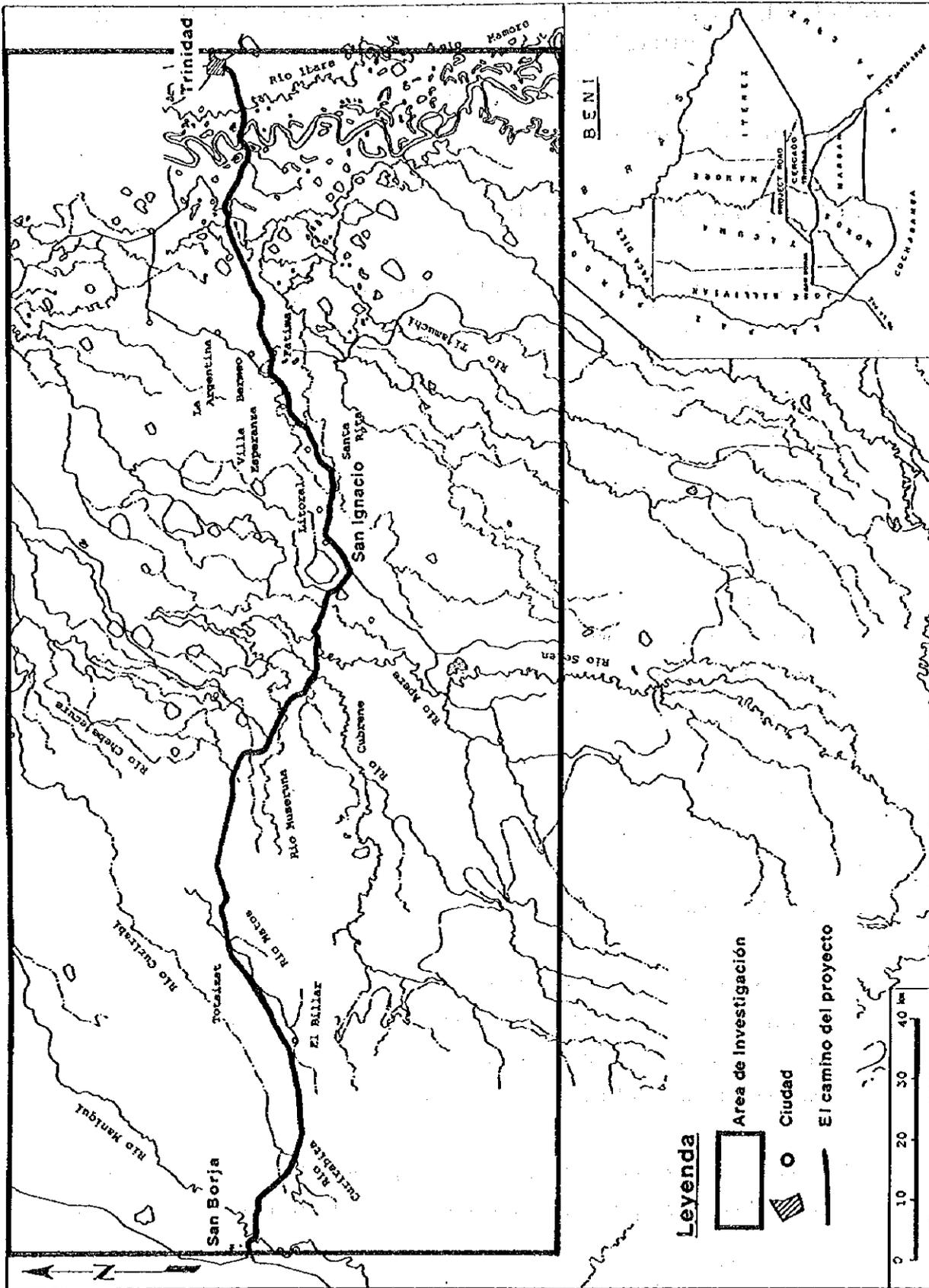


Figura 6-1-1 Area de Investigación

6.1.3 Metodología

Los componentes de la investigación ambiental de cada ítem ambiental seleccionado se muestran en la Tabla 6-1-1.

Tabla 6-1-1 Contenido del Estudio de los Ítems Ambientales

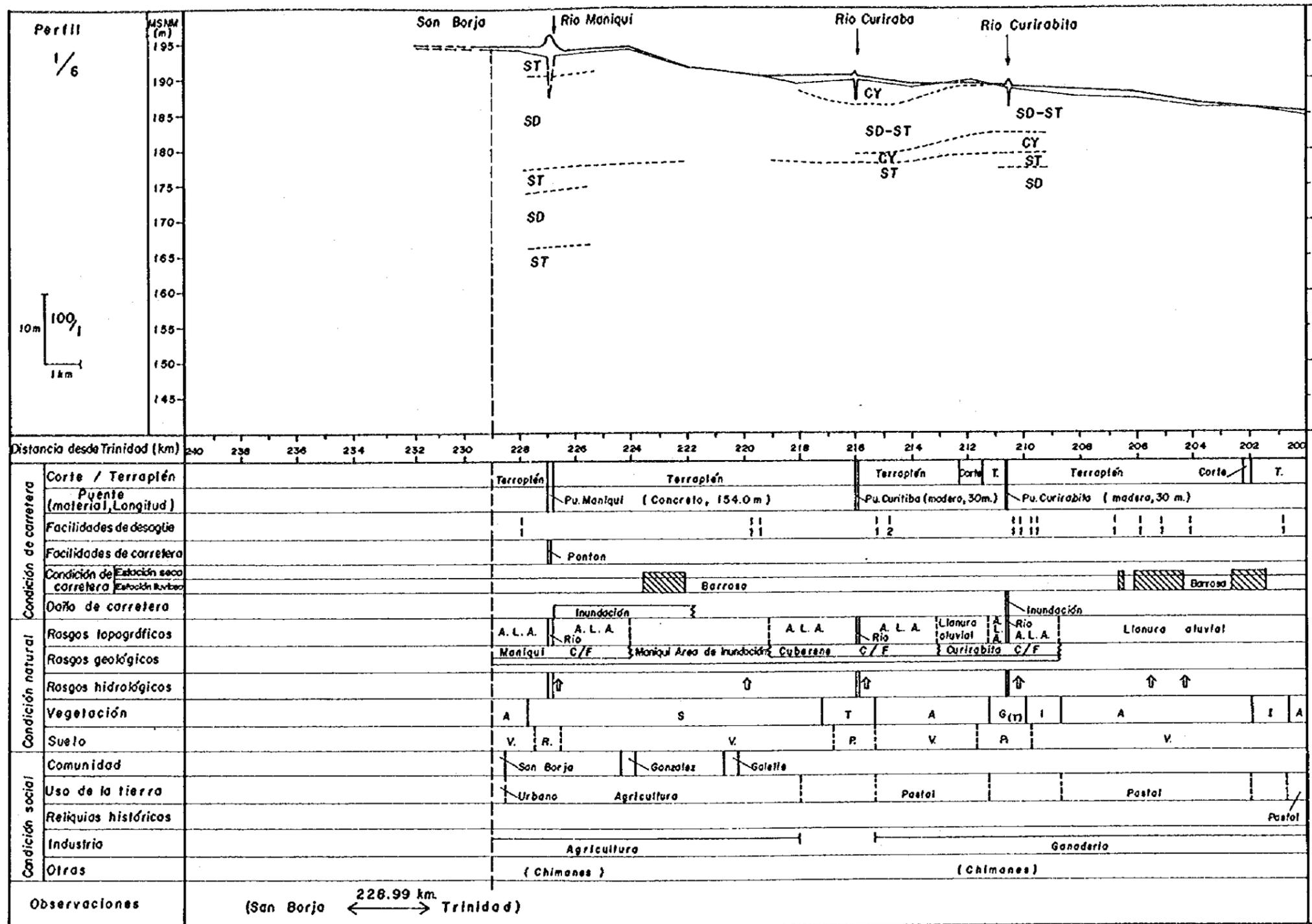
Ítems de Estudio	Contenido del Estudio
1. Topografía y geología	Recopilación de datos, trabajo de campo topográfico y geológico (condiciones topográficas y geológicas, sedimentación en ríos, etc.)
2. Suelos	Recopilación de datos, estudio de suelos (clasificación y distribución de suelos, condición de erosión, etc.)
3. Agua	Recopilación de datos, estudio hidrológico (tasa de caudales: 10 sitios, condición de drenaje, área de inundación, etc.)
4. Flora	Recopilación de datos, estudio vegetal (clasificación y distribución de la vegetación, distribución de especies valiosas de flora, utilización de los recursos forestales, etc.)
5. Fauna	Recopilación de datos, investigación del hábitat y fauna valiosa, explotación de animales salvajes, etc.
6. Paisaje	Recopilación de datos, paisaje apreciable desde los principales miradores, paisaje de sitios alterados, etc.
7. Comunidad	Recopilación de datos, distribución de la comunidad, razas minoritarias, cultura, condiciones sanitarias, etc.
8. Actividad económica	Recopilación de datos, condición de la actividad económica del área, uso de la tierra, etc.
9. Ruinas y bienes culturales	Recopilación de datos, distribución de las ruinas y bienes culturales, relación con los residentes, etc.
10. Calidad del aire	Recopilación de datos, análisis de la calidad del aire (NO ₂ , SO ₂ , CO y SPM: 4 puntos).
11. Calidad del agua	Recopilación de datos, análisis de la calidad del agua (SS, BOD, COD, Ca, Mg, Na, K, HCO ₃ , SO ₄ , Cl, Fe, Mn, NO ₃ -N, DO).
12. Ruido y vibraciones	Recopilación de datos, nivel de ruido, volumen de tráfico.

6.1.4 Resultados de la Investigación

Los resultados de la investigación se describen más adelante en las Secciones 6.2 a 6.13, encontrándose resumidos y generalizados en la Figura 6-1-2.

6.1.5 Consultor Local

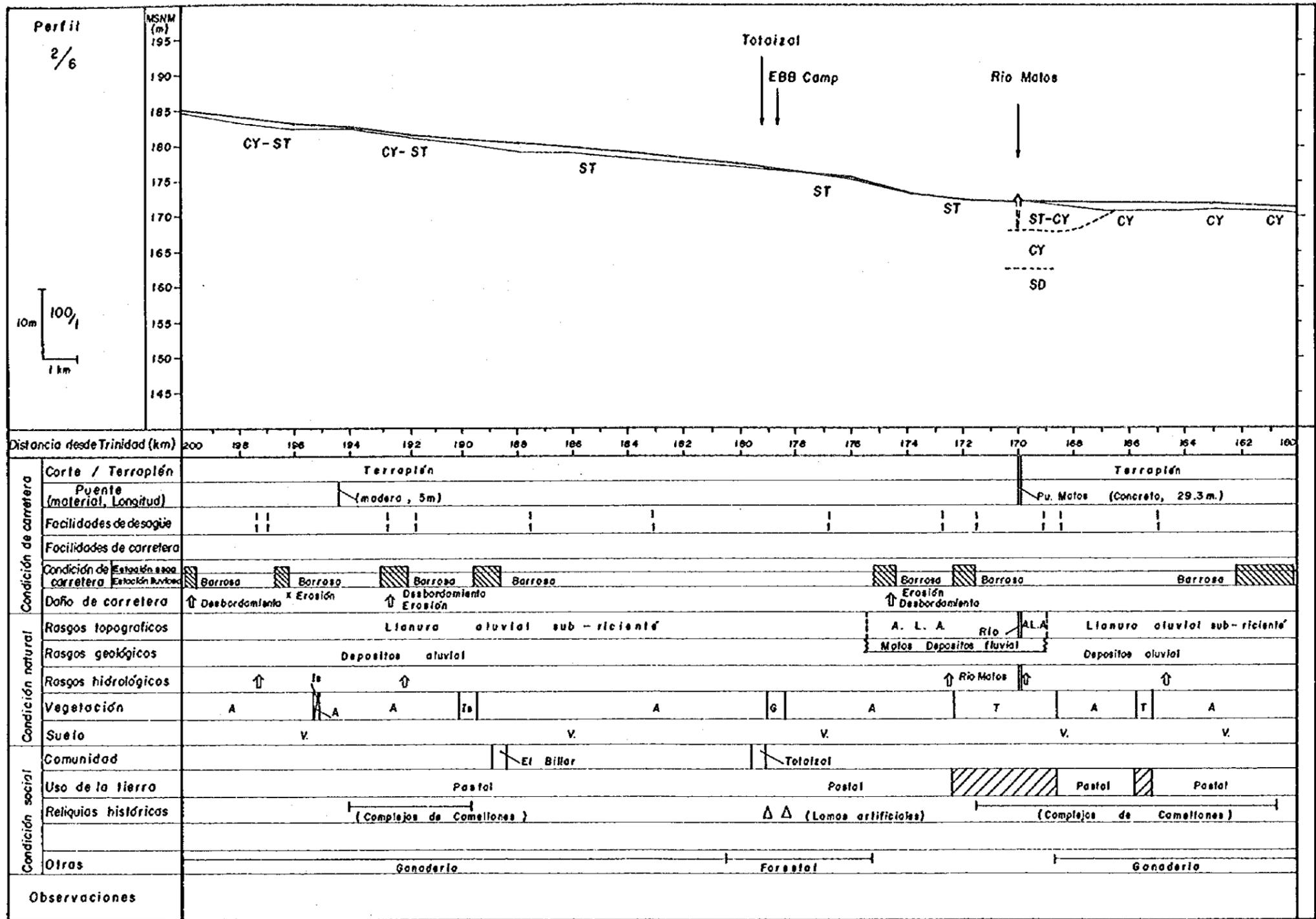
La Misión de Estudio, a través de los servicios de la Consultora Boliviana CDC en la Paz, llevó a cabo investigaciones concernientes a las condiciones ambientales existentes en Bolivia durante el período comprendido entre diciembre de 1994 y julio de 1995.



Abreviaciones

- | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|
| MSNM: Metro sobre el nivel del mar | T. : Terrapién | Pu. : Puente |
| A.L.A. : Area de llanura aluvial | D/F : Depositos fluvial | A : Sabanas de buen drenaje |
| S : Sabanas inundadas y humedales | T : Bosque aluvial estacional inundado | G : Bosque de galería |
| I : Sabanas anegadas | Is : Isla de bosque | R. : Suelo de Rambla |
| P. : Suelo de Paternia | V. : Suelo de Vega | G. : Suelo de Gley |
| SD : Arena | ST : Limo | Cy : Arcilla |
| EBB : Estación Biológica del Beni | | |

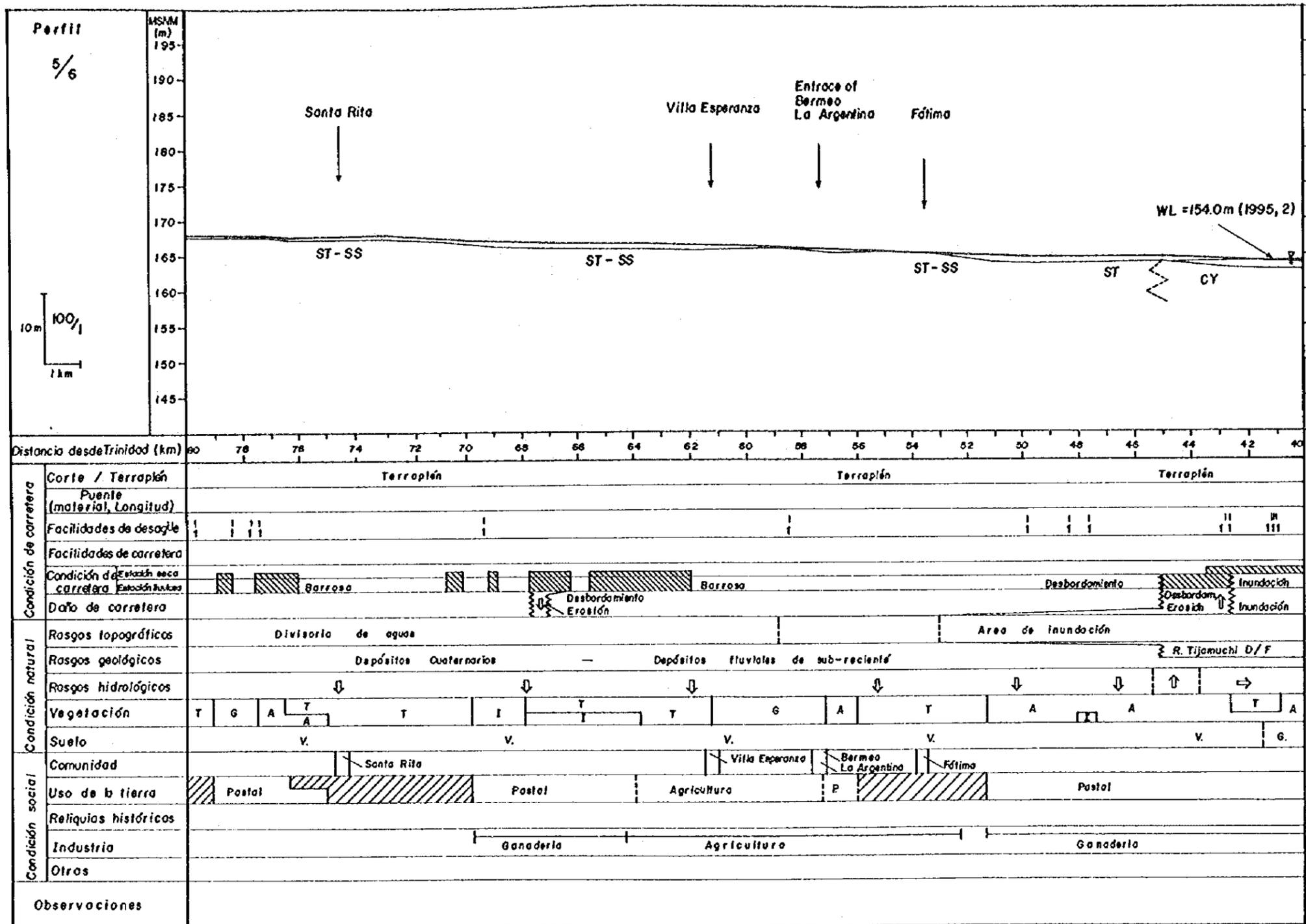
Figura 6-1-2 Condiciones Ambientales Actuales de la Carretera del Proyecto (1)



Abreviaciones

- | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|
| MSNM: Metro sobre el nivel del mar | T. : Terrapién | Pu. : Puente |
| A.L.A.: Area de llanura aluvial | D/F : Depositos fluvial | A : Sabanas de buen drenaje |
| S : Sabanas inundadas y humedales | T : Bosque aluvial estacional inundado | G : Bosque de galería |
| I : Sabanas anegadas | Is : Isla de bosque | R. : Suelo de Rambla |
| P. : Suelo de Paternia | V. : Suelo de Vega | G. : Suelo de Gley |
| SD : Arena | ST : Limo | Cy : Arcilla |
| EBB : Estación Biológica del Beni | | |

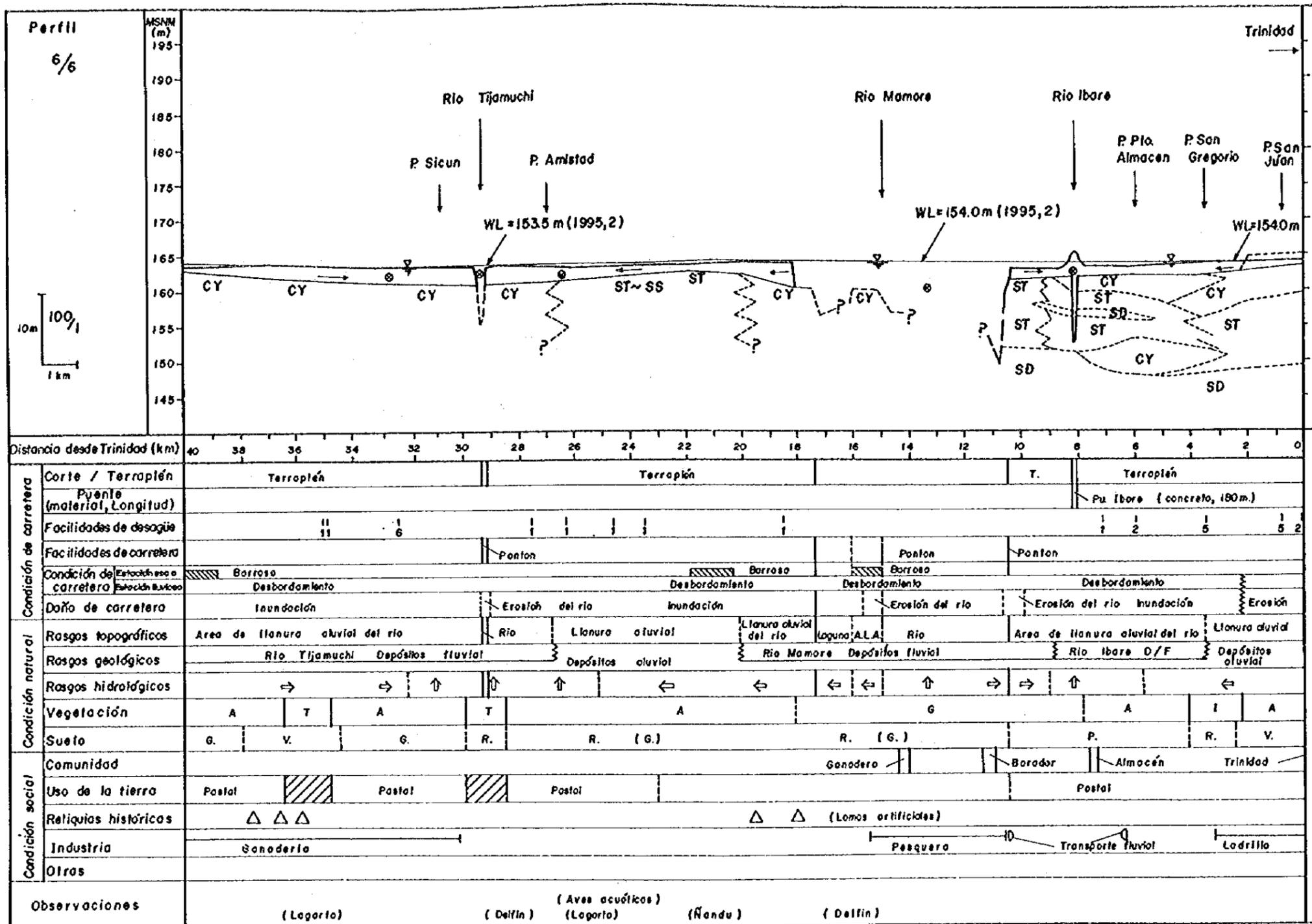
Figura 6-1-2 Condiciones Ambientales Actuales de la Carretera del Proyecto (2)



Abreviaciones

- | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|
| MSNM: Metro sobre el nivel del mar | T. : Terraplen | Pu. : Puente |
| A.L.A.: Área de llanura aluvial | D/F : Depositos fluvial | A : Sabanas de buen drenaje |
| S : Sabanas inundadas y humedales | T : Bosque aluvial estacional inundado | G : Bosque de galería |
| i : Sabanas anegadas | Is : Isla de bosque | R. : Suelo de Rambla |
| P. : Suelo de Paternia | V. : Suelo de Vega | G. : Suelo de Gley |
| SD : Arena | ST : Limo | Cy : Arcilla |
| EBB : Estación Biológica del Beni | | |

Figura 6-1-2 Condiciones Ambientales Actuales de la Carretera del Proyecto (5)



Abreviaciones

- | | | |
|------------------------------------|--|-----------------------------|
| MSNM: Metro sobre el nivel del mar | T. : Terrapién | Pu. : Puente |
| A.L.A.: Area de llanura aluvial | D/F : Depositos fluvial | A : Sabanas de buen drenaje |
| S : Sabanas inundadas y humedales | T : Bosque aluvial estacional inundado | G : Bosque de galería |
| I : Sabanas anegadas | Is : Isla de bosque | R. : Suelo de Rambla |
| P. : Suelo de Paterna | V. : Suelo de Vega | G. : Suelo de Gley |
| SD : Arena | ST : Limo | Cy : Arcilla |
| EBB : Estación Biológica del Beni | | |

Figura 6-1-2 Condiciones Ambientales Actuales de la Carretera del Proyecto (6)

6.2 Topografía y Geología

6.2.1 Topografía

(1) Clasificación

Las altitudes de San Borja y Trinidad son de 194.20 y 153.10 metros sobre el nivel del mar respectivamente (JICA, 1989). La diferencia de altitud entre ambas regiones es de 41.10 metros (Figura 6-2-1). El área del proyecto está dividida en tres secciones de acuerdo a la pendiente longitudinal del proyecto, tal como se muestra en la Figura 6-2-2. La pendiente del tramo carretero entre San Borja y el río Chebejecure es de un promedio del 2.0%, el cual presenta la pendiente más alta del área. El tramo carretero entre el río Chebejecure y Fátima tiene una pendiente del 0.5%. El tramo carretero entre Fátima y Trinidad está caracterizado por una zona plana.

Topográficamente, el área del proyecto se caracteriza por tierras bajas (llanuras aluviales), las cuales se clasifican de la siguiente forma: abanico aluvial, zona de inundación sub-reciente, zona de inundación tipo abanico, micro salientes insulares, zona de inundación fluvial reciente, diques naturales (micro saliente), retro-ciénagas, ciénagas (lago), pantanos, ríos y topografía artificial. Particularmente, la zona de inundación sub-reciente y las retro-ciénagas ocupan una vasta zona del área del proyecto, tal como se muestra en las Figuras 6-1-2 y 6-2-3.

El área de clasificación topográfica de cada zona que se muestra en el mapa geomorfológico que se muestra en la Figura 6-2-3, se presenta en términos de porcentaje en la Tabla 6-2-1.

Tabla 6-2-1 Area de Clasificación Topográfica

Clasificación topográfica	Porcentaje
1. Montañas	2.7
2. Cerros	8.8
3. Llanuras aluviales	9.2
4. Zona de inundación sub-reciente	19.1
5. Abanicos aluviales	4.4
6. Micro salientes insulares	2.2
7. Zona de inundación fluvial reciente	34.6
8. Retro-ciénagas	17.6
9. Lagos y pantanos	1.3
10. Zonas artificiales	0.1

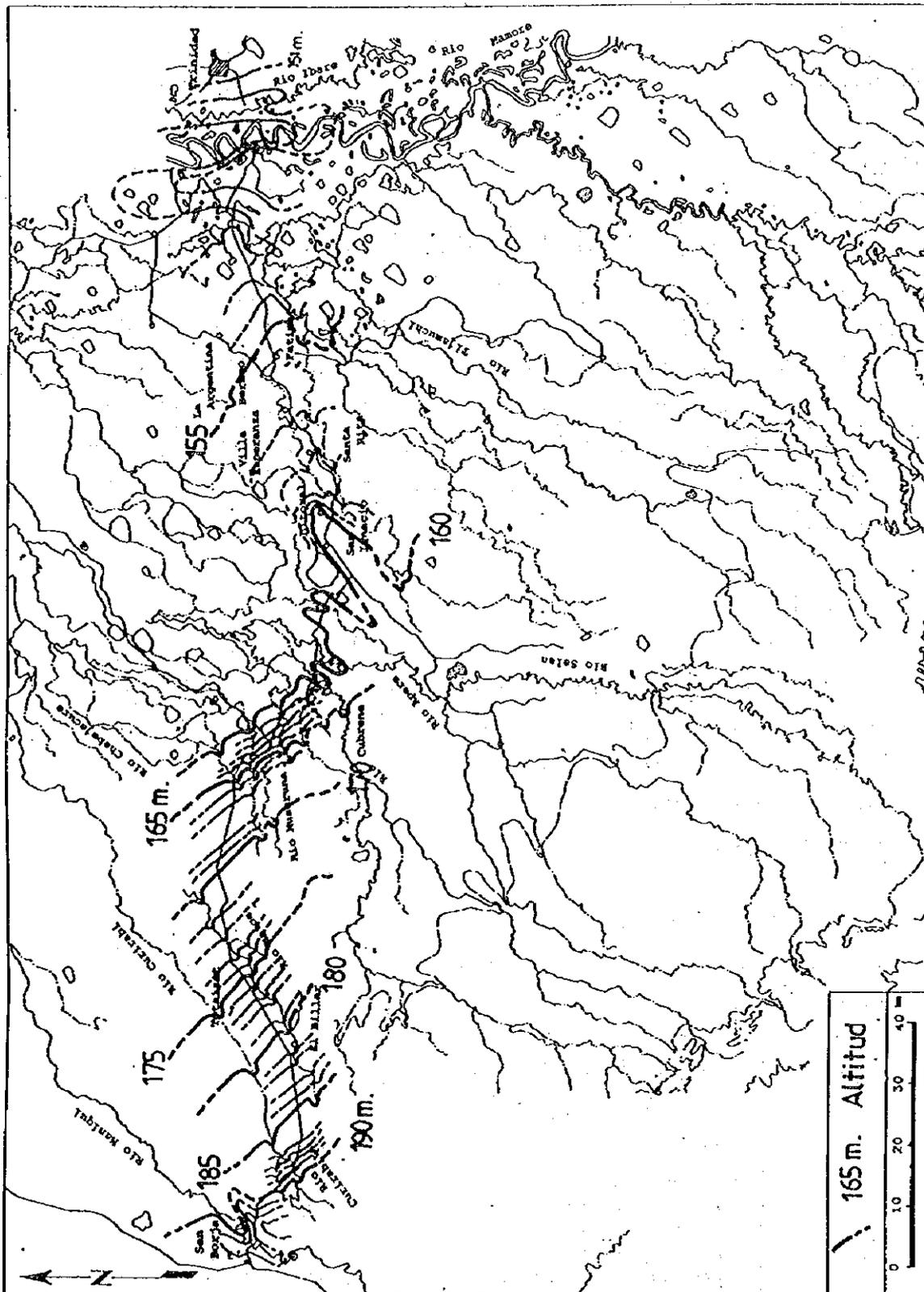


Figura 6-2-1 Mapa Hipsográfico del Area del Proyecto

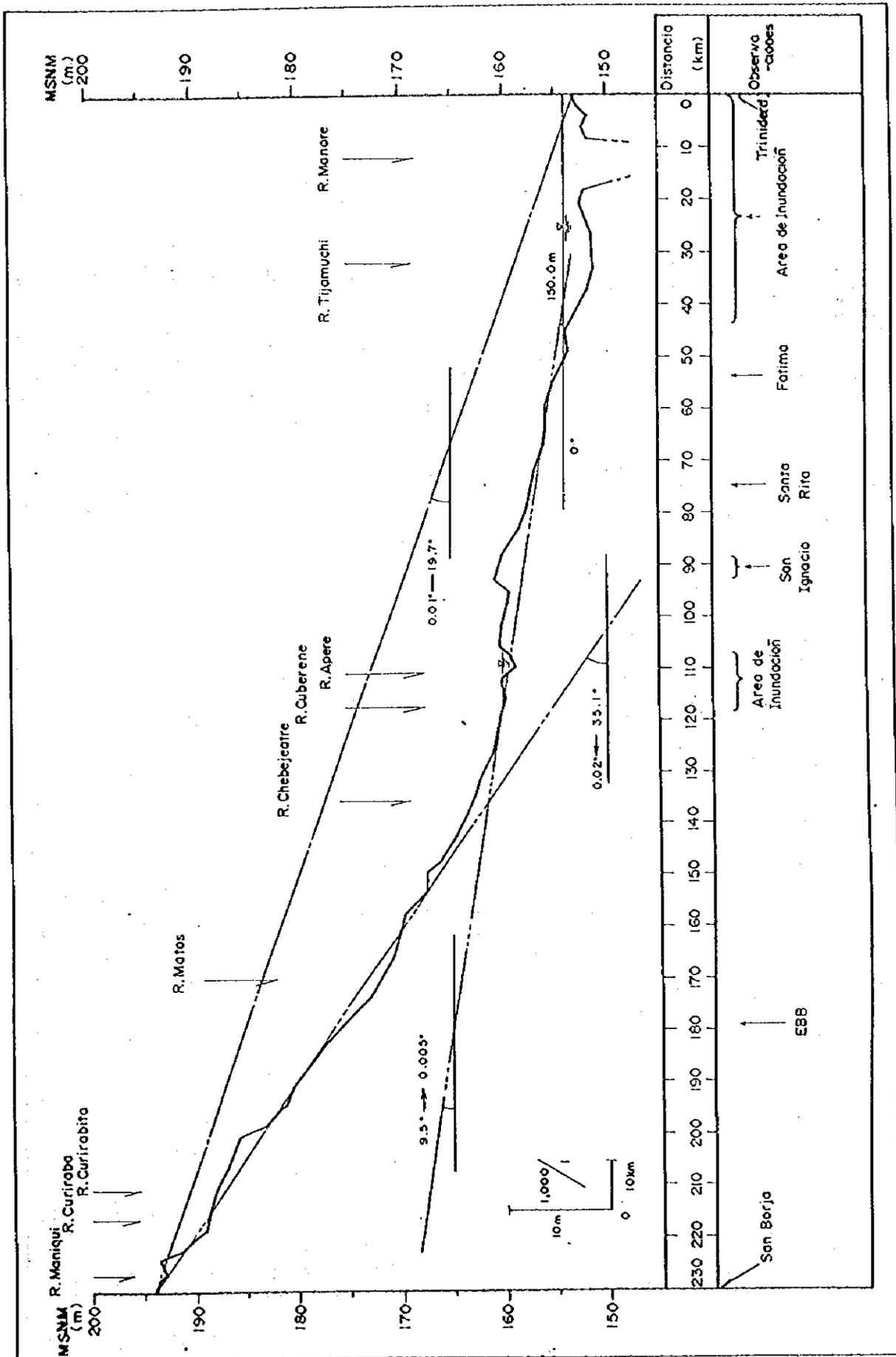


Figura 6-2-2 Perfil de la Carretera Proyectada

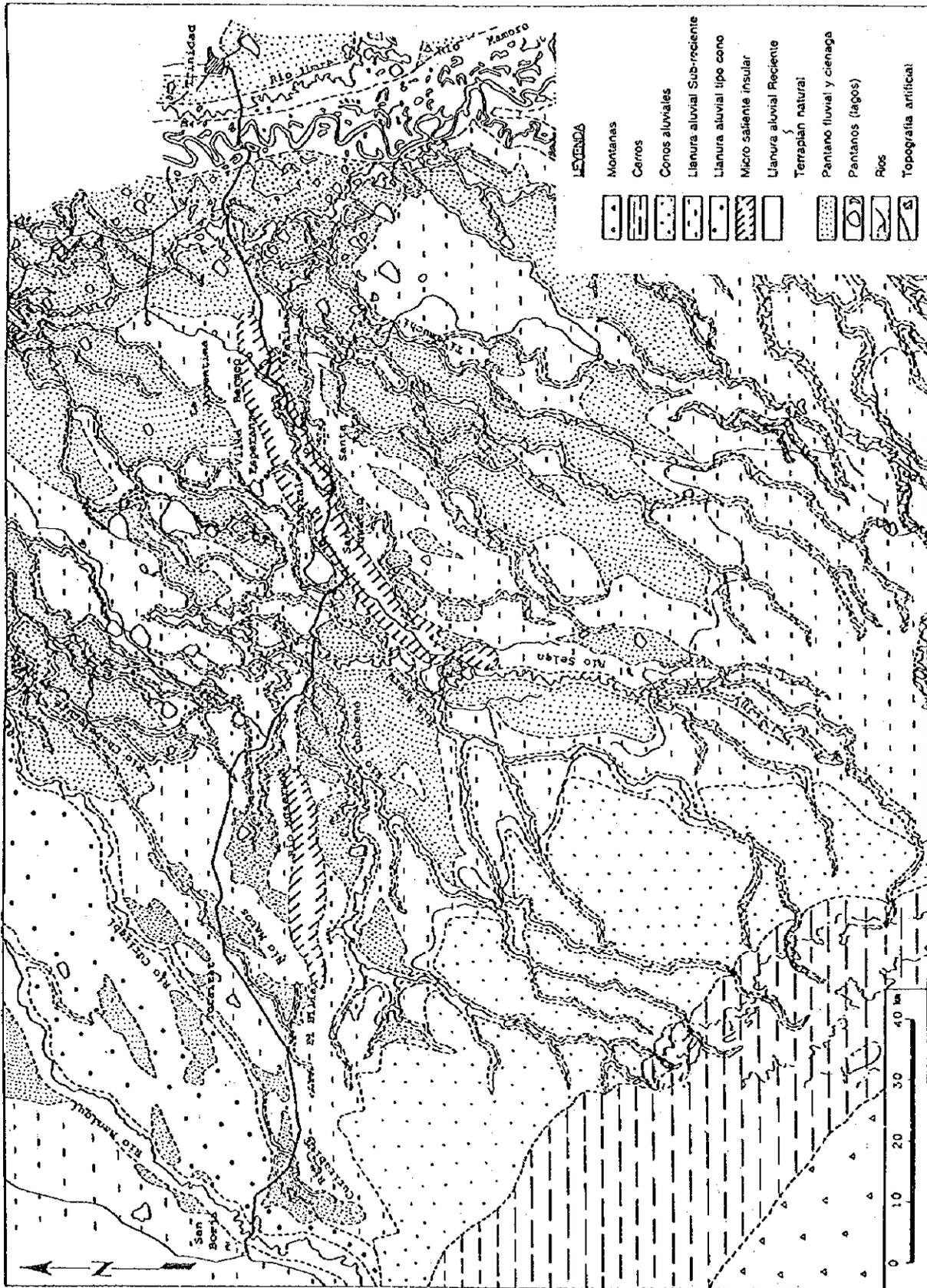


Figura 6-2-3 Mapa Geomorfológico del Area del Proyecto

Los abanicos aluviales se encuentran en la parte suroeste del área del proyecto, ubicada entre los ríos Maniqui y Apere. Estos tienen una extensión aproximada de 100 km de ancho por 40 km de longitud, encontrándose ordenados de noroeste a sureste. La superficie de los abanicos se caracteriza por tener una pendiente suave y una cobertura de bosque tropical espeso.

La zona de inundación sub-reciente es la que ocupa mayormente el área del proyecto y está parcialmente cubierta por sedimentos recientes. Esta se encuentra ubicada a lo largo del tramo carretero entre los ríos de Curirabita y Chebejecure, y al este-sureste de San Ignacio, caracterizándose por tener una pendiente muy suave y presencia de llanuras (ver Figura 6-2-1). La pendiente general del declive es aproximadamente del 2.0%. Esta zona está generalmente cubierta con pastizales llamados sabanas (pampas, en América del Sur).

La zona de inundación tipo-abanico ubicada a lo largo del río Maniqui es relativamente plana y muestra una forma de abanico hacia el noreste. Se reconoce que ésta forma una microsaliencia, y el nivel de altura en esta zona de inundación tipo abanico es de aproximadamente 30 a 150 cm más alto que el de la zona de inundación sub-reciente. Se supone que la micro saliente está formada por la notoria sedimentación del río Maniqui. Además, esta zona se caracteriza por tener un bosque fluvial siempre verde, asignado a la Estación Biológica del Beni (EBB).

La micro saliente insular se encuentra ubicada en dos secciones, incluyendo el tramo entre el sur de San Ignacio y Fátima. Esta tiene una extensión aproximada de 1 a 5 km de ancho por 50 km de longitud, extendiéndose del este-noreste al oeste-suroeste. El nivel de altura de la micro saliente insular es aproximadamente 1 a 2.5 metros más alto que el nivel de la zona de inundación. Esta zona está ampliamente cubierta por bosques siempre verdes y altos. Varias comunidades, incluyendo San Ignacio, se han establecido desde tiempos antiguos en esta zona.

La zona de inundación fluvial reciente se distribuye a lo largo de todos los ríos. Su ancho varía desde varios cientos de metros hasta 20 kilómetros y generalmente está acompañada en ambos lados por diques naturales y lagos crecientes. El dique natural se forma constantemente a lo largo de la mayor parte de los ríos recientes y muestra características de una micro saliente. Este tiene una diferencia del nivel del terreno entre 30 a 150 cm más de altura comparado con la zona de inundación.



Fotografía 6-2-1 Sabana con buen drenaje ubicada 39 km al este de San Borja



Fotografía 6-2-2 Isla de bosque ubicada 55 km al este de San Borja

La diferencia del nivel de altura se presenta debido a la sedimentación de cada río, por lo que las dimensiones (ancho, altura y longitud) del dique natural dependen del volumen de erosión y transportación de materiales, así como de la pendiente del lecho de cada río.

El río Maniqui tiene un dique natural muy ancho sobre la zona de inundación reciente debido a su sedimentación masiva discontinua y, finalmente, se forma en una zona de inundación tipo abanico. El río Mamoré tiene un dique natural sumamente ancho que muestra la forma de un cinturón paralelo de aproximadamente 20 km de ancho debido también, a una sedimentación masiva. Se piensa que el equilibrio entre la sedimentación y la erosión del margen del río Mamoré se mantiene debido al constante aporte actual de materiales a lo largo del área del proyecto. Otros ríos, cuyas cuencas de captación están situadas dentro de las zonas de inundación, poseen un dique natural relativamente estrecho y paralelo debido al menor volumen de sedimentación.

La retro-ciénaga se encuentra al sur (aguas arriba de los principales ríos) del tramo de carretera entre San Ignacio y el río Tijamuchi, así como el tramo entre los ríos Museruna y Apere. La primera está ocupada principalmente por la cuenca del río Tijamuchi y tiene una extensión aproximada de 60 km de ancho por 80 km de longitud. La segunda se encuentra principalmente ocupada por las cuencas de los ríos Museruna, Cuberene y Apere, teniendo un área aproximada de 40 km de ancho por 30 km de longitud. Como se puede observar, la primera es el cuádruple de la segunda.

Se supone que la retro-ciénaga está formada por la falta de drenaje del río debido a la micro saliente insular, por lo que sus dimensiones dependen del tamaño de la micro saliente. La planicie de la retro-ciénaga corresponde a la zona de inundación sub-reciente y topográficamente, muestra una micro recesión. Esta zona está generalmente cubierta por pastos y se inunda durante la estación lluviosa.

Numerosos pantanos (limnológicamente definidos), que oscilan entre 0.5 km y 6 km de ancho, están particularmente distribuidos alrededor de la micro saliente insular. Estos pantanos se caracterizan por ser relativamente poco profundos y por tener forma de media luna. Los mismos se encuentran ordenados en una zona que va del noroeste al sureste. Numerosos lagos crecientes se encuentran distribuidos en la mayor parte de los serpenteos de los ríos, incluyendo los ríos Mamoré, Maniqui, Apere, etc.

El pantano se encuentra distribuido en la zona de inundación y la retro-ciénaga a lo largo de las carreteras. El límite entre la ciénaga, la zona de inundación y el pantano no es relativamente claro debido al cambio estacional del nivel de agua. Las zonas de préstamo a lo largo de las carreteras y los sitios de agua estancada, debido al drenaje defectuoso de la carretera, se encuentran transformadas localmente en ciénagas.

Todos los ríos del área del proyecto fluyen hacia el noreste y al norte, uniéndose al río Mamoré. El río Tijamuchi cambia la dirección de su cauce aproximadamente 60 km hacia el este debido a la micro saliente insular. Los ríos Chebejecure, Museruna, Cuberene y Aperé también cambian la dirección de sus cauces aproximadamente 30 km hacia el este, debido a la micro saliente insular.

La topografía artificial del área del proyecto consiste principalmente de carreteras, zanjas de préstamo, zonas urbanas, canales, aeropuertos, peraltes, etc.

El abanico aluvial, la zona de inundación tipo abanico, la micro saliente insular y el dique natural (micro saliente) pertenecen a la región de la micro saliente. La región de micro saliente se caracteriza por tener una diferencia mayor en el nivel del terreno, estando cubierta por diversas clases de bosques ya que se encuentra situada fuera del área de inundación y/o en un área con buen drenaje.

Por otra parte, la zona de inundación sub-reciente, la zona de inundación fluvial reciente, la retro-ciénaga, la ciénaga (lago), el pantano y el río pertenecen a la región de micro recesión. Una parte de esta región, incluyendo la ciénaga, el pantano y el río, se encuentra caracterizada por una área mayormente inundada. Generalmente, la zona de inundación sub-reciente, la zona de inundación fluvial reciente y la retro-ciénaga se presentan únicamente durante las inundaciones estacionales.

La cuenca entre los ríos Aperé y Tijamuchi obviamente divide el área del proyecto en dos zonas, es decir la zona entre San Borja y San Ignacio y la zona entre San Ignacio y Trinidad (Figura 6-2-2). Esta cuenca, que corre de norte a sur en la parte sur del área y de este-noreste a oeste-sudoeste en la parte norte del área, está formada por la micro saliente insular.

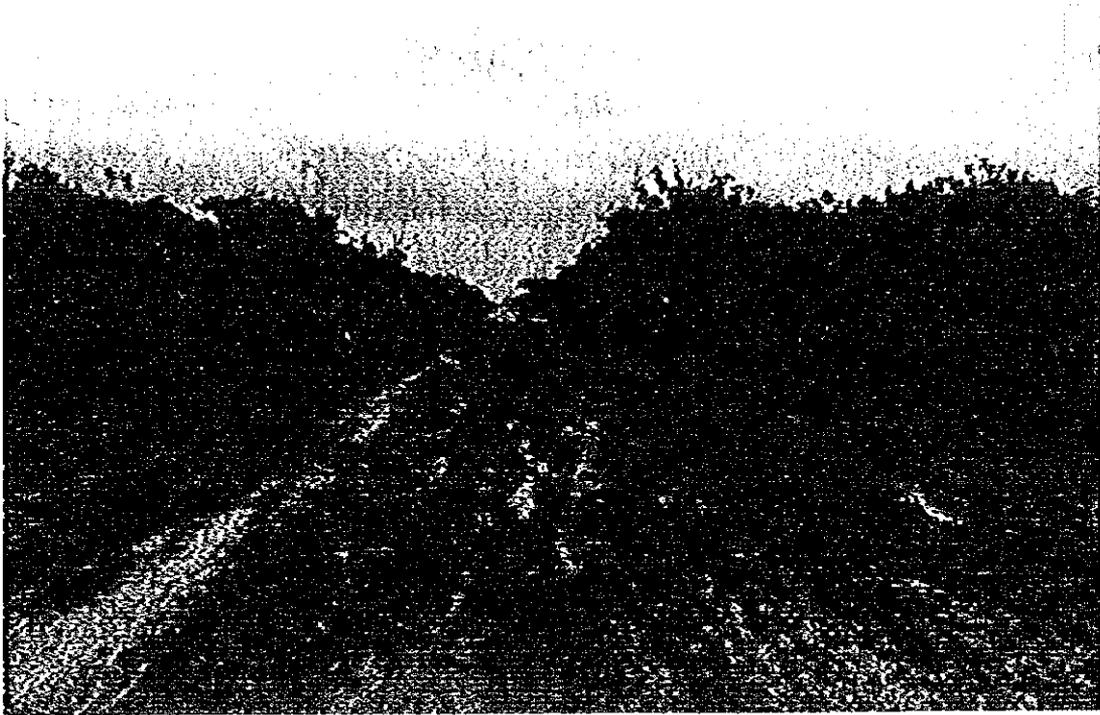
(3) Carretera del Proyecto

El tramo carretero entre San Borja y el río Curirabita pasa por la zona de inundación de tipo abanico del río Maniquí, exceptuando la zona de inundación del río Maniquí. Esta zona está cubierta con vegetación de bosques verdes del río. Sin embargo, el cauce antiguo del río Maniquí pasa localmente por este tramo.

El tramo carretero entre San Borja y el río Curirabita consiste principalmente de una zona de inundación sub-reciente. El río Matos fluye hacia el noreste, paralelo a la carretera proyectada. La pendiente longitudinal de la carretera en este tramo es la máxima del área del proyecto. La carretera pasa por la parte sur de la zona de inundación sub-reciente, que es el sitio relativamente más alto de la zona de inundación.

El tramo carretero entre el río Chebejecure y el oeste de San Ignacio consta de ríos, diques de río y de la zona de inundación reciente de los ríos Chebejecure, Museruna, Cuberene y Apere. Se considera que se ha seleccionado la ruta más corta para la construcción de la carretera que intersectará este tramo. El tramo carretero entre el oeste de San Ignacio y el este de Fátima está situado en la pendiente sur de la cuenca, consistiendo en una micro saliente insular y estando cerca del límite con la zona de retro-ciénagas. El tramo carretero que viene del este de Fátima y va hacia Trinidad consta de un río, la zona de inundación fluvial reciente, la retro-ciénaga, el dique de río y lagos crecientes. La cuenca entre los ríos Tijamuchi y Mamoré, ubicada 22 km al oeste de Trinidad (Figura I.5.3), está supuestamente formada por el dique natural del río Mamoré. El nivel de terreno de la cuenca (152.51 m) es aproximadamente entre 1.5 y 2.1 m más alto que el nivel de los ríos Mamoré (150.37 m) y Tijamuchi (entre 150.83 y 151.26 m).

La carretera del proyecto consiste principalmente de terraplenes que oscilan entre 0.2 y 2.5 m de altura. Para los materiales del terraplén en la zona de retrocesión (zona de inundación, ciénaga, etc., generalmente cubiertas con pastizales) se han utilizado tierra aluvial de ambos lados de la carretera, la cual consiste principalmente de limos y arcilla. El terraplén fue construido por el método de préstamo lateral, pudiéndose observar en muchos lugares una erosión quebrada debido a las lluvias y aguas superficiales desbordadas, así como un estrechamiento local del cuerpo del terraplén.



Fotografía 6-2-3 Condiciones existentes en la Carretera del Proyecto después de la lluvia

Las zanjas de préstamo para los terraplenes en la zona de retrocesión se encuentran actualmente como dos canales paralelos a ambos lados de la carretera. Estos oscilan entre 15 y 30 m de ancho y entre 1 y 2 m de profundidad, encontrándose usualmente llenos de agua. Las zanjas de préstamo del tramo carretero entre Fátima y Trinidad, que periódicamente han sufrido una inundación regional durante la estación lluviosa, son usados como canal de transporte fluvial de personas y materiales. Además, el agua de las zanjas de préstamo se emplea como abrevadero para animales domésticos y salvajes.

Por otra parte, el terraplén en la zona saliente (zona de inundación tipo abanico, dique de río, etc., generalmente cubierta de bosque), oscila entre 0 y 0.3 m de altura y está formado principalmente por arena fina y limos. Relativamente, la erosión quebrada del terraplén no es muy usual debido a una buena permeabilidad y un terraplén bajo. Las zanjas de préstamo en la zona saliente son excavados en forma discontinua debido a la existencia de una pequeña cantidad de materiales de préstamo lateral. Sin embargo, cada zanja de préstamo es relativamente grande y profunda, entre 10 y 40 m de ancho y entre 2 y 4 m de profundidad, encontrándose llenas de agua.

Se pueden observar fallas del talud del terraplén de la carretera en el río Los Tajibos y en varios sitios donde se encuentran tubos o caños de alcantarillado (instalaciones de drenaje). El cuerpo del terraplén de aproximadamente 50 m de ancho en el río Los Tajibos, fue completamente erosionado por el agua de inundación, y los tubos del alcantarillado también fueron dañados. Otras fallas del talud del terraplén, oscilando en anchos que varían desde varias decenas de centímetros hasta los 2 m, se pueden observar en la parte inferior de cada tubo o caño del alcantarillado.

(4) Canteras

Se seleccionaron nueve (9) canteras para el mejoramiento de la carretera, tal como se muestra en la Tabla 6-2-2. Los lugares de ubicación de las mismas se encuentran divididos en dos lados, incluyendo a San Borja y Trinidad. Los materiales a ser utilizados para el mejoramiento de la carretera estarán compuestos por arena, grava y fragmentos de piedra para el lecho inferior de la vía o subcorona, fragmentos de piedra para el lecho superior de la vía o corona y la capa de rodadura, así como materiales de piedra para los agregados del hormigón.

Las canteras ubicadas en los ríos Quiquibey y Alto Beni, Cerro Chico y Río Blanco, son operadas por SENAC. Otras canteras, incluyendo la del río Caripo, Caripo y río Dartagnan son explotadas temporalmente. Sin embargo, la cantera del Cerro San Jorge debe ser nuevamente explotada.

Tabla 6-2-2 Lugares de Ubicación de Canteras

Sitio de Cantera	Topografía	Geología	Materiales	Uso	Distancia
Lado de San Borja					
1. Caripo	Terraza	Arena y grava	Arena y grava	Arena y grava (1)	54 km
2. Río Caripo	Río	Arena y grava	Arena y grava	Arena y grava (1)(4)	54 km
3. Río Dartagnan	Río	Arena y grava	Arena y grava	Arena y grava (1)(4)	59 km
4. Río Quiquibey	Río	Arena y grava	Arena y grava	Arena y Grava (3)	80 km
5. Río Alto Beni	Río	Arena y grava	Arena y grava	Grava (3)	148 km
Lado de Trinidad					
6. Cerro Chico	Colina	Arenisca	Piedra	R (1)	172 km
7. Cerro San Jorge	Colina	Granito	Piedra	R (2)(3)	185 km
8. Río Mamoré	Río	Arená	Arena	Arena (4)	-
9. Río Blanco	Río	Arena	Arena	Arena (3)	290 km

Nota - Terraza: Terraza aluvial

Arenisca: Arenisca cuarzosa metamórfica y esquistos de barro

R: Fragmento de roca (piedra)

(1): Materiales para lecho inferior de la vía o subcorona

(2): Materiales para lecho superior de la vía o corona y la capa de rodadura

(3): Materiales para agregados de hormigón

(4): Materiales para agregados de hormigón preesforzado

Fuente - "Estudio de Mejoramiento de la Carretera Entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia (Fase II)", Informe Final, 1989, JICA

a) Caripo, Río Caripo y Río Dartagnan

Las canteras ubicadas en Caripo, el río Caripo y el río Dartagnan están localizadas entre los Km.4 y 6 al norte de Yucumo, a lo largo de la Carretera Nacional No. 2, tal como se muestra en la Figura 6-2-4.

La cantera de Caripo está ubicada en una terraza aluvial plana al lado derecho del río Caripo y está cubierta por un bosque fluvial. Las canteras de los ríos Caripo y Dartagnan tienen anchos entre los 30 y 100 m, localizadas en forma de serpenteo. La altura de la terraza aluvial de ambos ríos es entre 1 y 3 metros.

b) Cerro San Jorge

La cantera del Cerro San Jorge está ubicada a unos 175 km al sur-este de Trinidad, a lo largo de la Carretera Nacional No. 9, tal como se muestra en la Figura 6-2-5. El Cerro San Jorge está formado por tres pequeñas colinas cubiertas por bosque tropical, que oscilan entre 50 y 250 m de altura. La pendiente de las colinas varía entre 10° y 30°.

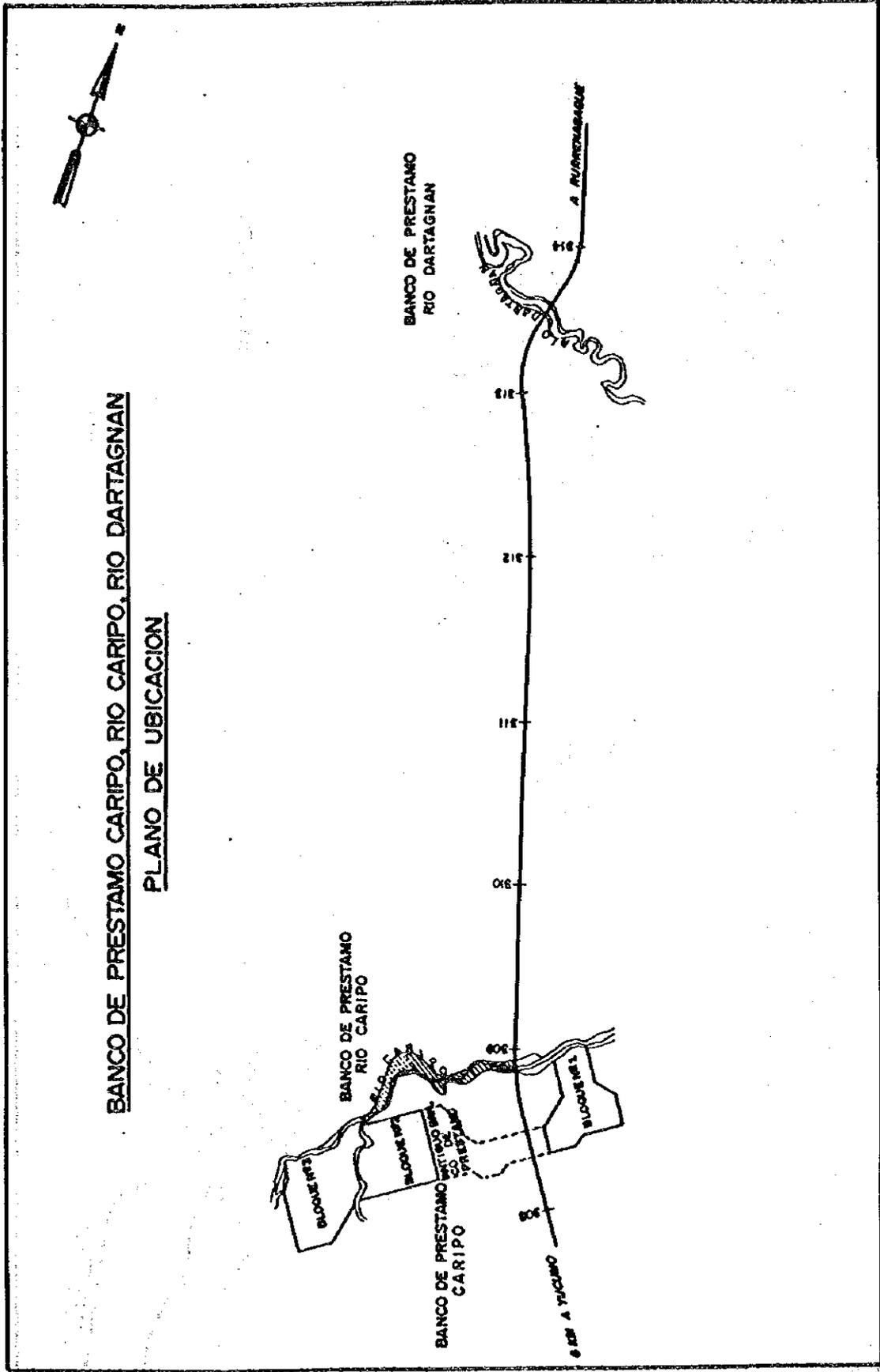


Figura 6-2-4 Ubicación de las Canteras de Carpio, Río Carpio y Río Dartagnan

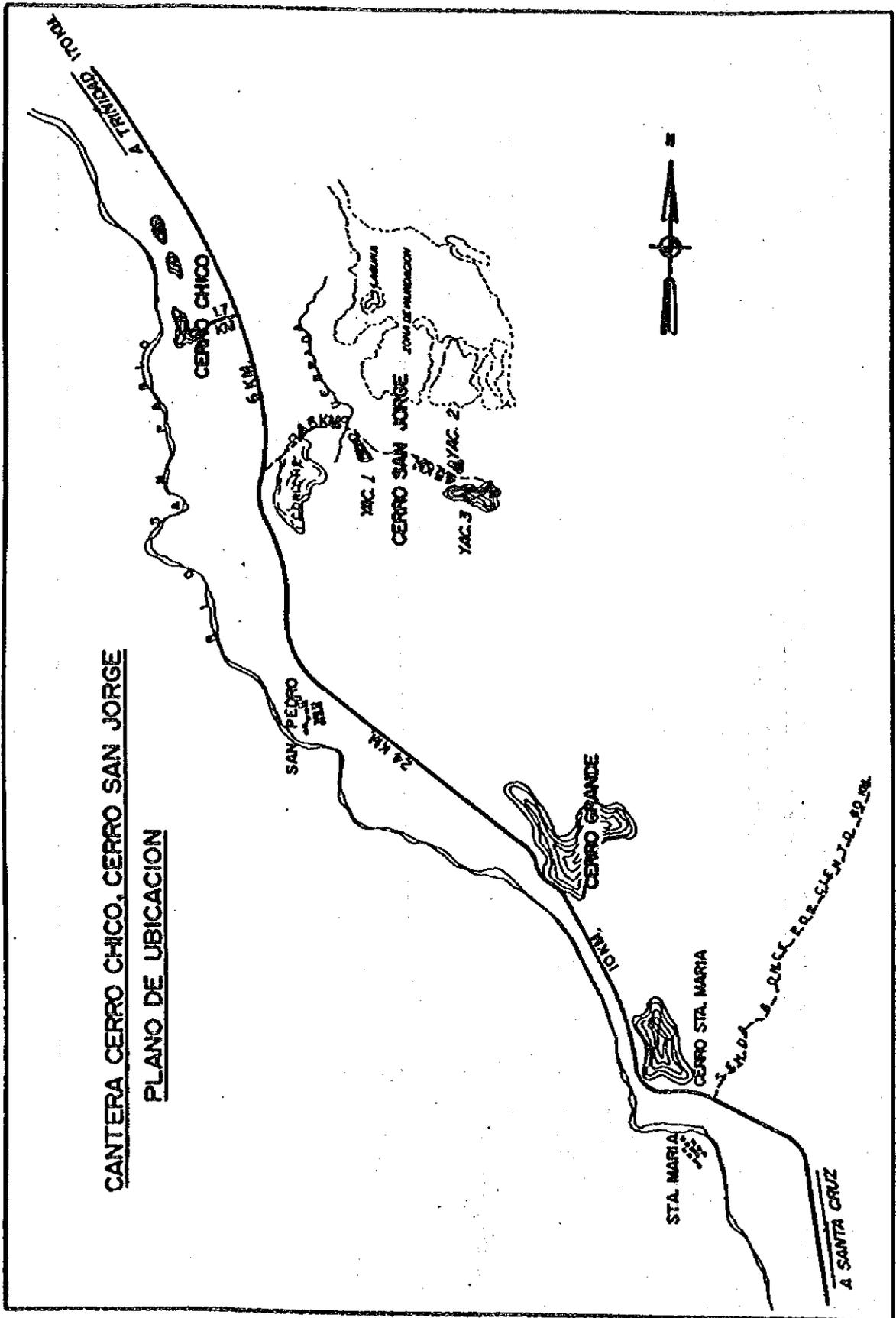


Figura 6-2-5 Ubicación de las Canteras de Cerro Chico y Cerro San Jorge

Las colinas están rodeadas por un área plana cubierta por bosque tropical espeso y pequeños pantanos a lo largo de los arroyos. Los pequeños arroyos fluyen en la parte norte y sur de las colinas, y al este de las mismas se encuentran un gran pantano y un lago estacional.

6.2.2 Geología

(1) Característica Litológica

El área del proyecto tiene amplias capas subyacentes de depósitos aluviales holócenos y cuaternarios (Figuras 6-2-6 y 6-2-7). Al sur del área del proyecto, dichas capas están distribuidas en formaciones terciarias, cretáceas y paleozoicas, formando el Sub Andino (borde oriental de las Montañas Andinas), donde la mayor parte de los sedimentos y limo transportados por los ríos, exceptuando el río Mamoré, vienen del Sub Andino. Los depósitos aluviales consisten en depósitos fluviales sub-recientes, depósitos en abanico y depósitos fluviales recientes.

Los depósitos fluviales sub-recientes consisten en depósitos de zonas de inundación sub-recientes. Estos se encuentran a lo largo del tramo carretero entre los ríos Curirabita y Chebejecure, al este-sureste de San Ignacio, correspondiendo a la región de la zona de inundación sub-reciente y micro saliente insular. Estos depósitos consisten principalmente de material no consolidado, de color gris oscuro a gris-marrón, tales como arenas finas, limos, arcilla y alternación de arena y limos. El grano de la arena está compuesto principalmente de cuarzo. La litología de los depósitos es más arenosa y dura que la de los depósitos de la zona de inundación reciente. Aunque las características litológicas de la micro saliente insular son las mismas que las de la zona de inundación sub reciente, se supone que la región de la micro saliente insular se encuentra localmente más o menos erosionada. Las capas de arcilla entrelaminadas con estos depósitos, ubicados en los alrededores de Trinidad y que se utilizan para la producción de ladrillos.

Los depósitos en abanico están subdivididos en dos, incluyendo los depósitos aluviales sub-recientes en abanico y los depósitos de la zona de inundación tipo abanico. Los primeros se encuentran en la parte suroeste del área del proyecto, ubicada entre los ríos Maniquí y Apere. Los depósitos consisten principalmente de arena y limos con grava subordinada.

Los segundos están ubicados a lo largo del río Maniquí y consisten principalmente de arena fina y limos no consolidados, bien-clasificados, de color gris a gris-marrón. Los depósitos fluviales recientes consisten en depósitos fluviales de las zonas de inundación recientes y de diques naturales. Otros depósitos aluviales tales como las retro-ciénagas, ciénagas y pantanos están incluidos en los depósitos fluviales de las zonas de inundación recientes.

Los depósitos fluviales de las zonas de inundación recientes, distribuidos a lo largo de los ríos, consisten principalmente de arena fina, limos y arcilla no consolidada, de color gris a marrón, oscilando entre capas de 4 y 9 m de espesor. Los depósitos del río Maniquí consisten de arena fina mezclada con limos subordinados, bien clasificada, de color gris a marrón claro, por lo que la arena es utilizada como material de construcción. Por otra parte, los depósitos de otros ríos que están ubicados dentro de la zona de inundación, exceptuando el río Mamoré, están formados por arcilla y limos.

Los depósitos de diques naturales consisten de arena fina y limos no consolidados, de color gris-marrón claro a gris oscuro. La región del micro saliente, incluyendo depósitos del abanico y depósitos del dique natural, consisten principalmente de arena y limos, por lo que esta región está topográfica y geológicamente bien drenada y, en general, cubierta por bosques.

Por otra parte, la región de micro retrocesión, incluyendo la zona de inundación fluvial y retro-ciénaga recientes, consisten principalmente de arcilla y limos. La región está topográfica y geológicamente mal drenada y generalmente formada por pastizales.

(2) Estructura Geológica

La estructura geológica del Sub Andino tiende del noroeste al sureste. Las direcciones de los lineamientos más importantes, observadas por imágenes de SAR (Synthetic Aperture Radar; JERS-1), corresponden a las direcciones NO-SE, NE-SO y N-S. Los lineamientos que tienden hacia el NE-SO y N-S podrían ser extendidos a la planicie aluvial (Figura 6-2-8). Los lineamientos que tienden hacia el NE-SO, que están distribuidos al sur de San Borja y alrededor de San Ignacio, posiblemente corresponden a la saliente micro insular. Los lineamientos que tienden hacia el N-S están ubicados al oeste de San Borja y aguas arriba del río Apere.

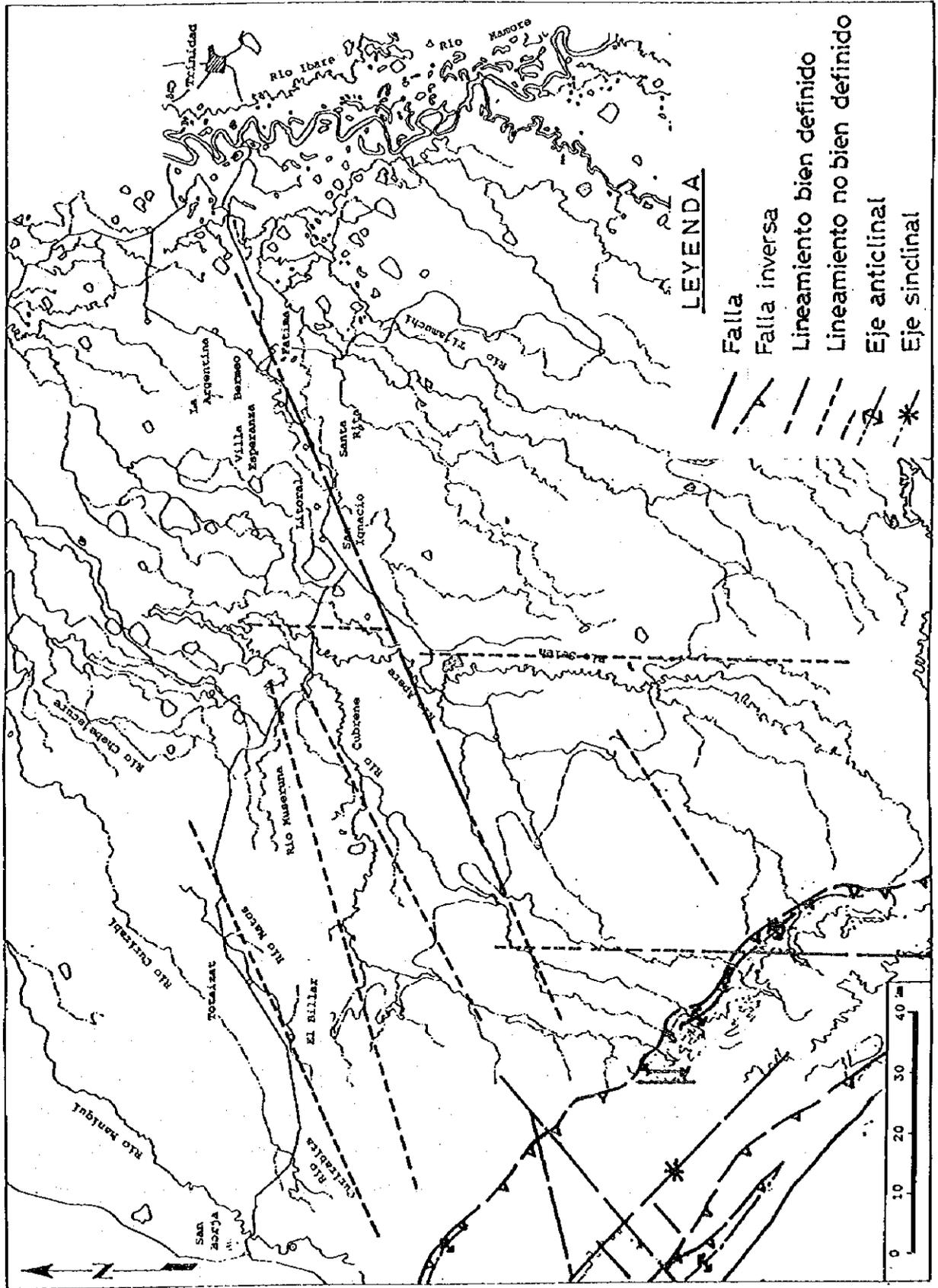


Figura 6-2-8 Mapa Geotectónico del Area del Proyecto

(3) Carretera del Proyecto

San Borja está ubicada sobre los depósitos de la zona de inundación sub-reciente. En los alrededores del río Maniquí existen depósitos fluviales recientes de acuerdo a los resultados del sondeo de perforación para la construcción de puentes (SENAC, 1986), tal como se muestra en la Figura 6-1-2.

El tramo carretero comprendido entre el este del río Maniquí y el río Curiraba atraviesa los depósitos tipo abanico de la zona de inundación, los cuales consisten principalmente de arena fina y limos.

El tramo de la carretera que va desde el río Curiraba hasta el río Chebejecure, exceptuando el río Matos, se ubica en los depósitos de la zona de inundación sub-reciente, los cuales están formados por arena fina, limos y arcilla. Los depósitos fluviales recientes están distribuidos continuamente a lo largo de los ríos Curiraba, Chebejecure y Matos. En los alrededores de estos ríos se pueden encontrar arcilla limosa suelta y arena limosa de los depósitos fluviales recientes, oscilando entre 6 y 9 metros de profundidad desde el nivel del suelo, así como arena fina compacta y limos arcillosos de los depósitos de la zona de inundación sub-reciente. El valor N (Número del Ensayo de Penetración Estándar--SPT--Standard Penetration Test) de los estratos de arena de la zona de inundación sub-reciente muestra un valor mayor de 20.

El tramo carretero que va desde el oeste de San Ignacio hasta el oeste del río Tijamuchi está ubicado en los depósitos de la zona de inundación sub-reciente, formados por arena fina, limos y arcilla. El tramo de la carretera que comprende desde el oeste del río Tijamuchi hasta el este del río Ibare consiste de depósitos fluviales recientes de los ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare, los cuales se componen principalmente de arcilla y limos.

El tramo carretero que comprende desde el este del río Ibare hasta Trinidad está ubicado en los depósitos de la zona de inundación recientes, los cuales están compuestos por arcilla limosa suelta, arcilla arenosa, limos arcillosos, arcilla limosa compacta y arena limosa densa en orden ascendente. El valor N de la arena limosa inferior oscila entre 10 y más de 50, por lo que puede ser designada como una capa apta para la construcción de pilotes (JICA, 1989).

(4) Naturaleza de la Mecánica de Suelos

La naturaleza de la mecánica de suelos a lo largo de la carretera del proyecto, en base a los ensayos de suelos y a los ensayos de CBR (California Bearing Ratio) efectuados por JICA en 1989, pueden resumirse como se indica a continuación:

- ① El muestreo de suelos para los ensayos de suelos y de CBR se realizó a intervalos de cada dos (2) kilómetros a lo largo de la carretera del proyecto y con profundidades que oscilaron entre 0.5 y 1.0 m.
- ② La clasificación del suelo a lo largo de la carretera del proyecto está formado por las Clases A-7, A-6, A-4 y A-2 (AASHTO), y la proporción de cada una de ellas es del 45%, 29%, 23% y 3% respectivamente (ver Tabla 6-2-3). Los valores CBR oscilan entre 1.2% y 22.5%, tal como se muestra en la Figura 6-2-9 y en la Tabla 6-2-3.
- ③ El suelo comprendido entre San Borja y el oeste del río Chebejecure está compuesto, en forma irregular, por las Clases A-4, A-6 y A-7. Los valores CBR varían entre 4% y 5%.
- ④ El suelo comprendido entre el oeste del río Chebejecure y el oeste de San Ignacio, compuesto predominantemente por el dique del río, está clasificado como A-6 y mezclas de A-4 con A-7 subordinado. Los valores CBR oscilan entre 4% y 22.5%.
- ⑤ El suelo comprendido entre el oeste de San Ignacio y Fátima, el cual topográficamente pertenece a la micro saliente insular, está formado irregularmente por las Clases A-4, A-6 y A-7. Los valores CBR varían de 3% a 22%.
- ⑥ El suelo comprendido entre Fátima y el oeste del río Mamoré está formado en su mayoría por la Clase A-7. Los valores CBR oscilan entre 5% y 16%.
- ⑦ El suelo comprendido en el tramo carretero entre el este del río Mamoré y Trinidad está formado por la Clase A-7, exceptuando la región al este del río Mamoré. El suelo comprendido al este del río Mamoré, que topográficamente pertenece al dique del río, es de Clase A-4. Los valores CBR varían entre 1.2% y 16%.

Tabla 6-2-3 Resultados del Estudio de Suelos en el Area del Proyecto

No. de Muestra de San Borja	Clasificación AASHTO	Humedad Natural (%)	LL	LP	Compactación T99		Valor CBR (%)
					Max.	Humedad OPT (%)	
(I No. 1-30)							
- 1, 2, 4, 6, 7, 20, 22, 25, 26, 27, 30	A-4 (5-8)	19.8	26	8	1.825	14.3	4.9
- 3, 8, 9, 10, 16, 21,	A-6 (7-8)	19.9	30	12	1.800	16.1	1.9
- 5, 11, 15, 17, 119, 23	A-6 (9)	23.1	34	13	1.800	16.0	3.0
- 28, 29	A-7-9 (20)	27.9	72	13	1.770	19.7	2.3
- 12, 13, 14, 18, 24	A-7-6 (14-19)	24.0	52	24	1.681	21.5	3.8
(II No. 31-60)							
- 41, (72)	A-4 (0-3)	15.0	21	-	1.740	14.0	22.5
- 33, 34, 37, 42, 48, 55, 68	A-4 (6-8)	18.6	25	5	1.825	13.7	17.3
- 31, 35, 36, 38, 39, 40, 44, 47, 54	A-6 (8-10)	20.0	36	14	1.767	17.9	4.7
- 32, 50, 51, 56, 58, 43, 45, 49, 52, 57	A-7-5 (15-20)	28.9	61	30	1.497	25.0	4.3
- 59, 60	A-7-6 (9-13)	20.5	42	17	1.690	20.6	4.5
(III No. 61-90)							
- (46), 61, 73	A-2-4 (0)	15.5	7	-	1.660	5.2	13.3
- 66, 67, 71	A-4 (8-10)	11.6	23	5	1.830	13.9	9.5
- 62, 63, 65, 80, 83, 84, 86, 87, 89	A-6 (8-10)	17.1	37	14	1.750	17.3	6.1
- 64, 69, 75, 79, 82, 85	A-7-5 (20)	30.4	66	30	1.425	25.4	2.5
- 70, 77, 78, 88	A-7-6 (9-13)	17.8	44	19	1.680	19.4	4.9
- 74, 76, 81, (53), 90	A-7-6 (14-19)	20.3	49	22	1.665	19.7	5.3
(IV No. 91-111)							
- 91, 95, 106	A-4 (6-8)	14.6	25	5	1.810	14.6	15.6
- 92, 99	A-6 (8-10)	22.4	36	12	1.665	18.6	4.7
- 96, 103, 107	A-7 (15-17)	26.4	55	24	1.562	25.3	3.0
- 97, 101, 102, 108, 109, 98, 105, 110, 111	A-7-5 (20)	28.1	70	35	1.475	22.4	1.2
- 93, 94	A-7-6 (9-13)	17.7	44	17	1.610	22.9	6.0
- 100, 104	A-7-6 (14-19)	25.5	54	28	1.545	23.8	1.9
- 105	A-4 (8)	33.2	27	-	1.852	13.0	8.0
		28.1	27	-	1.860	13.1	14.6
		27.3	25	-	1.870	13.0	14.2

Nota : LL = Límite líquido, LP = Límite plástico

Fuente : "Estudio de Mejoramiento de la Carretera Entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia (Fase II)", Informe Final, 1989, JICA

(5) Canteras

a) Caripo, Río Caripo y Río Dartagnan

Las canteras ubicadas en Caripo, Río Caripo y Río Dartagnan son depósitos aluviales y depósitos de terraza ampliamente distribuidos a lo largo de los ríos. Los depósitos fluviales y de terraza están formados por arena sueltas de color café claro y gravas, entrelaminados con estratosas de arena limosa y arcilla limosa.

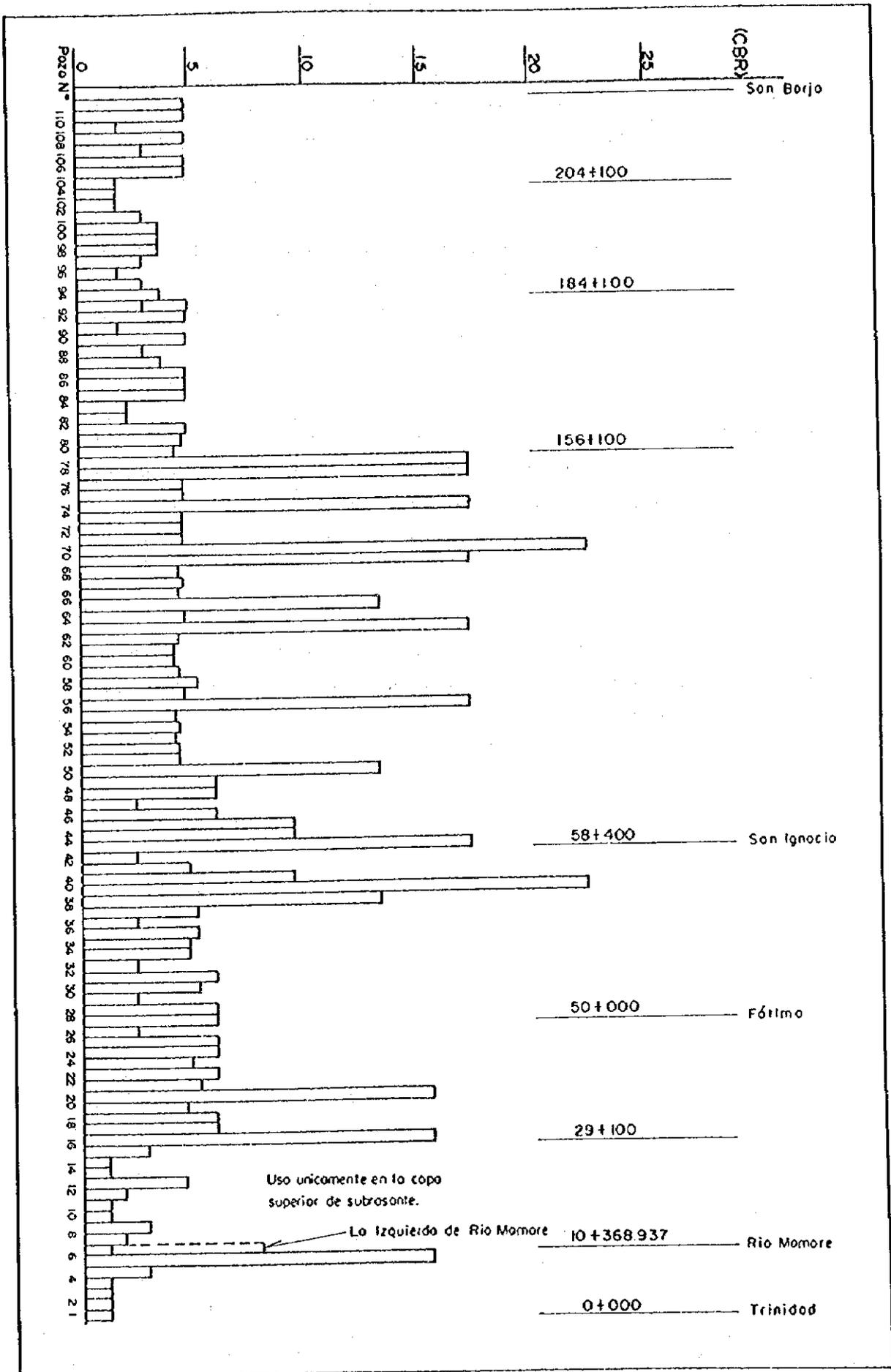


Figura 6-2-9 Valores CBR del Suelo en el Area del Proyecto

Las gravas, que oscilan entre capas de 20 y 100 cm de espesor, consisten de arenisca, arenisca cuarzosa, esquistos de barro, tufa y greda. El tamaño de las gravas varía entre 2 mm y 30 cm de diámetro, con un diámetro promedio de 5 cm. La calidad de la piedra es agrietada y relativamente quebradiza debido a una resistencia baja a la intemperización.

Las arenas se componen de arenas de color gris-pardusca, con resistencia baja a la intemperización, con tamaños que varían entre fino y grueso.

b) Cerro San Jorge

Las colinas del Cerro San Jorge están formadas por rocas metamórficas y granito. Las rocas metamórficas, al igual que las rocas de Cerro Chico, están formadas a su vez por arenisca gruesa de color gris clara y gris rojiza, y de arenisca cuarzosa. La calidad de roca de las piedras metamórficas es compacta y dura. El granito contiene mucha ortoclasa de color marrón rojiza y compacta.

La colina principal está compuesta de granito y cubierta por un grueso canto rodado de granito intemperizado. El suelo superficial es relativamente delgado, variando su espesor entre los 10 y 50 cm debido a la erosión del suelo.

6.3 Suelo

6.3.1 Clasificación de Suelos

El suelo comprendido en el área de estudio está formado por suelos aluviales (suelos alabeados; fluvisol en la clasificación de la FAO), los cuales se subdivide a su vez en cuatro, incluyendo suelos alabeados crudos (Rambla), suelos grises de tierras bajas (Paternia), suelos marrones de tierras bajas (Vega), y suelos Gley, como se muestra en la Tabla 6-3-1 y en la Figura 6-3-1. Los perfiles típicos del suelo se muestran en la Figura 6-3-2.

Los suelos alabeados crudos (Rambla), que corresponden a los entisoles de la clasificación (clase por orden) de acuerdo a la Taxonomía de Suelos, se encuentran en los diques naturales de las principales áreas fluviales de inundación recientes de los ríos Mamoré, Chebejecure, Maniqui y Cuberene, los cuales son sedimentos jóvenes. El estrato de suelos es inmaduro y consiste principalmente de una capa muy delgada de humus de color gris oscuro (A₁; 0- 4 cm) y suelo inmaduro de color marrón-mate (capa BC o C). En el dique natural del río Cuberene, existen sedimentos más nuevos asociados con el suelo Rambla, formados por arena de grano fino y color marrón claro, los cuales se encuentran cubiertos por suelo más antiguo (Paternia).

Los suelos aluviales grises (Paternia), que corresponden a los Vertisoles y parcialmente a los Inceptisoles de la Taxonomía de Suelos, se encuentran en el área limitada de tierras relativamente más bajas, inclusive próximos al curso de agua del drenaje en la región micro saliente insular y en la llanura de inundación fluvial reciente. El estrato de suelos está formada por distintas capas de humus con colores entre negro-parduscas y marrón-oscuros (A_{0,1,3}; de 10 a 30 cm de espesor), capas débilmente oxidadas de color marrón-amarillenta (BC; menor de 24 cm de espesor), y gradualmente cambia a un suelo (capa C) más compacto, débilmente oxidado, de color marrón-grisáceo a marrón-mate o un suelo de color verdoso-gris oscuro del tipo S-7 (capa G). Los suelos de Paternia en las pampas son en su mayoría Vertisoles, mostrando distintas grietas columnares.

Los suelos aluviales marrones (Vega), que corresponden a los Inceptisoles y Vertisoles de la Taxonomía de Suelos, se encuentran en toda el área, incluyendo la llanura de inundación sub-reciente, la llanura de inundación tipo abanico, la saliente micro insular, y la llanura fluvial de inundación reciente. El estrato de suelos está formado por una capa de humus de color negro-pardusca a marrón-oscuro (A_{0,1}; de 8 a 30 cm de espesor), una capa de

acumulación aluvial relativamente suave de color marrón-amarillenta a anaranjada-amarillenta mate (A₂; de 7 a 22 cm de espesor), una capa compacta y fuertemente oxidada de color marrón a marrón-amarillenta con pequeños puntos de color anaranjado a marrón-rojizo (de 0-2 a 1.5 cm de diámetro) (B_{1,2,3}; de 20 a 70 cm de espesor), y una capa débilmente oxidada de color marrón-mate marrón-oscuro (BC o C; menor de 10 cm de espesor) o una capa Gley de color negro-verdusca en las zonas pantanosas tales como S-6 y S-17. Los suelos Vega en las pampas son Vertisoles que muestran distintas grietas columnares.

Tabla 6-3-1 Clasificación del Suelo en el Area del Proyecto

No.	Topografía y Vegetación*1	Clasificación		A _{0,1}	A ₂	B	BC, C	G	*3
		Suelo Aluvial	*2						
S-1	T-7, Bosque	Vega	Ver.	10	10	-	<50		94.8
S-2	T-7, Bosque	Rambla	Ent.	1	-	-	<60		100.0
S-3	T-5, Bosque	Paternia	Ent.	21	-	-	<49		83.1
S-4	T-5, Bosque	Vega	Ver.	2	8	14	36		98.9
S-5	T-5, Pampas	Paternia	Ent.	15	-	-	59		
S-6	T-4, Pampas	Vega	Ver.	10	22	<68			99.5
S-7	T-4, Pampas	Paternia	Ver.	21	-	-	31	<24	
S-8	T-4, Pampas	Vega	Inc.	12	12	<90			
S-9	T-4, Pampas	Vega	Inc.	15	15	20	35		99.7
S-10	T-7, Bosque	Vega	Inc.	8	13	<48			
S-11	T-7, Pampas	Vega	Inc.	18	7	<32			
S-12	T-7, Pampas	Paternia	Ver.	10	-	-	24		99.7
S-13	T-7, Bosque	Rambla	Ent.	2	-	-	24		97.0
S-14	T-7, Pampas	Vega	Ver.	10	-	<76			
S-15	T-7, Pampas	Vega	Ver.	8	10	30	22		99.8
S-16	T-7, Pampas	Vega	Ver.	8	-	28	-	<42	99.9
S-17	T-7, Pampas	Vega	Ver.	20	-	24	-	<26	99.0
S-18	T-5, Bosque	Vega	Inc.	30	-	<70			
S-19	T-6, Bosque	Paternia	Ver.	18	-	-	<32		97.8
S-20	T-6, Bosque	Paternia	Ver.	15	-	-	<45		95.3
S-21	T-6, Bosque	Vega	Inc.	12	-	<38			
S-22	T-6, Bosque	Vega	Inc.	6	16	38	<20		
S-23	T-7, Arbustos	Vega	Ver.	7	5	<58			
S-24	T-4, Bosque	Vega	Inc.	23	-	<90			
S-25	T-6, Bosque	Vega	Inc.	16	11	<54			99.2
S-26	T-6, Bosque	Paternia	Ver.	12	-	-	<58		
S-27	T-6, Bosque	Vega	Inc.	12	17	41	<10		100.0
S-28	T-6, Bosque	Vega	Inc.	25	13	<52			
S-29	T-6, Bosque	Vega	Inc.	25	-	<75			
S-30	T-7, Pampas	Vega	Ent.	10	-	21		<49	100.0
S-31	T-7, Bosque	Rambla	Ent.	4	-	-	<24		63.5
S-32	T-7, Pampas	Rambla	Ver.	3	-	-	<97		
S-33	T-7, Bosque	Paternia	Ent.	6	-	-	<44		
S-34	T-7, Pampas	Rambla	Ver.	4	-	-	<96		
S-35	T-7, Arbustos	Vega	Ver.	21	-	57	<27		

Nota - *1: Clasificación Topográfica:

T4: Llanuras aluviales sub-recientes

T6: Micro salientes insulares

T5: Abanicos aluviales

T7: Llanuras aluviales recientes

*2: Ent.: Entisoles

Ver.: Vertisoles, Inc.: Inceptisoles

*3: Porcentaje de arcilla (%)

Fuente - Misión de estudio

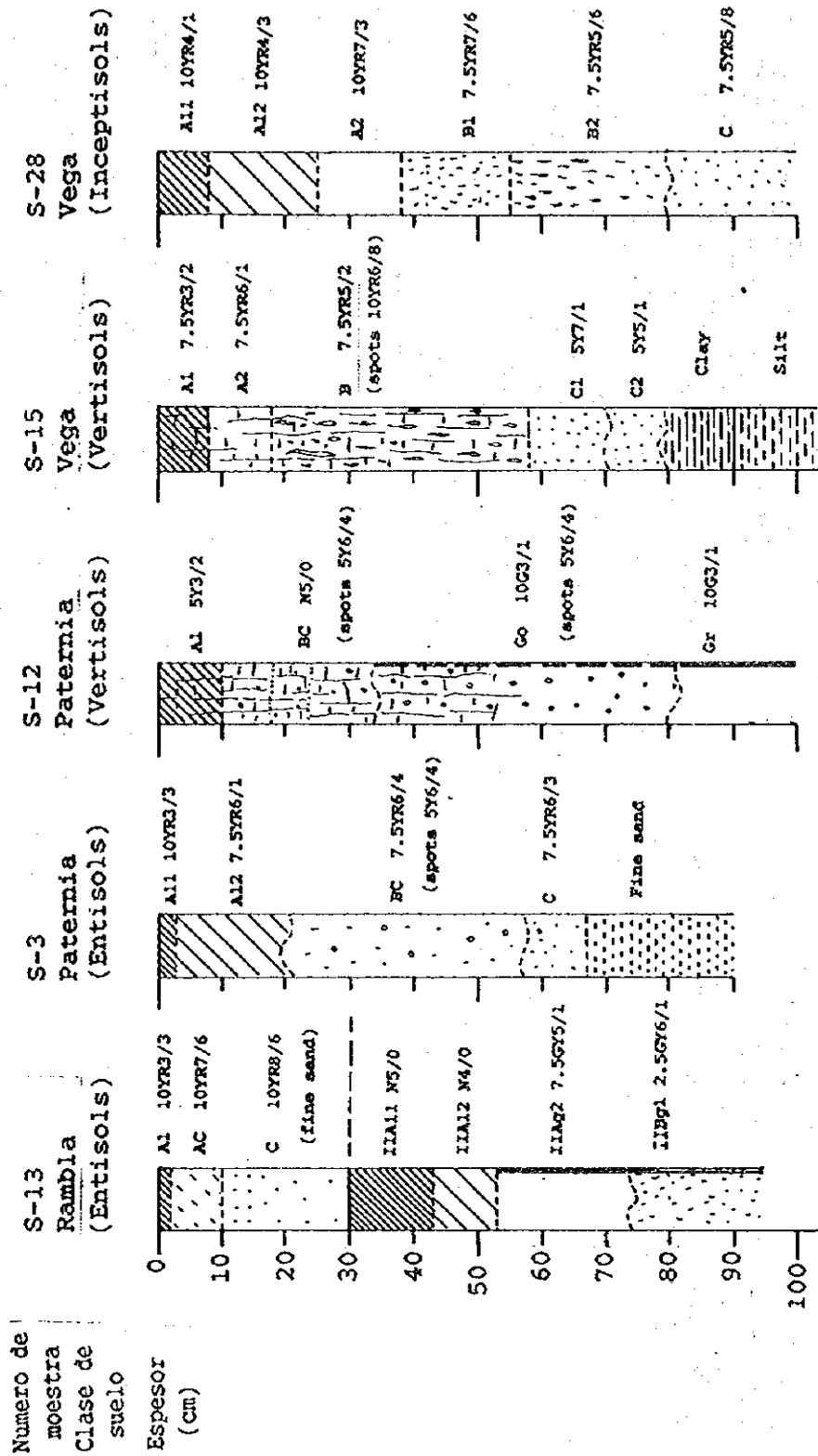


Figura 6-3-2 Perfiles Típicos del Suelo en el Area del Proyecto

Los suelos en la zona boscosa están formados predominantemente por suelos Vega (o Inceptisoles) que están bien diferenciados. Por otra parte, los suelos de las pampas están formados en su mayoría por suelos Paternia y Vega (o Vertisoles). Los suelos en las pampas pantanosas, donde el nivel de agua freática es más alto, cambian gradualmente a suelos Gley poco profundos, dependiendo del nivel del agua freática o subterránea.

6.3.2 Resultados de los Ensayos de Mecánica de Suelos

Se realizaron ensayos de mecánica de suelos para 17 muestras extraídas del área del proyecto. Los resultados de dichos ensayos se muestran en la Tabla 6-3-2. Las muestras se extrajeron de en los alrededores de la carretera existente, en un rango que incluyó distancias que oscilaron entre 60 y 200 m. La profundidad del muestreo fue de 30 a 60 cm. Los suelos de la capa de superficie del área del proyecto están formados en su mayoría, por arcilla y arcilla limosa.

Tabla 6-3-2 Resultados de los Ensayos de Mecánica de Suelos

No. de Muestra	<No. 10 ¹	<No. 40	<No. 200	Observaciones
1. S-1	100.0	99.5	94.8	Arcilla
2. S-2	100.0	100.0	100.0	Arcilla
3. S-3	100.0	100.0	83.1	Arcilla limosa
4. S-4	100.0	100.0	93.9	Arcilla
5. S-6	100.0	100.0	98.1	Arcilla
6. S-9	100.0	99.0	99.5	Arcilla
7. S-12	100.0	100.0	99.7	Arcilla
8. S-13	100.0	100.0	97.1	Arcilla
9. S-15	100.0	100.0	99.8	Arcilla
10. S-16	100.0	100.0	99.9	Arcilla
11. S-17	100.0	100.0	99.0	Arcilla
12. S-19	100.0	100.0	97.8	Arcilla
13. S-20	100.0	100.0	95.3	Arcilla
14. S-25	100.0	100.0	99.2	Arcilla
15. S-27	100.0	100.0	100.0	Arcilla
16. S-30	100.0	100.0	100.0	Arcilla
17. S-31	100.0	100.0	63.5	Arcilla limosa

Nota - *1 : Oficina de Estándares de los Estados Unidos de Norte América, U.S. Bureau of Standards
La clasificación de tamaños se realizó de acuerdo al porcentaje en peso pasando los tamices siguientes:

> No. 10 : Arena < No.10 -> No. 40 : Limo < No. 200: Arcilla

Fuente - Misión de estudio

6.3.3 Erosión de Suelos

Actualmente, no se observa erosión del suelo superficial en ningún lugar, excepto en los lugares donde existen alcantarillas. La erosión correspondiente a las instalaciones de drenaje están restringidas, en varios metros, en la salida de los caños corrugados (tuberías acanaladas).

6.4 Hidrología

El hidrología en el área del proyecto consiste de ríos, ciénagas, lagos, retro-ciénagas, pantanos y pozos de agua.

Los ríos del área del proyecto pertenecen al sistema fluvial del río Mamoré, el cual funciona como corriente principal. Los afluentes o ríos tributarios incluyen los ríos Maniqui, Curirabe, Curirabita, Matos, Chebejecure, Cuberene, Apere, Tijamuchi e Ibare. Cada afluente fluye en dirección noreste, uniéndose al río Mamoré (Figuras 6-4-1 y 6-4-2).

Las ciénagas consisten en ciénagas en forma de media luna y lagos crecientes. Las ciénagas de media luna, cuyo ancho oscila entre 0.5 y 6 km, están particularmente distribuidas alrededor de la micro saliente insular. Estas ciénagas se caracterizan por tener forma de media luna y poca profundidad.

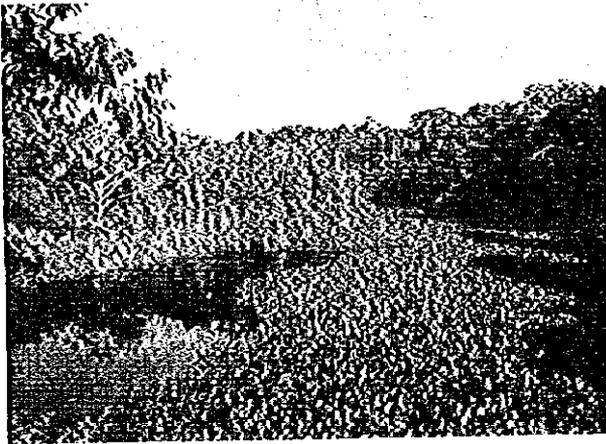
Numerosos lagos crecientes de varios tamaños están distribuidos en la mayor parte de los ríos serpenteantes, incluyendo los ríos Mamoré, Maniqui, Apere, etc.

Las retro-ciénagas correspondientes al pantano se encuentran al sur (aguas arriba de los ríos principales) del tramo de la carretera entre San Ignacio y el río Tijamuchi y entre los ríos Museruna y Apere. Las retro-ciénagas se caracterizan por tener un cambio estacional en su nivel de agua.

Varios pozos de agua potable están distribuidos en la mayor parte de las aldeas.

La zanja de préstamo a lo largo de la carretera y los sitios de agua estancada formados debido a un drenaje defectuoso de la carretera, se transforman localmente en pantanos.

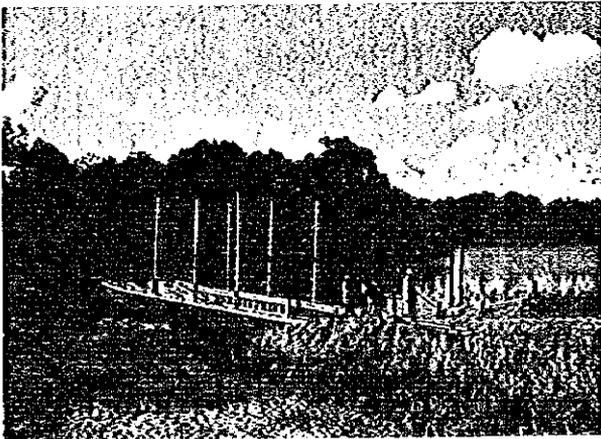
La cuenca localizada entre los ríos Apere y Tijamuchi obviamente divide el área del proyecto en dos zonas: la zona comprendida entre San Borja y San Ignacio y la zona comprendida entre San Ignacio y Trinidad (Figura 6-4-2). Esta vertiente, que tiende de norte a sur en la parte sur del área y de este-noreste a oeste-suroeste en la parte norte del área, está formada por la micro saliente insular.



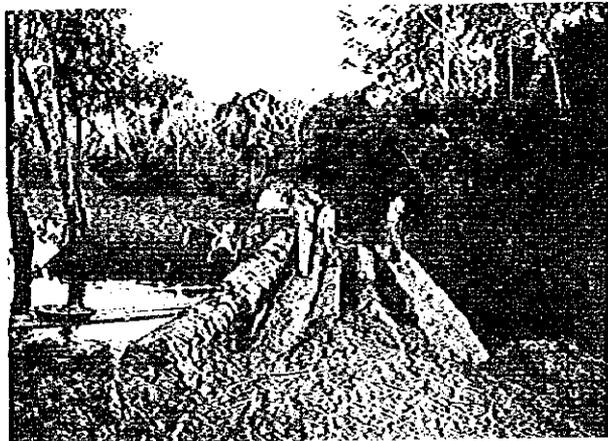
Chevejecure River



Museruna River



Tijanuchi River



Curiraba River



San Ignacio - Trinidad



San Borja - San Ignacio

Fotografía 6-4-1 Condiciones existentes de la Hidrología

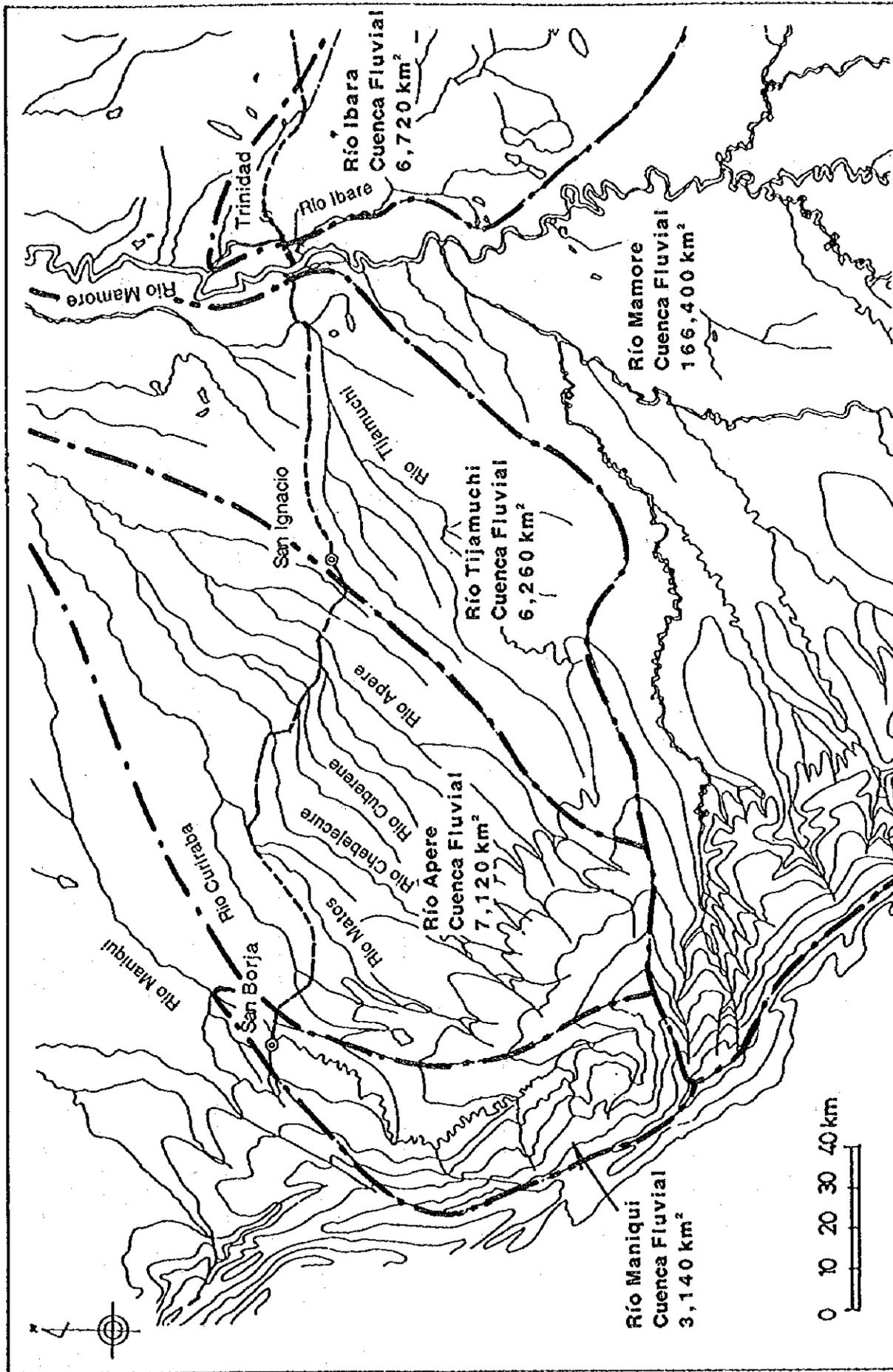


Figura 6-4-2 Cuencas Fluviales localizadas en el Area del Proyecto

6.4.1 Sistema fluvial

Los ríos del área del proyecto se sub-dividen en cinco cuencas fluviales consistentes en las cuencas de los ríos Maniqui, Apere, Tijamuchi, Mamoré e Ibare (Figura 6-4-1). Las condiciones de cada cuenca fluvial, condiciones de los ríos y descargas o caudales de los ríos en el área del proyecto se muestran en las Tablas 6-4-1, 6-4-2 y 6-4-3, respectivamente.

Tabla 6-4-1 Cuencas de los Ríos en el Area del Proyecto

Nombre de la Cuenca Fluvial (C/F)	Area de Captación (km ²)	Longitud del Río (km)	Topografía		Area de Inundación (km ²)
			Río Arriba	Río Abajo	
C/F del río Maniqui	3,140	240	Montaña	Llanura plana	No disponible
C/F del río Apere	7,120	220	Cerro	Llanura plana	1,300
Río Curiraba	-	70	-	-	-
Río Curirabita	-	50	-	-	-
Río Matos	-	180	-	-	-
Río Chebejecure	-	200	-	-	-
Río Museruna	-	90	-	-	-
Río Mururita	-	60	-	-	-
Río Cuberene	-	180	-	-	-
Río Apere	-	220	-	-	-
C/F del río Tijamuchi	6,260	290	Llanura plana	Llanura plana	2,550
C/F del río Mamoré	166,400	2,200	Montaña	Llanura plana	14,200
C/F del río Ibare	6,720	280	Llanura plana	Llanura plana	2,920

Fuente : "Estudio de Mejoramiento de la Carretera entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia", Informe Final, 1987, JICA

Tabla 6-4-2 Condiciones de los Ríos en el Area del Proyecto

Nombre del Río	Condiciones del Río	Pendiente Longitudinal	Ancho del Río (m)	Nivel de Altura de la Marca de Inundación (m)	Nivel de Altura del Lecho Más Profundo del Río (m)	Profundidad Máxima del Agua (m)
Río Maniqui	Variable	1/2,500	130	193.5	185.5	8.0
Río Apere	Estable					
- Río Curiraba		1/3,000	25	189.6	185.8	3.8
- Río Curirabita		1/3,000	20	184.8	184.8	3.4
- Río Matos		1/3,500	30	171.8	167.4	4.4
- Río Chebejecure		1/3,500	20	163.3	159.4	3.9
- Río Museruna		1/3,500	25	161.9	157.5	4.4
- Río Mururita		1/3,500	20	160.6	157.0	3.6
- Río Cuberene		1/5,000	60	160.6	152.3	8.3
- Río Apere		1/5,000	80	160.5	151.0	9.5
Río Tijamuchi	Estable	1/17,000	90	153.6	139.4	14.2
Río Mamoré	Extremadamente variable	1/22,000	420	154.7	135.5	19.2
Río Ibare	Estable	1/19,000	90	154.6	140.0	14.6

Fuente : "Estudio de Mejoramiento de la Carretera entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia", Informe Final, 1987, JICA

Tabla 6-4-3 Caudal de los Ríos en el Área del Proyecto

Nombre del Río	Estación Lluviosa		Estación Seca		Observaciones
	Velocidad del Flujo (m/s)	Caudal (m³/s)	Velocidad del Flujo (m/s)	Caudal (m³/s)	
Río Maniqui	-	(1,418.00)	-	-	*1
Río Apere					
- Río Curiraba	0.30	1.89	0.000	0.000	feb. y jun. 1995
- Río Curirabita	0.93	0.32	0.123	0.003	feb. y jun. 1995
- Río Matos	0.32	19.06	0.196	0.408	feb. y jun. 1995
- Río Chebejecure	0.25	7.50	0.000	0.000	feb. y jun. 1995
- Río Museruna	0.30	11.31	0.236	0.349	feb. y jun. 1995
- Río Mururita	-	-	0.208	0.223	
- Río Cuberene	0.53	83.30	0.270	4.568	feb. y jun. 1995
- Río Apere	0.46	80.74	0.309	7.820	feb. y jun. 1995
Río Tijamuchi	-	478.00	-	(40.000)	1985
Río Mamoré	-	8,240.00	-	(1,130.000)	1985
Río Ibare	-	799.00	-	(33)	1985

Nota - *1 : Caudal máximo producido por lluvias en un período de retorno de 100 años (por SNC)

- : Datos no disponibles

() : Caudal medido al final de la estación seca

Fuente - Misión de estudio

Las condiciones de las cuencas de los ríos Maniqui, Apere, Tijamuchi, e Ibare son casi las mismas. Estas áreas de captación oscilan entre 3,000 y 7,000 km². La longitud de los ríos oscila entre 220 y 280 km. La topografía de los tramos superiores de la cuenca fluvial es diferente; concretamente, los tramos superiores de las cuencas de los ríos Mamoré y Maniqui son montañosos, la del río Apere presenta colinas, y la de los ríos Tijamuchi e Ibare son terrenos llanos. La condición de los tramos inferiores de los ríos está afectada enormemente por cargas traccionales y en suspensión. Específicamente, el agua de los ríos provenientes de la región montañosa, incluyedo los ríos Maniqui y Mamoré, es agua turbia que contiene muchas cargas y sólidos en suspensión. Por otra parte, el agua de los ríos provenientes de la región plana y de las colinas es en general agua clara o de color marrón (color de humus).

La condición del cauce de los ríos Apere, Tijamuchi e Ibare es relativamente estable, pero la de los ríos Maniqui y Mamoré es cambiante.

(1) Cuenca del Río Maniqui

La cuenca de captación, longitud del río y pendiente longitudinal del río Maniqui son 3,140 km², 240 km y 1/2,500 respectivamente. Aunque el río presenta una cuenca de captación más pequeña que la de las otras cuencas fluviales, el ancho del cauce (130 m) y profundidad máxima del agua (8.0 m) son grandes debido a la condición montañosa de los tramos superiores que se encuentran intensamente erosionados y arrastran muchas

cargas traccionales y en suspensión. Por lo tanto, se formó una amplia zona de serpenteos y la zona de inundación tipo abanico en la parte baja del río, por lo que la condición del río varía.

No se han presentado grandes inundaciones en la cuenca del río Maniqui. Sin embargo, se presentan de forma irregular, inundaciones de pequeña escala y corta duración. A finales de diciembre de 1994 se dio una inundación local en el lado derecho del río, al sureste de San Borja, debido al torrencial aguacero que se dio aguas arriba. La inundación llegó hasta los ríos Curiraba y Curirabita, por lo que esta inundación local tuvo una duración de diez días.

La profundidad máxima del agua presenta una diferencia de nivel entre la estación seca y la lluviosa de 8.0 m.

(2) Cuenca del Río Apere

La cuenca fluvial del río Apere consiste en los ríos Curiraba, Curirabita, Matos, Chebejecure, Museruna, Mururita, Cuberene y Apere. La cuenca de captación, longitud del río y pendiente longitudinal de la cuenca fluvial del río Apere son 7,120 km², 220 km y 1/5,000, respectivamente. El ancho del cauce de la cuenca fluvial oscila entre 20 y 80 m. Las condiciones de la cuenca del río son relativamente estables debido al agua clara (color de humus) que transporta, la cual contiene menos cargas traccionales y en suspensión.

Debido a que los cursos de agua de la cuenca fluvial del río Apere toman una dirección de aproximadamente 30 km hacia el este debido a la micro saliente insular, el flujo de los ríos se restringe alrededor de la carretera del proyecto durante la estación seca. Una retro-ciénaga de aproximadamente 40 km de ancho y 30 km de longitud se forma aguas arriba de la cuenca fluvial.

Durante la estación seca, la cuenca fluvial del río Apere ocasiona periódicamente una inundación en la parte central de los ríos y alrededor de la carretera del proyecto. El área de inundación se estima en aproximadamente 1,300 km². La profundidad máxima de cada río presenta una diferencia de nivel entre la estación seca y la estación lluviosa que oscila entre 3.4 y 9.5 m.

(3) Cuenca del Rfo Tijamuchi

La cuenca de captación, longitud de río, ancho del cauce y pendiente longitudinal de la cuenca fluvial de este río son de 6,260 km², 290 km, 90 m y 1/17,000 respectivamente. Las condiciones del cauce del río son relativamente estables, mostrando agua clara (color de humus).

Debido a que los cursos de agua de la cuenca fluvial del río Apere toman una dirección de aproximadamente 60 km hacia el este debido a la micro saliente insular, el flujo de los ríos es restringido alrededor de la carretera del proyecto durante la estación seca, y la enorme retro-ciénaga de aproximadamente 60 km de ancho y 80 km de longitud se forma aguas arriba de la cuenca fluvial.

La cuenca fluvial del río Tijamuchi ocasiona periódicamente una inundación durante la estación seca, y la zona de inundación se une a la zona de inundación de la cuenca fluvial del río Mamoré. El área de inundación de la cuenca fluvial del río Tijamuchi se estima en aproximadamente 2,550 km². La profundidad máxima de cada río presenta una diferencia de nivel entre la estación seca y la estación lluviosa de hasta 14.2 m.

(4) Cuenca del Rfo Mamoré

El río Mamoré es el río más largo de Bolivia. La cuenca de captación, longitud del río, ancho del cauce y pendiente longitudinal de la cuenca fluvial del mismo son de 166,400 km², 2,200 km, 420 m y 1/22,000 respectivamente. Las condiciones del cauce del río varían extremadamente debido al enorme volumen del flujo, el cual contiene agua turbia con muchas cargas traccionales y en suspensión. Numerosos lagos crecientes de diversa escala están distribuidos dentro de la zona de inundación y la zona de diques naturales.

El curso de agua del río Mamoré ha cambiado intensamente alrededor del área del proyecto, dentro de un límite de diez kilómetros de ancho, tal como se muestra en la Figura 6-4-3. Los cambios de los serpenteos de dicho río en un período de 27 años, de 1958 a 1985, se presentaron dentro de un límite de aproximadamente 5.0 km de ancho y 5.5 km de longitud de olas. La velocidad del serpenteo se estima que es de aproximadamente 125 m por año en dirección aguas abajo.

La cuenca fluvial del río Mamoré ocasiona periódicamente una enorme inundación durante la estación lluviosa. El área de inundación se estima en aproximadamente 14,200 km². La profundidad máxima del río presenta una diferencia de nivel entre la estación seca y la lluviosa hasta de 19.2 m.

El río Mamoré se utiliza siempre como principal vía fluvial para el transporte.

(5) Cuenca del Río Ibare

La cuenca de captación, longitud de río, ancho del cauce y pendiente longitudinal de la cuenca fluvial del río Ibare son de 6,720 km², 280 km, 90 m y 1/19,000 respectivamente. Las condiciones del cauce del río son relativamente estables, mostrando agua clara de color de humus.

La cuenca fluvial del río Ibare ocasiona periódicamente una inundación durante la estación seca debido al desborde del río Mamoré, y la zona de inundación se une a la zona de inundación de la cuenca fluvial del río Mamoré. El área de inundación de la cuenca fluvial del río Ibare se estima en aproximadamente 2,550 km². La profundidad máxima del río presenta una diferencia de nivel entre la estación seca y la estación lluviosa que alcanza los 14.2 m.

El río Ibare se utiliza como una vía fluvial para el transporte desde el río Mamoré a Trinidad. El color del agua durante la estación seca, al igual que para la estación lluviosa, es blanco-pardusco como de agua turbia.

6.4.2 Area de Inundación

La Figura 6-4-4 muestra el área de inundación alrededor del área del proyecto, la cual fue investigada durante la investigación de campo, utilizando imágenes del Sensor Óptico (OPS) de JERS-1 y LANDSAT e imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar) de JERS-1. Aunque el período de estación seca alrededor del área del proyecto se presenta entre noviembre y marzo, tal como se muestra en la Figura 6-4-4, las inundaciones en el área del proyecto generalmente se presentan de diciembre a mayo.

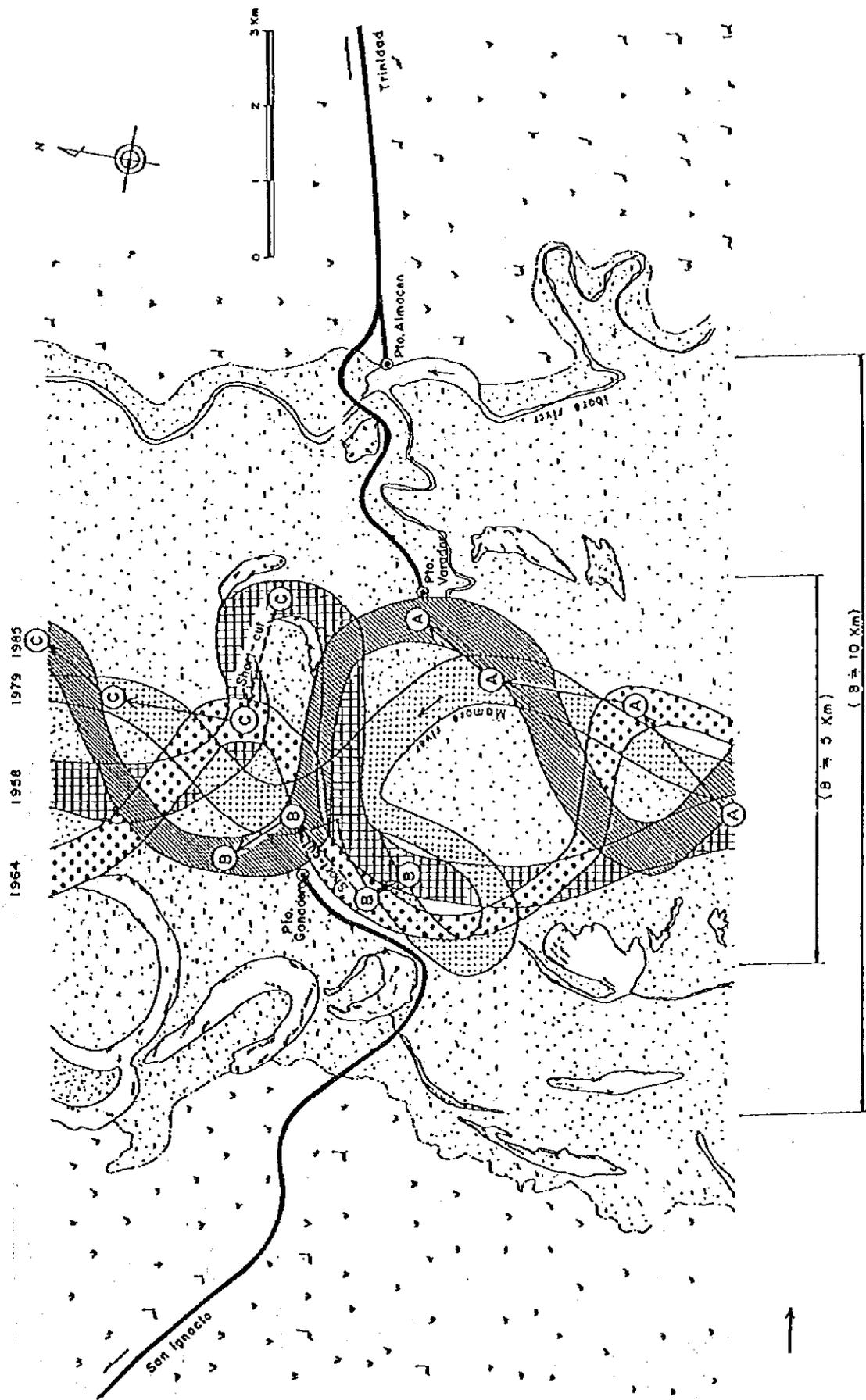


Figura 6-4-3 Curso de Agua del Río Mamoré

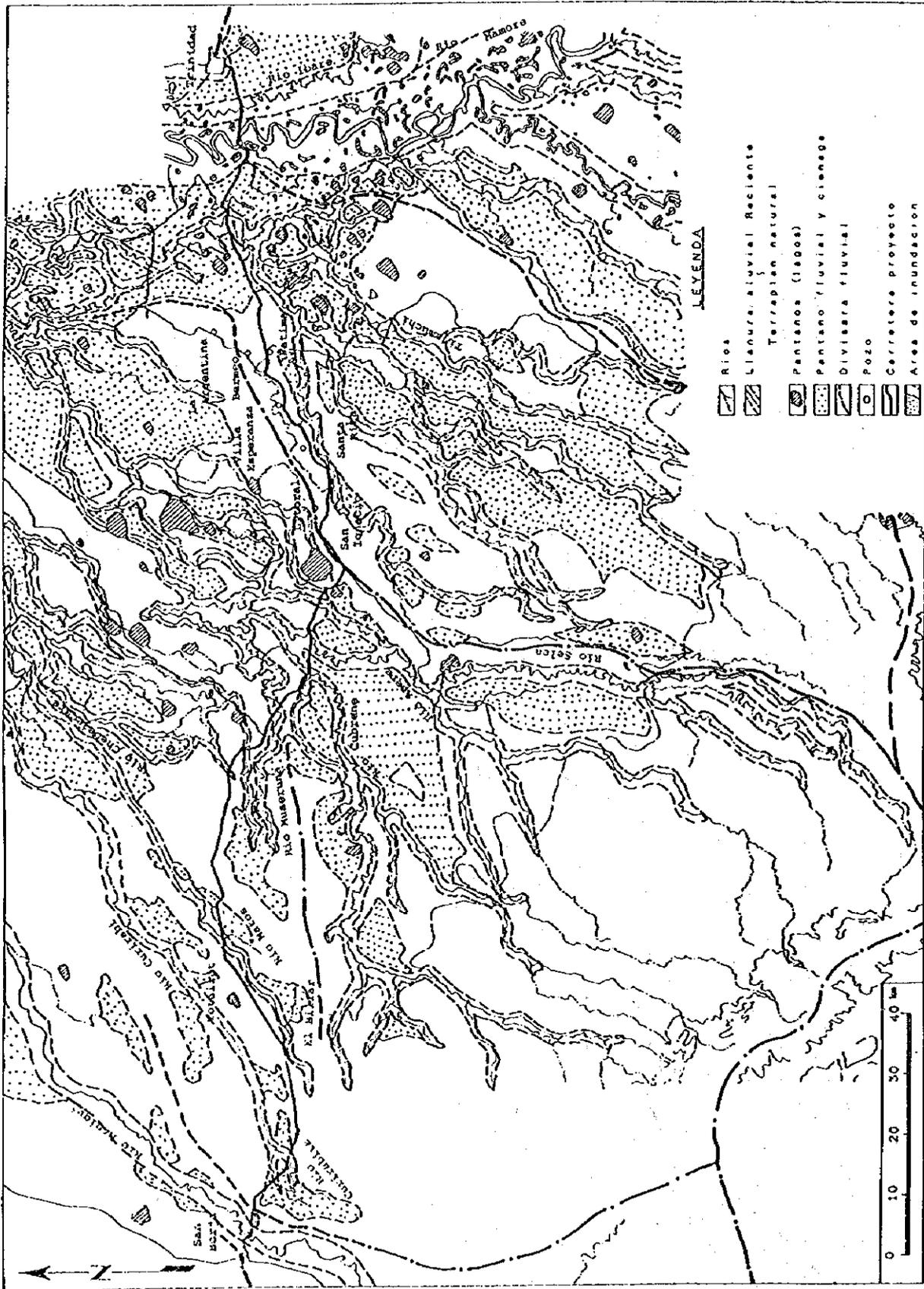


Figura 6-4-4 Area de Inundaciones en el Area del Proyecto

Las zonas de inundación se dividen en dos áreas, la cuenca fluvial del río Apere y el área total que comprende los ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare. La primera consta de aproximadamente 1,300 km² y la segunda, de aproximadamente 19,670 km².

La dirección del flujo de la inundación y del agua del río se muestran en la Figura 6-4-5. El agua superficial del tramo de la carretera entre San Ignacio y Fátima corre en dirección sur sobre una pendiente muy suave al sur de la micro saliente insular.

La dirección del flujo de la zona de inundación de los ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare toma dos direcciones durante la estación lluviosa, las cuales son hacia el oeste y este, dándose el desborde de los ríos Mamoré e Ibare, como se muestra en la Figura 6-4-6. El nivel de agua del río Mamoré durante el tiempo de inundación es varias decenas de centímetros más alto que el nivel del río Ibare y aproximadamente 110 cm mayor que el nivel del río Tijamuchi.

(I) Caudal o Gasto de la Zona de Inundación

La variación secular del nivel de agua en el Puerto Varador del río Mamoré se muestra en la Figura 6-4-7 y el caudal que los ríos tuvieron durante la estación lluviosa (tiempo de inundación) se muestra en la Figura 6-4-8. El caudal que cada río tuvo durante 1986 y 1995 se muestra en la Tabla 6-4-4.

Tabla 6-4-4 Fórmula del Caudal de los Ríos y Áreas de Inundación

Nombre del Río-Tramo Carretero	Caudal (m ³ /s)	Fórmula Utilizada para el Cálculo del Caudal	Observaciones
1. Río Curirabita	1.9		enero de 1995
2. Río Curiraba	0.3		- ídem -
3. Río Matos	19.1		- ídem -
4. Río Chebejccure	7.5		- ídem -
5. Río Mururita	11.3		- ídem -
6. Río Cuberene	83.3		- ídem -
7. Río Apere	80.7		- ídem -
8. Fátima - Río Tijamuchi	345.0	$Q = 35 (H - 149.6)^2$	abril de 1986
9. Río Tijamuchi	480.0	$Q = 26 (H - 150.2)^2$	- ídem -
10. Tijamuchi - Este del Río Mamoré	175.0	$Q = 30 (H - 133.7)^2$	- ídem -
11. Este del Río Mamoré - Río Mamoré	1,290.0	$Q = 20 (H - 152.8)^2$	- ídem -
12. Río Mamoré	8,240.0	$Q = 11 (H - 151.0)^2$	- ídem -
13. Río Mamoré - Río Ibare	50.0	$Q = 32 (H - 141.5)^2$	- ídem -
14. Río Ibare	800.0	$Q = 71 (H - 142.7)^2$	- ídem -
15. Río Ibare - Trinidad	90.0	$Q = 95 (H - 145.3)^2$	- ídem -

Fuente : "Estudio de Mejoramiento de la Carretera entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia", Informe Final, 1987, JICA

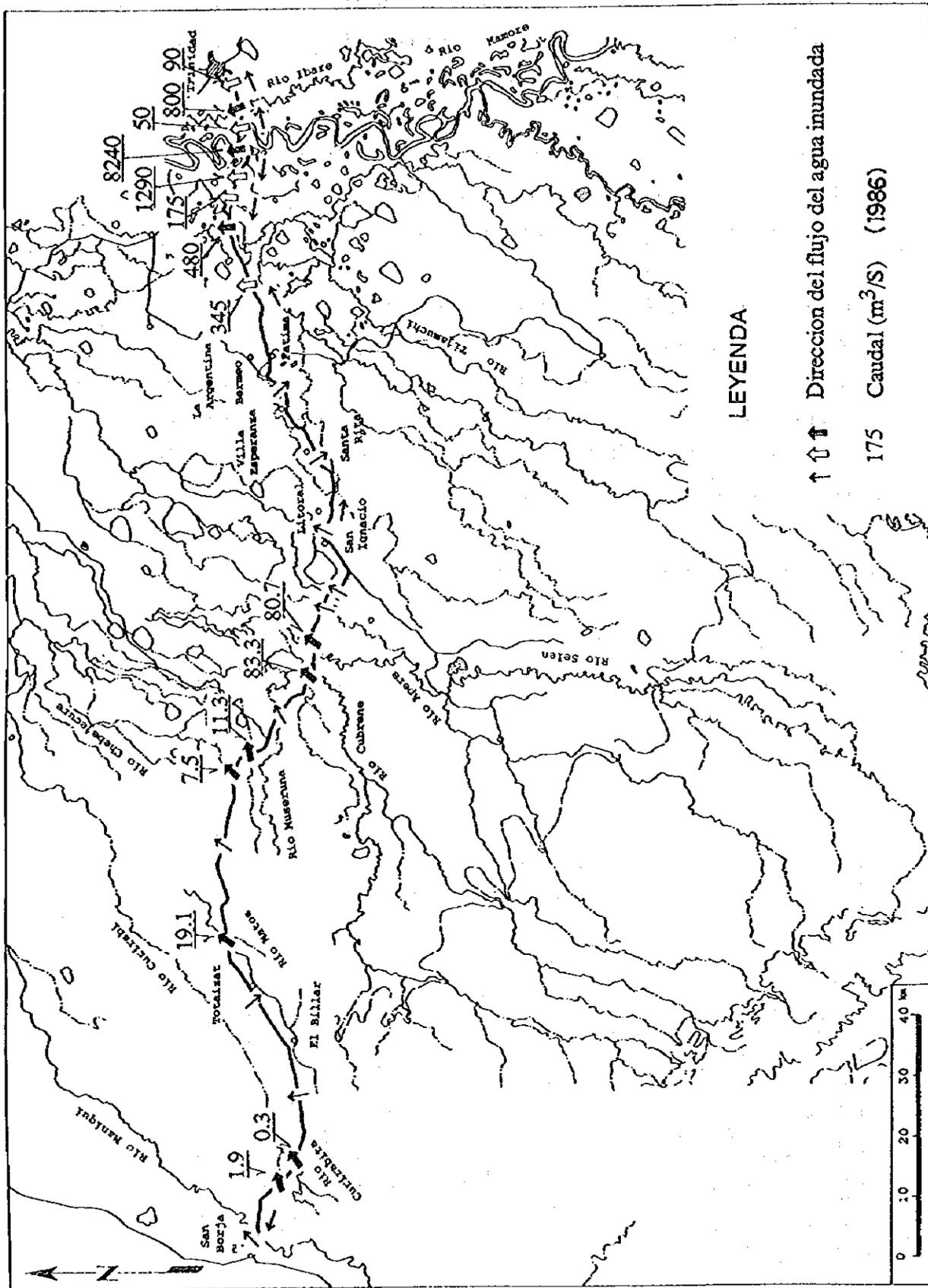


Figura 6-4-5 Dirección del Flujo de Agua Superficial

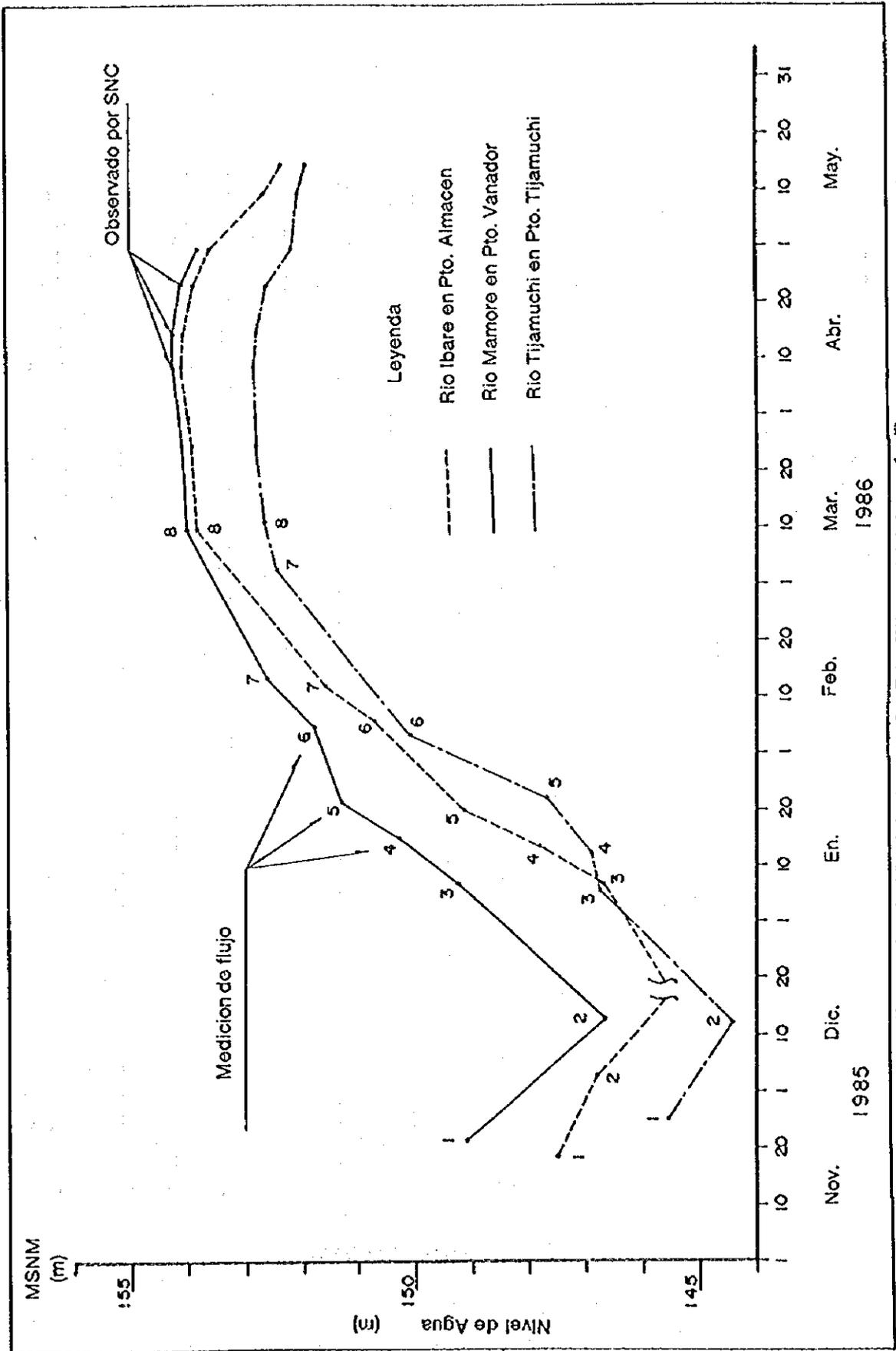


Figura 6-4-6 Nivel de Agua en los Ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare

LIMNIGRAMA: PTO. VARADOR/92/93/94/95
"SEMENA" RIO: MAMORE

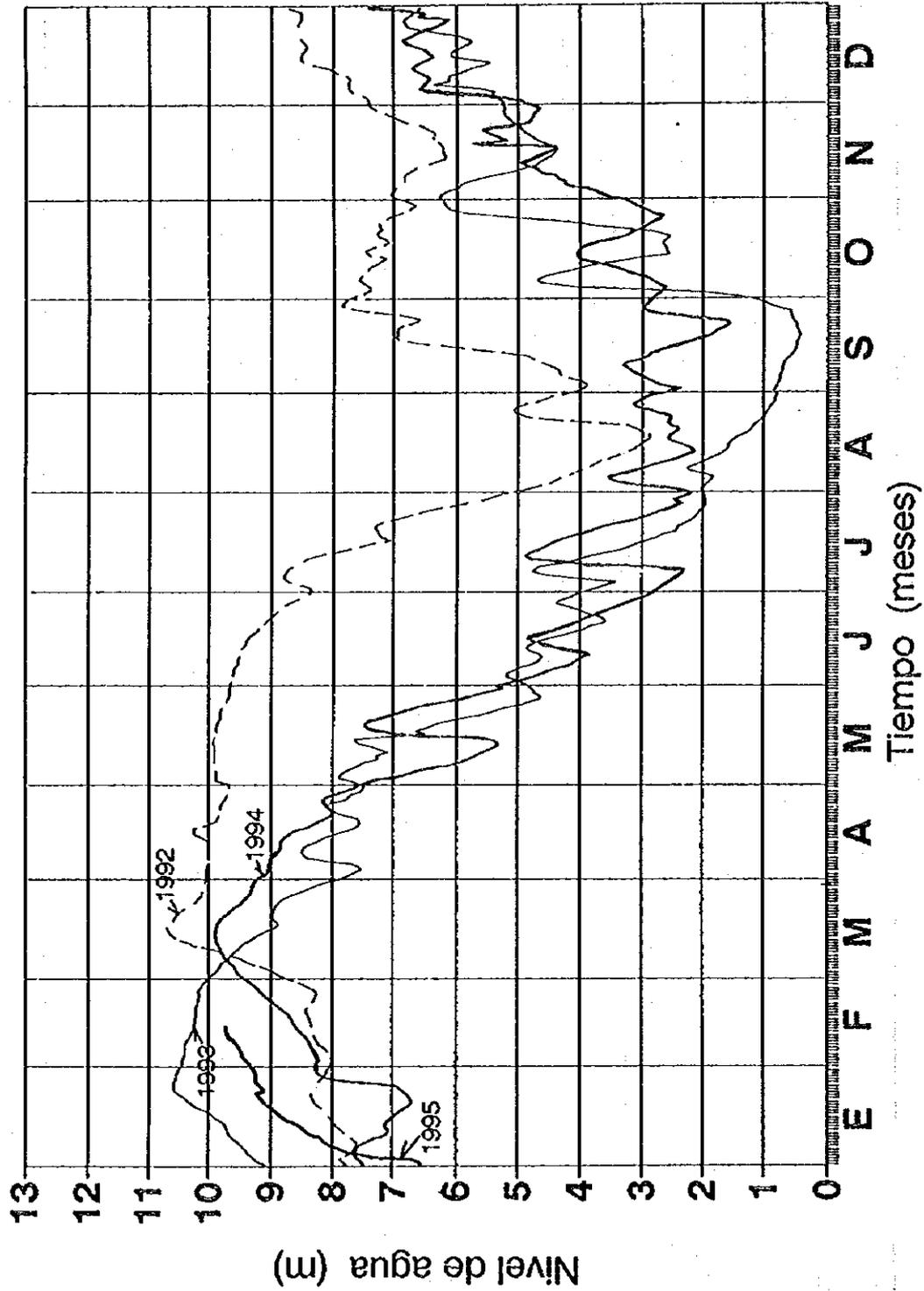


Figura 6-4-7 Variación Secular del Puerto Varadero

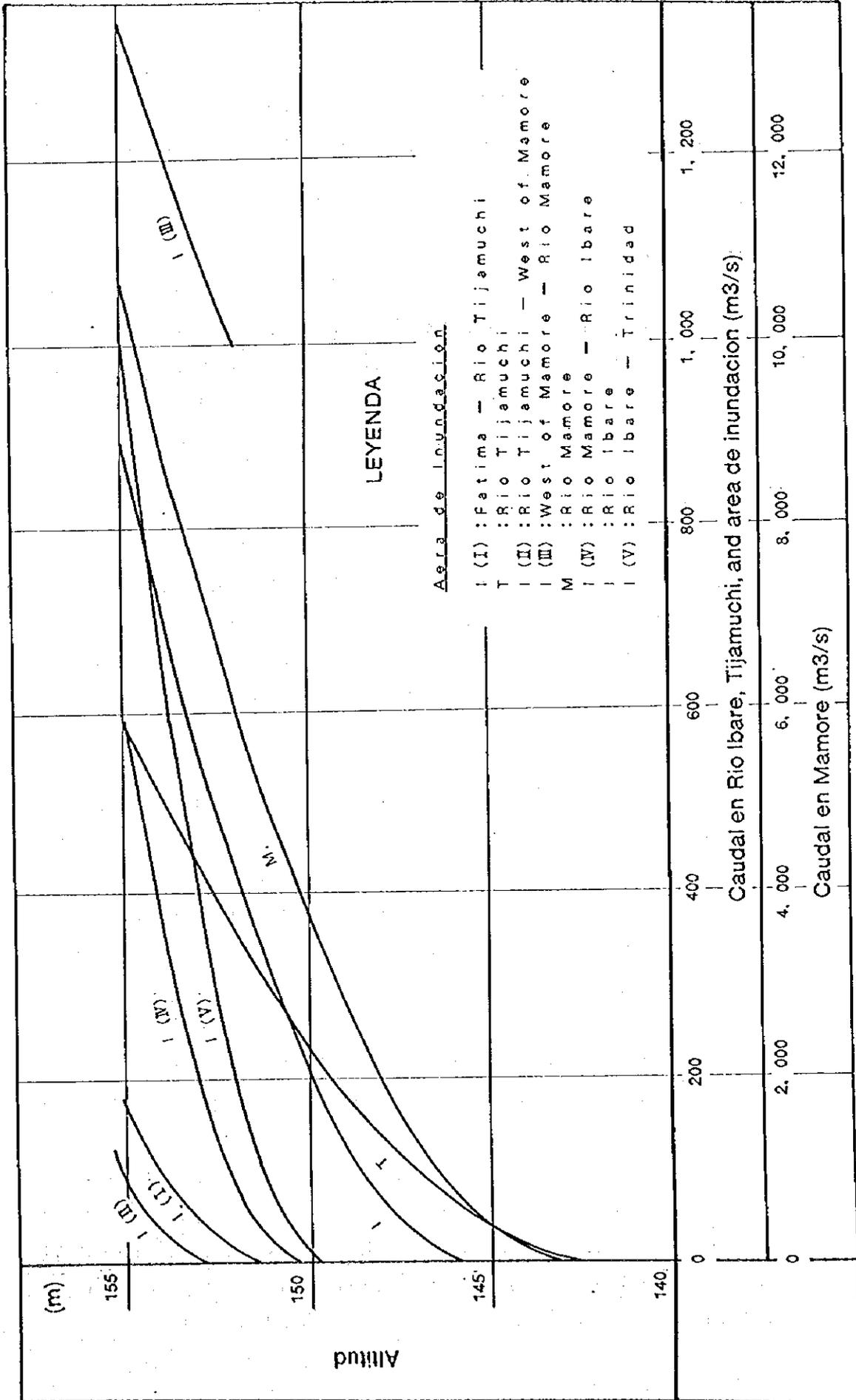


Figura 6-4-8 Caudal de los Ríos y Areas de Inundación en el Area del Proyecto

El caudal de la cuenca fluvial del río Apere fue de 204.1 m³/s en enero de 1995. El caudal de las cuencas de los ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare fue de 14,470 m³/s en abril de 1986, aproximadamente setenta veces mayor que el caudal de la cuenca fluvial del río Apere.

(2) Ocurrencia del Area de Inundación

Las áreas de inundación de las cuencas fluviales de los ríos Apere, Tijamuchi e Ibare se presentan periódicamente. El área de inundación de las cuencas fluviales de los ríos Tijamuchi, Mamoré e Ibare se unen debido al desborde del río Mamoré. Las áreas periódicas de inundación se componen topográficamente de las zonas de retro-ciénagas y de los cursos de drenaje del agua de inundación.

Las zonas de retro-ciénagas están situadas en la parte central y alta de los ríos, las cuales se forman por el estancamiento del drenaje del río debido a la micro saliente insular, tal como se muestra en la Figura 6-2-3. Supuestamente, el tamaño de la zona de retro-ciénagas depende del tamaño de la micro saliente, por lo que la zona de retro-ciénagas de la cuenca fluvial del río Apere es menor que la de las cuencas fluviales de los ríos Tijamuchi e Ibare.

El drenaje del agua proveniente de las inundaciones está ubicado en la parte inferior de las zonas de retro-ciénagas, correspondiente a la ruta de la carretera del proyecto, donde se forma un cuello de tortuga. Por lo tanto, la inundación localizada alrededor de la carretera del proyecto se ocasiona espontáneamente por el estrecho curso de agua. Se asume que la inundación en el área del proyecto aparece y desaparece de acuerdo al siguiente proceso:

- ① Al inicio de la estación lluviosa, el nivel de agua localizado aguas arriba de los ríos aumenta gradualmente debido a la precipitación pluvial (aproximadamente en noviembre).
- ② A medida que el efluente localizado aguas arriba de los ríos aumenta en mayor intensidad que la capacidad de drenaje del río en los sitios donde se producen cuellos de tortuga, formados por la micro saliente insular alrededor de la carretera del proyecto, el nivel de agua localizado aguas arriba de los ríos se eleva aún más y, por consiguiente, se llenan los cauces de los ríos (noviembre y diciembre).

- ③ Ya que el incremento del nivel de agua de los ríos se desborda y fluye hacia lagos crecientes existentes en la zona de inundación del río correspondiente y en zonas de retro-ciénagas del agua residual proveniente de las cuencas de los ríos Apere, Tijamuchi, Mamoré e Ibare (diciembre).
- ④ En el caso del río Maniqui, donde no existe una suficiente zona de retro-ciénagas, ocurre una inundación local debido al efluente de fuertes lluvias ocurridas aguas arriba, la cual ocurre repentinamente al sur de San Borja.
- ⑤ En el caso del río Mamoré, la cota del nivel de agua ubicado alrededor de la carretera del proyecto alcanza un máximo de hasta 154.7 m, debido a la acumulación de agua residual. El nivel de agua del río Mamoré alcanza un máximo de 1.1 m mayor que el del río Tijamuchi y 0.1 m mayor que el del río Ibare. Por lo tanto, el agua de del río Mamoré se desborda hacia las cuencas de los ríos Tijamuchi e Ibare (diciembre a enero).
- ⑥ Como el agua del río Mamoré es turbia y contiene muchas cargas traccionales y cargas en suspensión, es posible observar la mezcla de ésta con el agua de los ríos Tijamuchi e Ibare, que contienen agua clara y húmica.
- ⑦ A medida que aumenta el agua residual, el nivel de agua del área inundada se eleva y se produce una enorme área inundada (enero a marzo).
- ⑧ Ya que el caudal correspondiente a las aguas arriba de los ríos disminuye debido a la finalización de la estación lluviosa, el nivel de agua del área inundada baja gradualmente debido a que el caudal en las aguas abajo es mayor que la del afluente de la parte superior del río.
- ⑨ Finalmente, el proceso de desaparición del área inundada se desarrolla en forma contraria al orden de aparición de la misma (marzo a mayo).

6.4.3 Cargas en Suspensión de los Ríos

La Tabla 6-4-5 muestra los sólidos en suspensión (SS) de los principales ríos, Maniqui, Matos, Apere, Tijamuchi y Mamoré, durante las estaciones seca y lluviosa. La relación existente entre los sólidos en suspensión y la turbiedad se muestra en la Figura 6-4-9. Es posible calcular el valor de SS según la turbiedad de otros ríos.

Tabla 6-4-5 Sólidos en Suspensión (SS) y Turbiedad de los Principales Ríos

Nombre del Río	Estación Seca		Estación Lluviosa	
	SS (mg/l)	Turbiedad	SS (mg/l)	Turbiedad
1. Río Maniqui	864.9	< 999	53.7	177
2. Río Matos	48.2	8	20.9	202
3. Río Apere	60.3	238	31.8	266
4. Río Tijamuchi	53.7	8	180.2	413
5. Río Mamoré	146.7	482	89.4	92

Fuente : Misión de estudio

(1) Cargas en Suspensión Totales de los Ríos

Las cargas en suspensión totales de los ríos se calcularon utilizando la siguiente fórmula:

(Condiciones de cálculo para cargas en suspensión)

$$TSL = \sum_{i=1}^n (2,592 \times D_i \times T_i \times S_i) + \sum_{j=1}^m (2,592 \times D_j \times T_j \times S_j)$$

donde,

- TSL : Total de cargas en suspensión (ton)
- D : Caudal (m³/s)
- T : Tiempo (seg)
- S : Sólidos en suspensión (mg/l)
- i(n) : Número de meses de la estación lluviosa durante el año hidrológico (mayo a octubre, 6 meses)
- j(m) : Número de meses de la estación seca durante el año hidrológico (noviembre a abril, 6 meses)

El resultado del cálculo de cargas en suspensión se muestra en la Tabla 6-4-6. Se asume que el total de estas cargas en los ríos del área del proyecto es de aproximadamente 5.15 × 10⁶ toneladas por año. Las cargas en suspensión del río Mamoré son de aproximadamente 3.40 × 10⁶ toneladas por año, equivalente a aproximadamente el 66% del área total del proyecto. Las cargas en suspensión del río Maniqui también presentan un porcentaje alto, siendo aproximadamente del 31%.

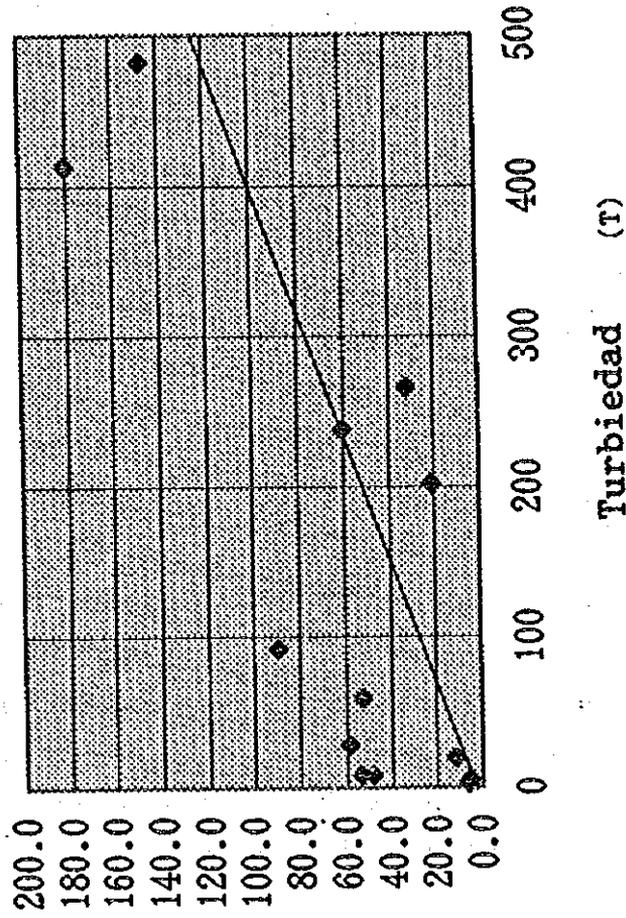
(2) Influencia del Río Mamoré Sobre el Río Tijamuchi

El agua fluvial del área inundada del río Mamoré se desborda al área inundada del río Tijamuchi. El agua del río Mamoré es turbia (de color blanco pardusco), diferente al agua de color café (húmica) del río Tijamuchi.

Turbiedad y Solidos suspendido

Nombre de Rio	Fecha	Turbiedad	SS (mg/l)
Maniqui	20/2/95	177	53.7
Curirabita	20/2/95	5	5.4
Matos	22/2/95	8	48.2
	24/6/95	202	20.9
Chevejecure	24/6/95	2	6.0
Museruna	25/6/95	19	11.6
Apere	22/2/95	238	60.3
	25/6/95	266	31.8
Tijamuchi	23/2/95	8	53.7
	25/6/95	413	180.2
Mamore	23/2/95	92	89.4
	25/6/95	482	146.7
Ibare	23/2/95	28	58.6

Sólidos suspendido (SS)



Línea de regresión
 $SS = 0.2399 T + 2.5261$

Figura 6-4-9 Relación Existente entre Turbiedad y Sólidos en Suspensión

Tabla 6-4-6 Resultado del Cálculo de Sólidos en Suspensión (SS) y Cargas en Suspensión de los Ríos*1

Nombre del Río	Sólidos en Suspensión (mg/l)		Cargas en Suspensión (Ton/año)
	Est. Lluviosa	Est. Seca	
1. Río Maniqui*2	864.9	52.7	1,608,848
2. Río Curiraba	9.2	16.4	54
3. Río Curirabita	5.4	8.0	5
4. Río Matos	48.2	20.9	2,404
5. Río Chebejecure	6.0	5.9	128
6. Río Museruna	10.7	4.0	122
7. Río Cuberene	28.9	35.6	6,662
8. Río Apere	60.3	31.8	13,264
9. Río Tijamuchi	53.7	180.2	85,216
10. Río Mamoré	146.7	89.4	3,395,079
11. Río Ibare	16.4	31.3	36,642
Total			5,148,424

Nota : *1 Para el caudal de ríos cuyos datos de caudal no son disponibles, se supone que son equivalentes a un décimo del caudal que se da en la época lluviosa.

*2 El caudal del río Maniqui es 709 m³/seg.

Fuente : Misión de estudio

Se puede observar la mezcla del agua fluvial de los ríos Mamoré y Tijamuchi debido al color del agua y su turbiedad. La Figura 6-4-10 muestra los resultados de la medición de la turbiedad del agua de dichos ríos y las cargas en suspensión calculadas. Los sólidos en suspensión del río Mamoré depositados en la cuenca del río Tijamuchi. Se supone que los mismos están restringidos a varios kilómetros del límite entre ambas cuencas fluviales, por lo que la influencia de dichas cargas sobre la cuenca fluvial del río Tijamuchi es pequeña.

(3) Sedimentación en las Areas de Inundación

Se detectó sedimentación causada por las inundaciones en la cuencas de los ríos Ibare, Mamoré y Tijamuchi. La sedimentación de la cuenca del río Tijamuchi es muy escasa alrededor del río y casi no se puede apreciar. Se supone que el agua de la llanura de la cuenca del río Tijamuchi es agua de color café (húmica) que incluye una pequeña cantidad de sólidos en suspensión. La sedimentación de las cuencas de los ríos Mamoré e Ibare fue detectada localmente en los alrededores de ambos ríos y entre los mismos. Este sedimento consiste desde lodo arenoso bien fino hasta arcilla arenosa, variando en espesor entre 0.2 mm y 2 mm.

Consecuentemente, se supone que la sedimentación provocada por las inundaciones depende de los sólidos en suspensión del agua de los ríos. La influencia de las cargas en suspensión del río Mamoré descargadas sobre el río Tijamuchi es supuestamente baja.

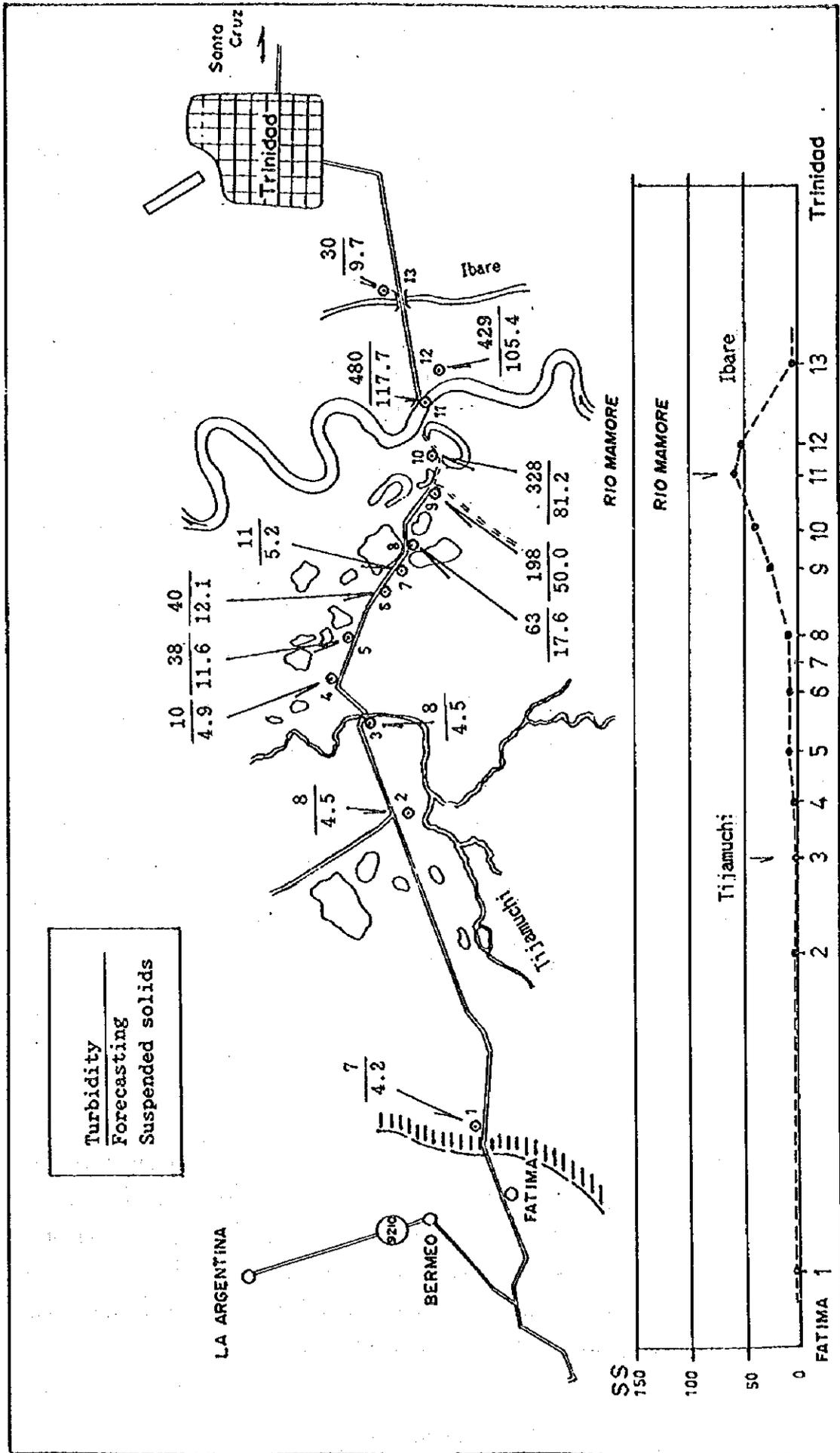


Figura 6-4-10 Resultados de la Medición de la Turbiedad del Agua procedente, del Río Mamoré al Río Tijamuchi

6.4.4 Facilidades de Drenaje para la Carretera

A mediados de 1995, las facilidades de drenaje para la carretera del proyecto consistían de siete puentes, ubicación de 75 unidades de alcantarilla, y cunetas laterales, como se muestra en la Figura 6-1-2.

(1) Puentes

Existen cinco puentes de hormigón construídos sobre los ríos Maniqui, Matos, Museruna, Chebejecure e Ibare (Tabla 6-4-7). Existen otros dos puentes sobre los ríos Curiraba y Curirabita, los cuales son de madera.

Se utilizan barcos de transbordo (ferry-boats) y barcazas para cruzar los ríos Cuberene, Apere, Tijamuchi y Mamoré. El tiempo requerido por el servicio de transbordo entre Puerto Varador y Puerto Ganadero, en el río Mamoré, es de aproximadamente 30 minutos.

Tabla 6-4-7 Puentes en el Area del Proyecto

Nombre del Río	Ubicación*1 (Estación)	Longitud del Puente (m)	Observaciones
1. Río Maniqui	222+800	154.000	3 VCHP*2
2. Río Curiraba	208+825	25.660	Puente de madera
3. Río Curirabita	203+443	20.600	Puente de madera
4. Río Matos	163+535	29.300	3 HA*3
5. Río Museruna	120+990	29.300	3 HA
6. Río Chebejecure	129+125	29.300	3 HA
7. Río Ibare	008+226	180.400	3 VCPH

Note : *1 Distancia desde Trinidad.

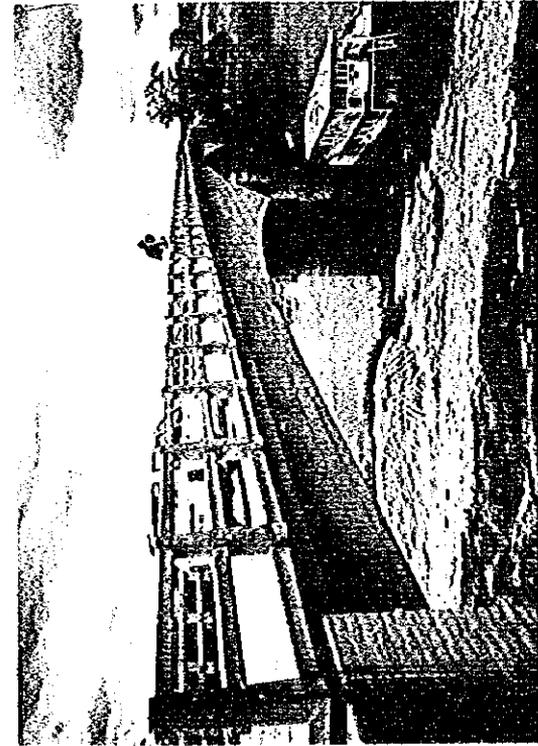
*2 Puente continuo de tres tramos de vigas compuestas de hormigón preesforzado.

*3 Puente continuo de tres tramos de hormigón armado.

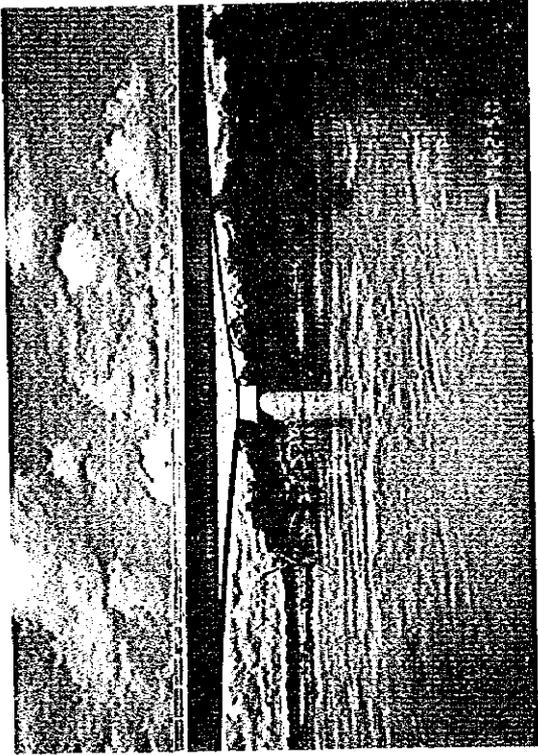
Fuente - "Estudio de Mejoramiento de la Carretera Entre San Borja y Trinidad en la República de Bolivia (Fase II)", Informe Final, 1989, JICA

(2) Alcantarillas

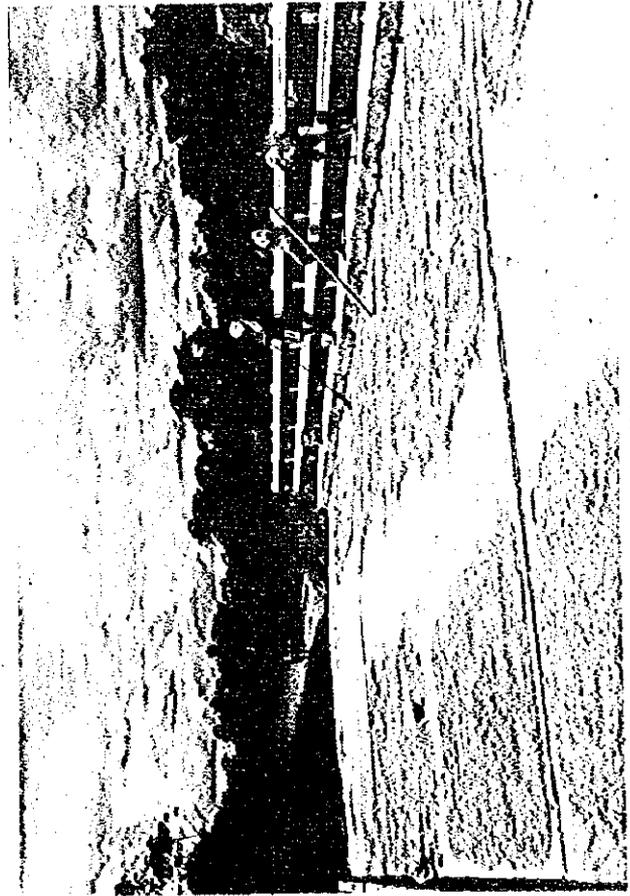
Las facilidades de drenaje utilizadas para cruzar ríos pequeños y arroyos, incluyendo los arroyos Tigre, Tajibo, Almacén, Gregorio, San Juan, etc., consisten principalmente de numerosas unidades de alcantarillas de caños corrugados de acero. El número total de alcantarillas a colocar, así como el número de caños corrugados de acero es de 75 unidades y 117 piezas, tal como se muestra en la Figura 6-1-2. Los caños corrugados de acero tienen principalmente 0.9, 1.2 y 1.5 m de diámetro.



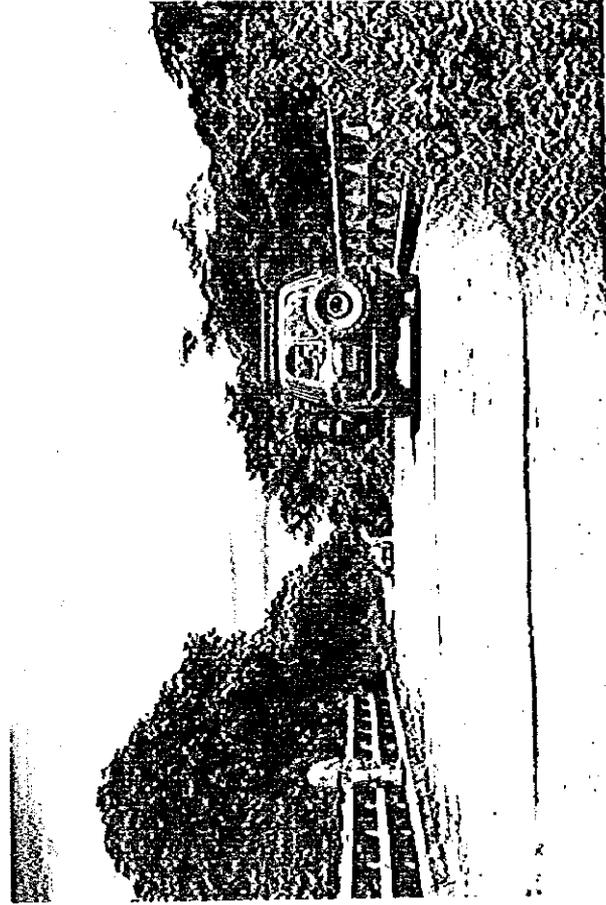
Ibare River



Maniqui River



Museruna River



Chevejecure River

Fotografía 6-4-2 Instalaciones de Drenaje Existentes



Fotografía 6-4-3 Instalaciones de Drenaje Existentes (Caños Corrugados)

Estas facilidades de drenaje, las cuales como se describió anteriormente, consisten de caños corrugados de acero ya usados y que se encuentran en terraplenes de tierra y arena sin protección de taludes, son estructuras inestables. Se ha podido observar que varias de estas alcantarillas durante la estación lluviosa, se rebalsan y por la falta de taludes ocurren fallas del terraplén donde se encuentran las mismas.

Durante la estación lluviosa el tramo de la carretera entre el este de Fátima y Trinidad está completamente inundado, por lo que en la mayoría de los caños corrugados de acero se dan diferencias del nivel de agua entre la corriente aguas arriba y la corriente aguas abajo, en un rango que oscila entre varios centímetros hasta diez o más, debido al agua estancada de la corriente aguas arriba, hecho por el cual se supone que la capacidad de descarga actual de los caños o tuberías corrugadas de acero no es suficiente.

(3) Cunetas Laterales

En la mayor parte de la carretera del proyecto se construyeron terraplenes, cuyos niveles de altura oscilan entre 0.3 y 3.0 m, producto de los préstamos laterales en ambos lados. Como resultado, se construyeron a su vez bancos de préstamo continuos con un ancho que varía entre los 10 y 30 m en ambos lados de la carretera. Estos bancos o zanjas de préstamo generalmente se encuentran cubiertos de agua residual, funcionando como cunetas laterales, a pesar que los mismos no fueron construídos con ese fin.

El agua de los bancos de préstamo es utilizada generalmente como agua potable para el consumo de animales domésticos durante la estación seca.