

Fig. 6.4 Mapa Geológico de la Cuenca del Río Torola

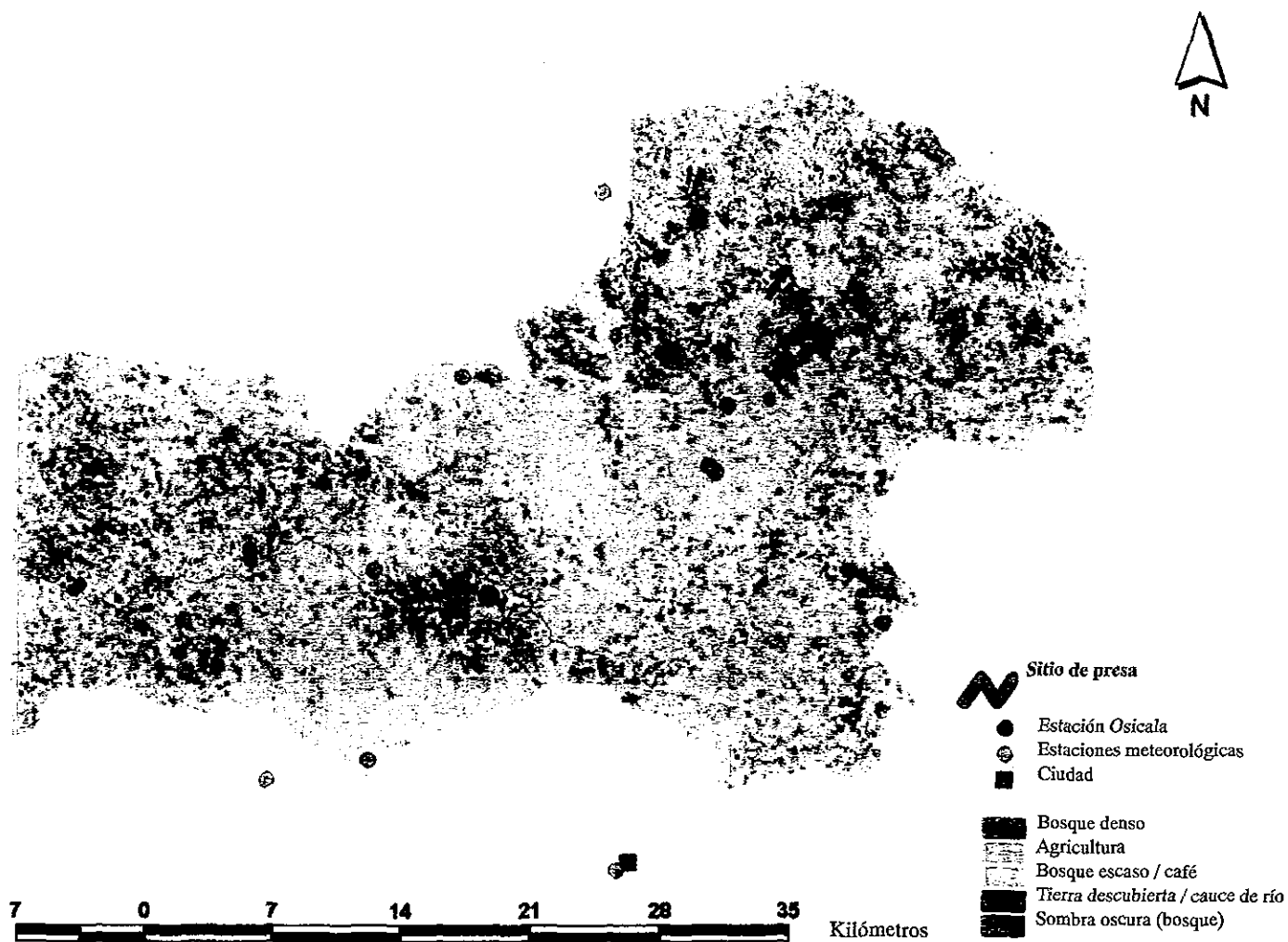


Fig. 6.5 Mapa de Vegetación de la Cuenca del Río Torola

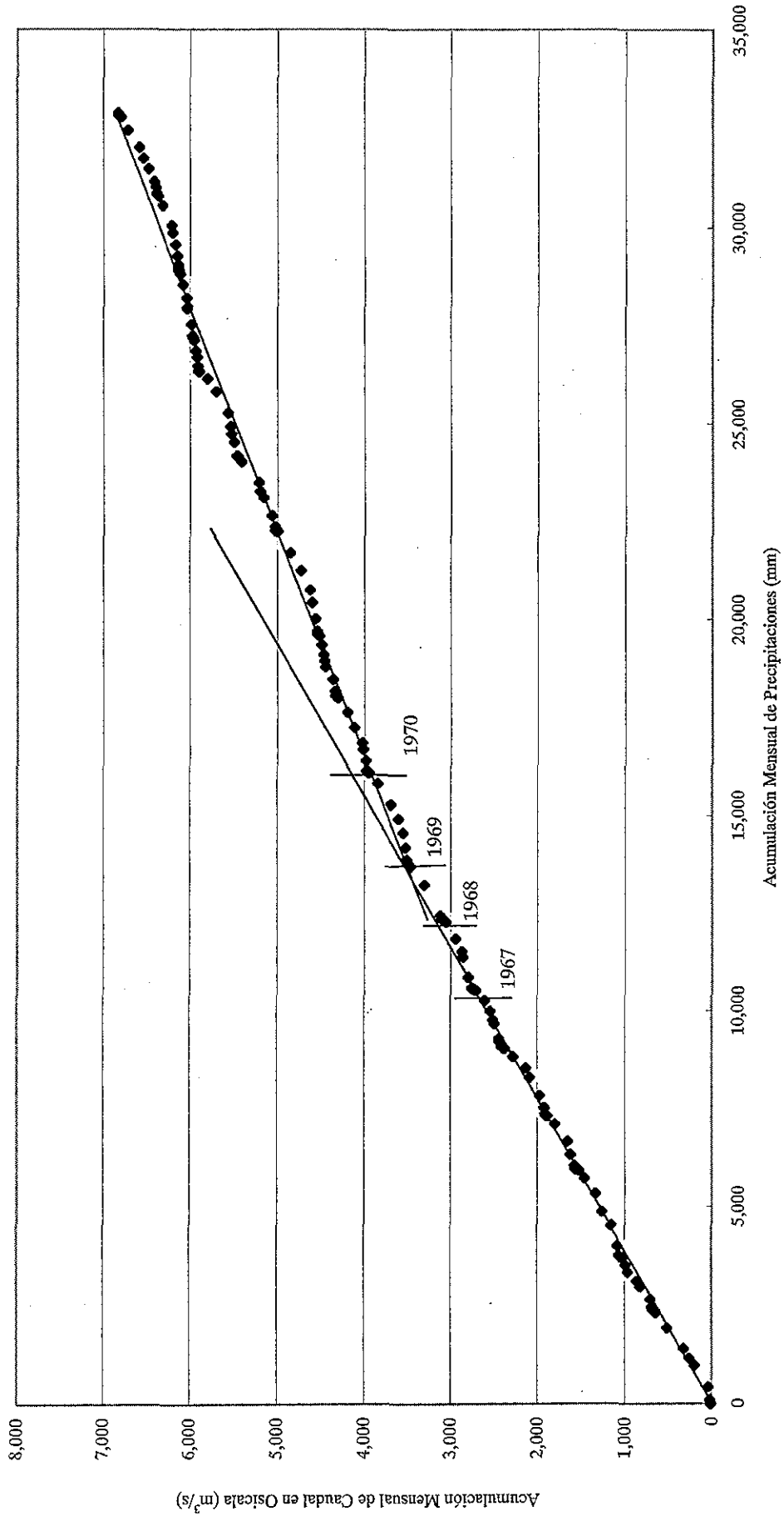


Fig. 6.6 Curva de Doble masa entre Precipitaciones y Caudal en Osisca

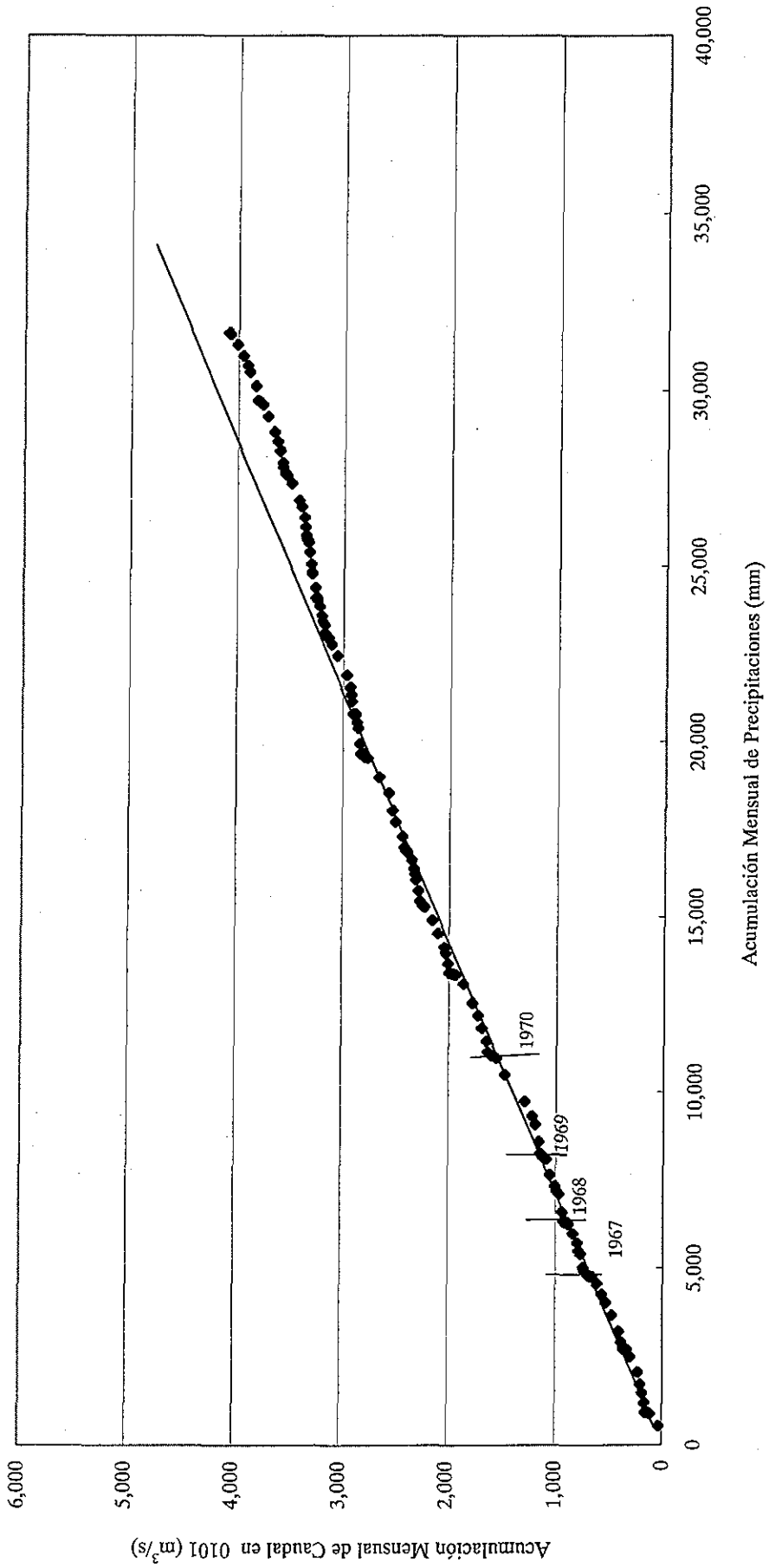


Fig. 6.7 Curva de Doble masa entre Precipitaciones y Caudal en 0101

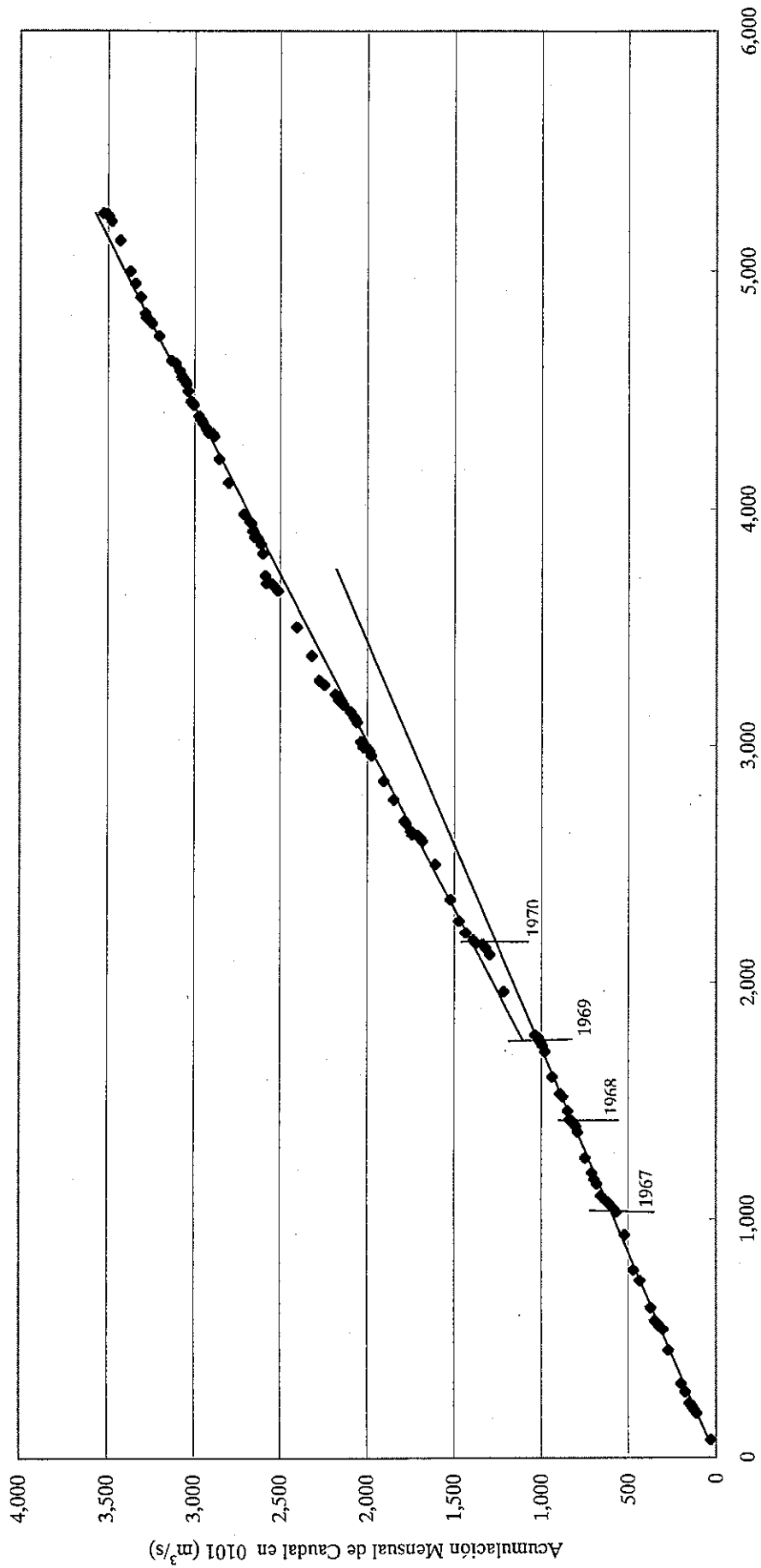


Fig. 6.8 Curva de Doblemasa de Caudal entre Osicala y 0101

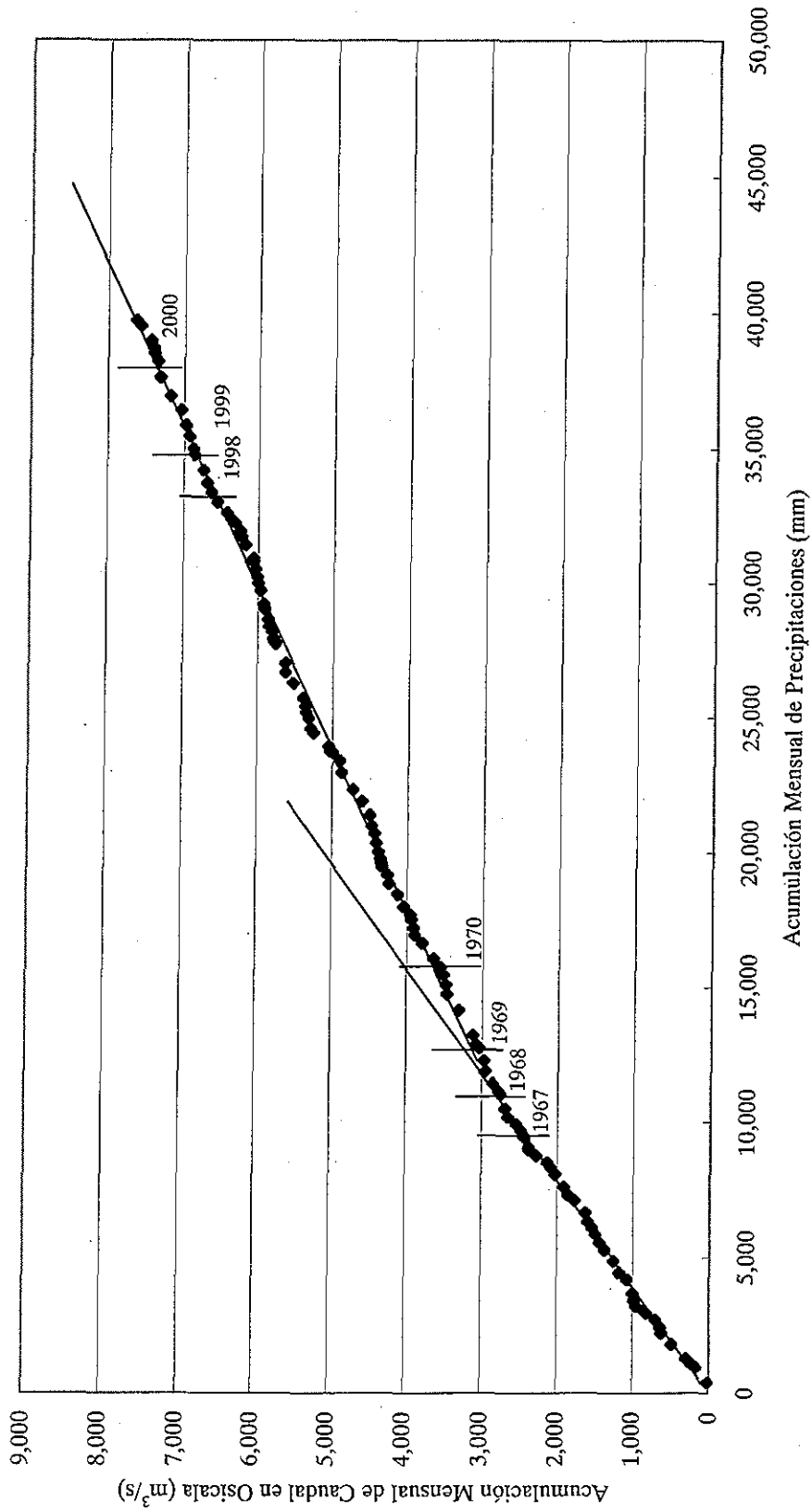


Fig. 6.9 Curva de Doble masa entre Precipitaciones y Caudal en Osicá

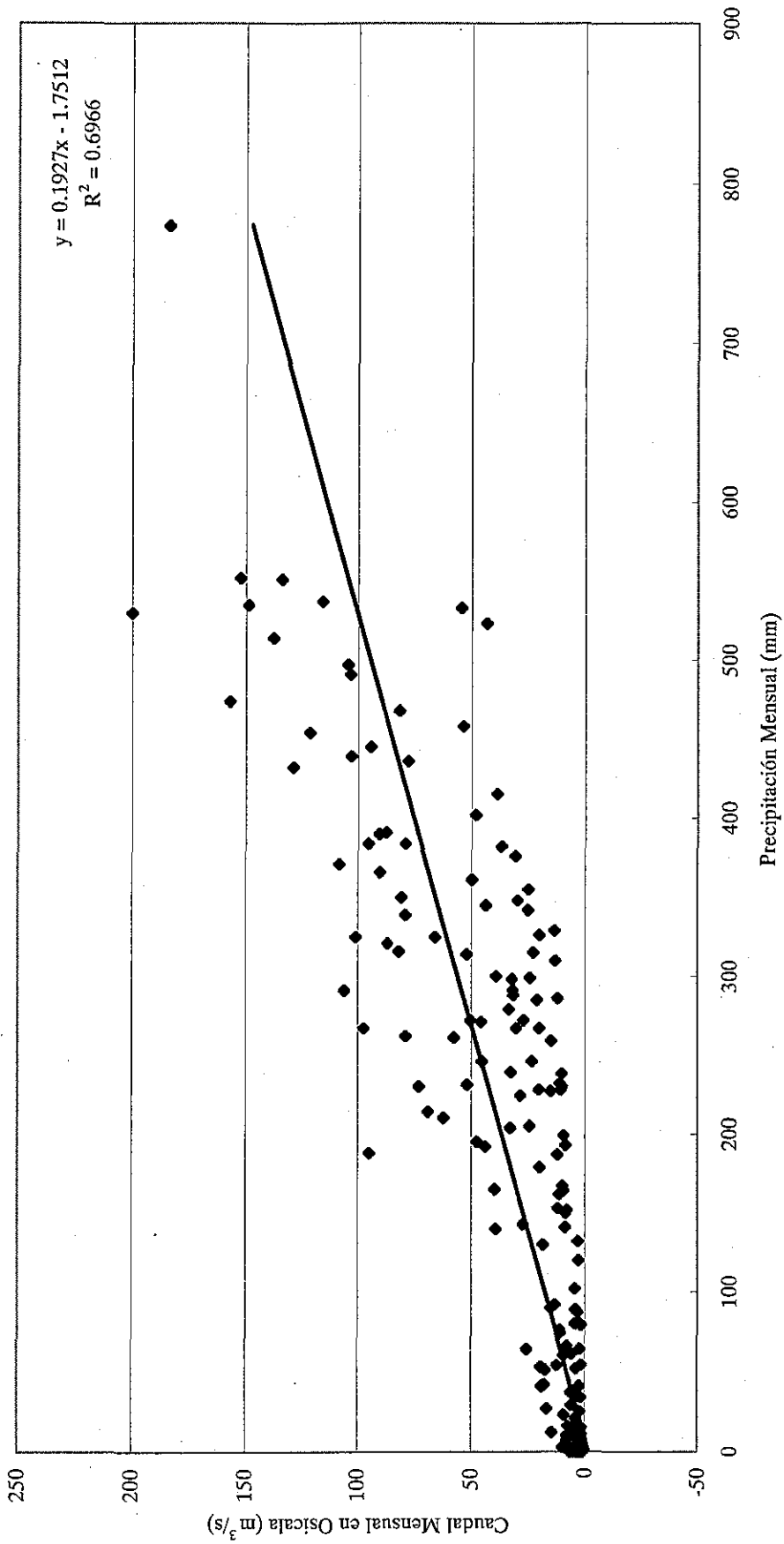


Fig. 6.10 Correlación entre Precipitaciones y Caudal

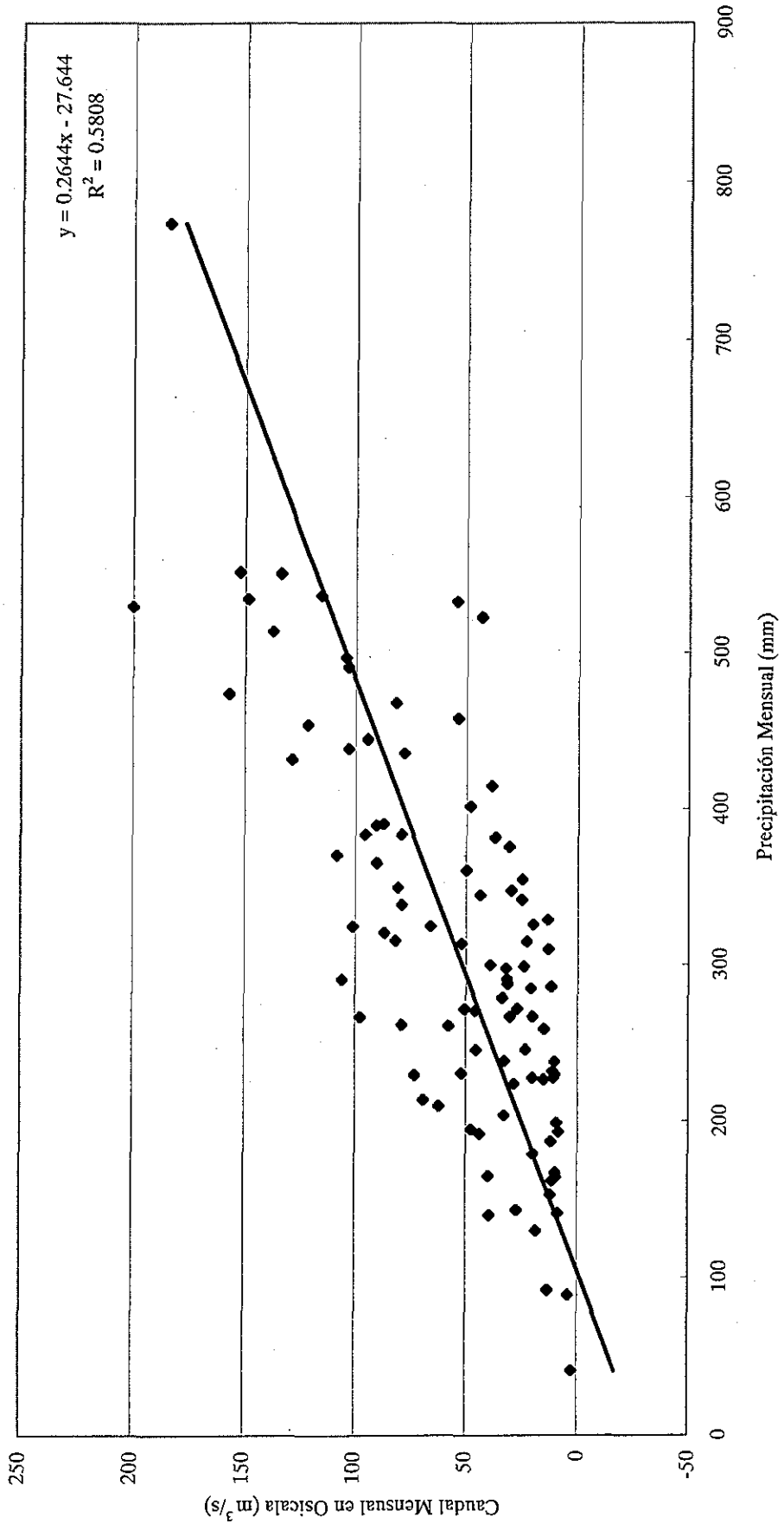


Fig.6.11 Correlación entre Precipitación y Caudal durante la Epoca de Lluvias

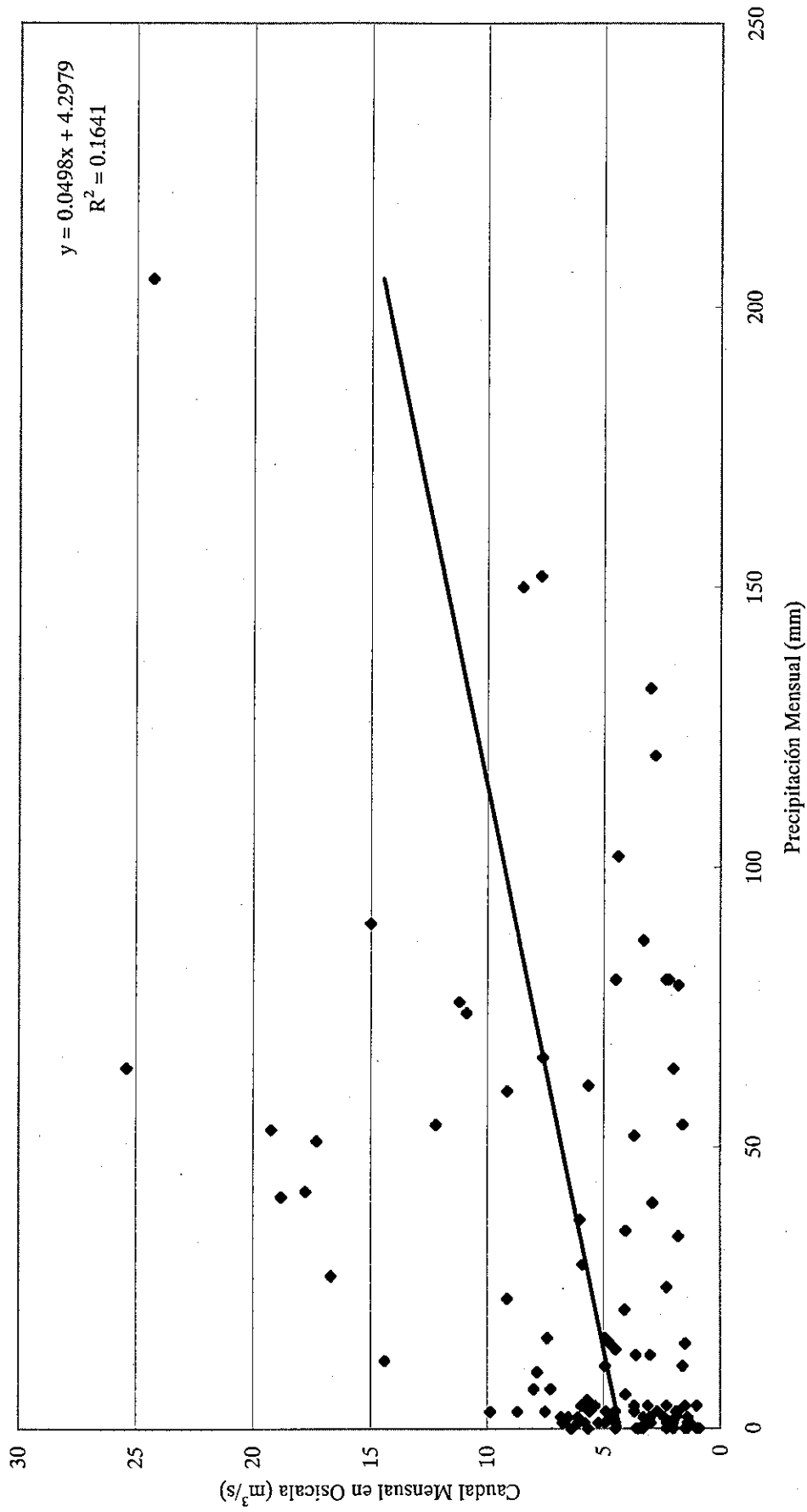


Fig. 6.12 Correlaciónn entre Precipitación y Caudal durante la Epoca Seca

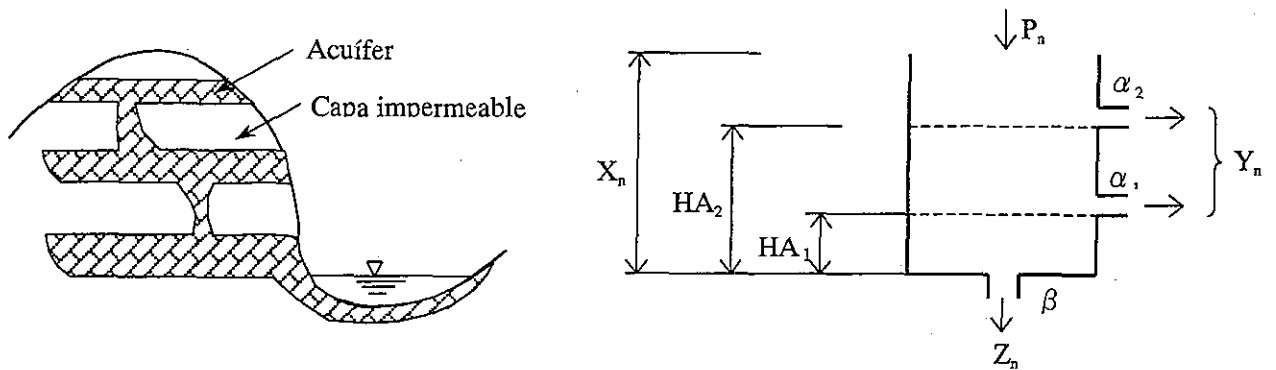


Fig. 6.13 Concepto del Modelo Tanque

La cantidad de escorrentía y precipitación se obtiene con las siguientes ecuaciones:

$$Y_n = \begin{cases} 0 & \dots\dots\dots 0 \leq X_n \leq HA_1 \\ a_1 \times (X_n - HA_1) & \dots\dots\dots HA_1 < X_n \leq HA_2 \\ a_1 \times (X_n - HA_1) + a_2 \times (X_n - HA_2) & \dots\dots\dots HA_2 < X_n \end{cases}$$

$$Z_n = \beta \times X_n$$

$$0 < a_1, a_2$$

$$\beta < 1$$

Donde,

- $a_1, a_2,$: Coeficientes de escorrentía (parámetros de salidas laterales)
- β : Coeficiente de infiltración (parámetro del fondo de salida)
- HA_1, HA_2 : Alturas de las salidas laterales
- P_n : Precipitación
- X_n : Volumen de almacenamiento
- Y_n : Cantidad de escorrentía de las salidas laterales
- Z_n : Cantidad de infiltración del fondo de la salida

Remanente X'_n en el tanque es $X'_n = X_n - Y_n - Z_n$

El balance remanente de X_{n+1} en el tiempo $(n + 1)$ está expresado en la siguiente ecuación;

$$X_{n+1} = X'_n + P_{n+1}$$

$$= X_n - Y_n - Z_n + P_{n+1}$$

El calculo es repetido en la series de tiempo.

Fig. 6.14 Diagrama de calculo por El modelo Tanque

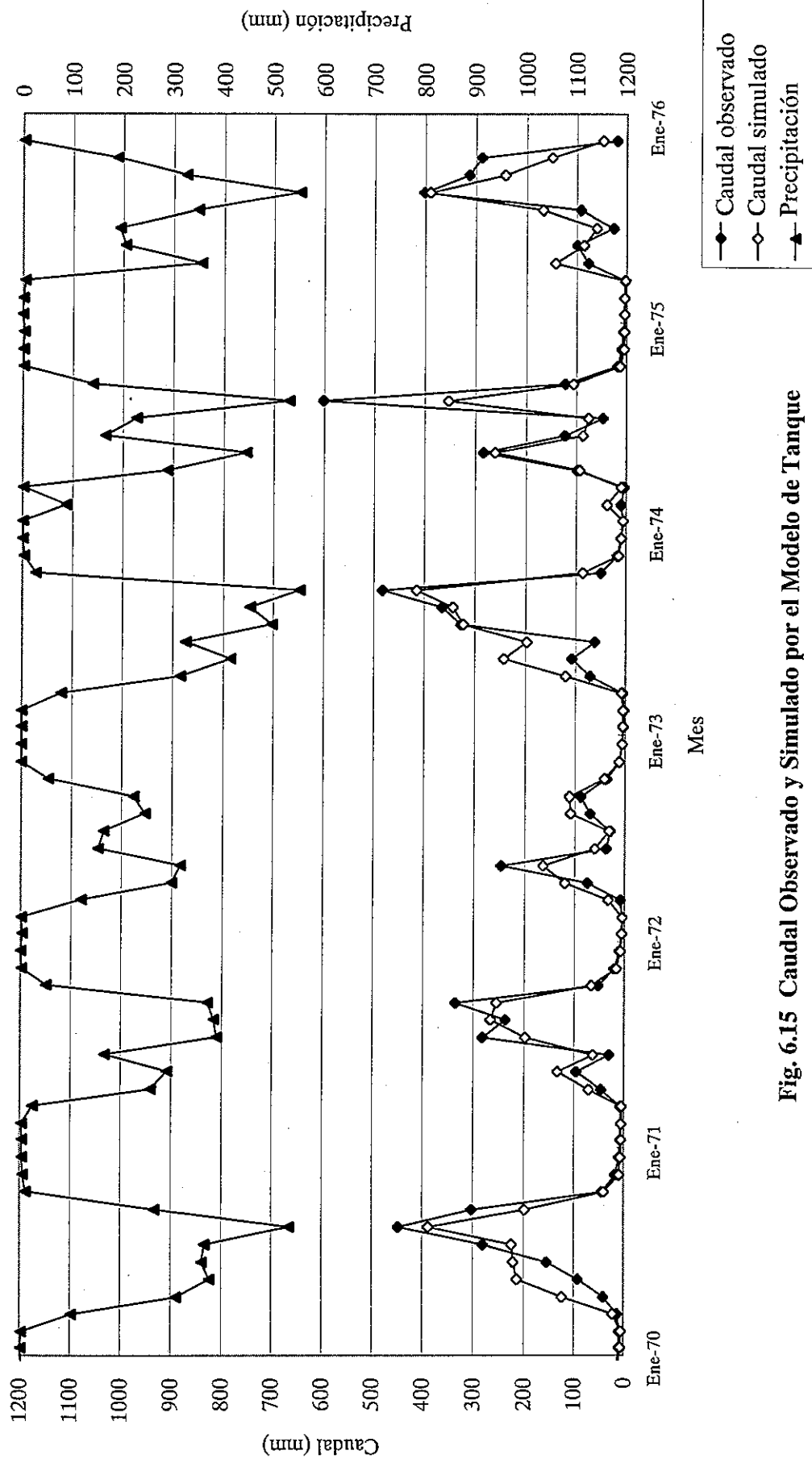


Fig. 6.15 Caudal Observado y Simulado por el Modelo de Tanque

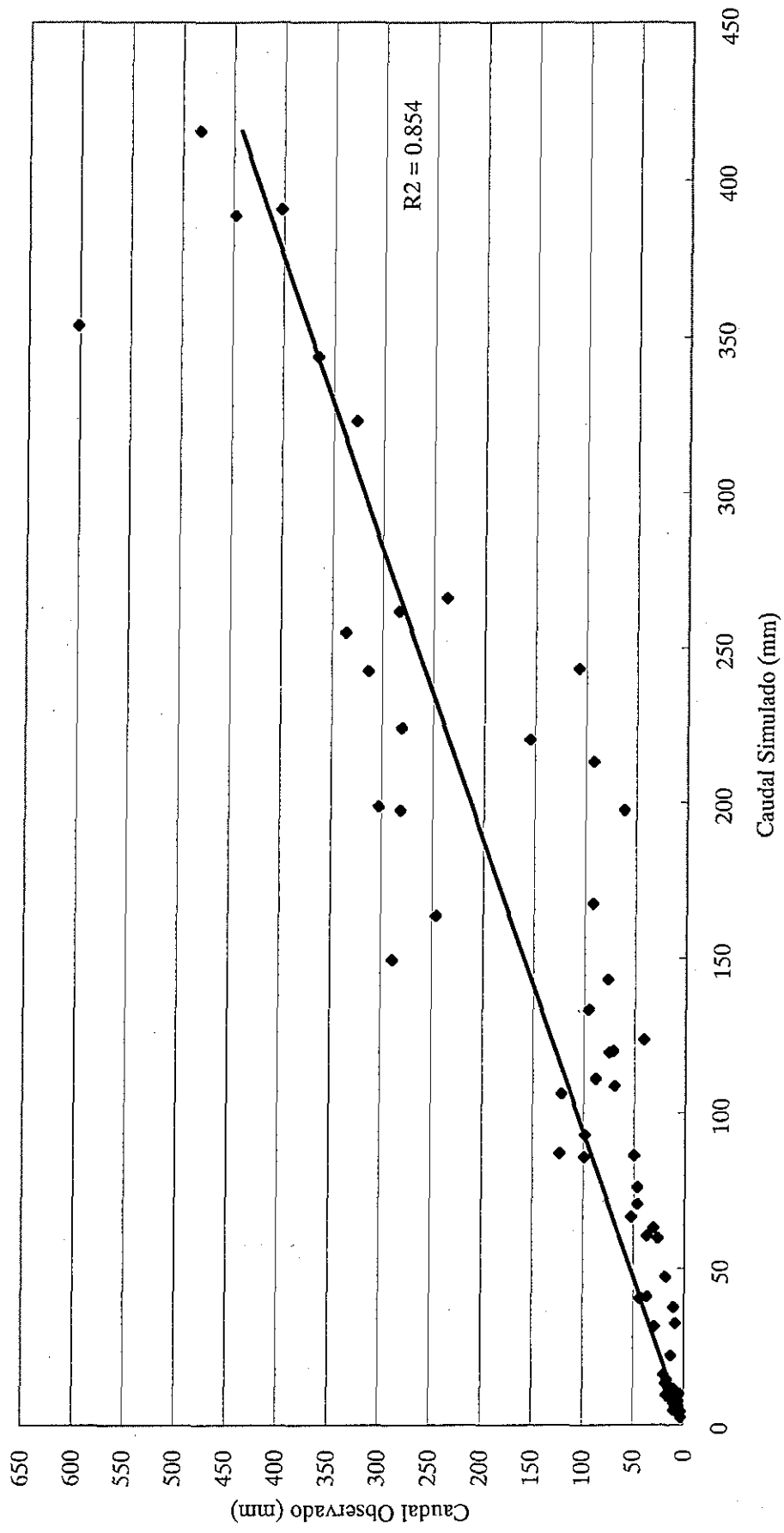


Fig. 6.16 Correlación entre Caudal Observado y Simulado

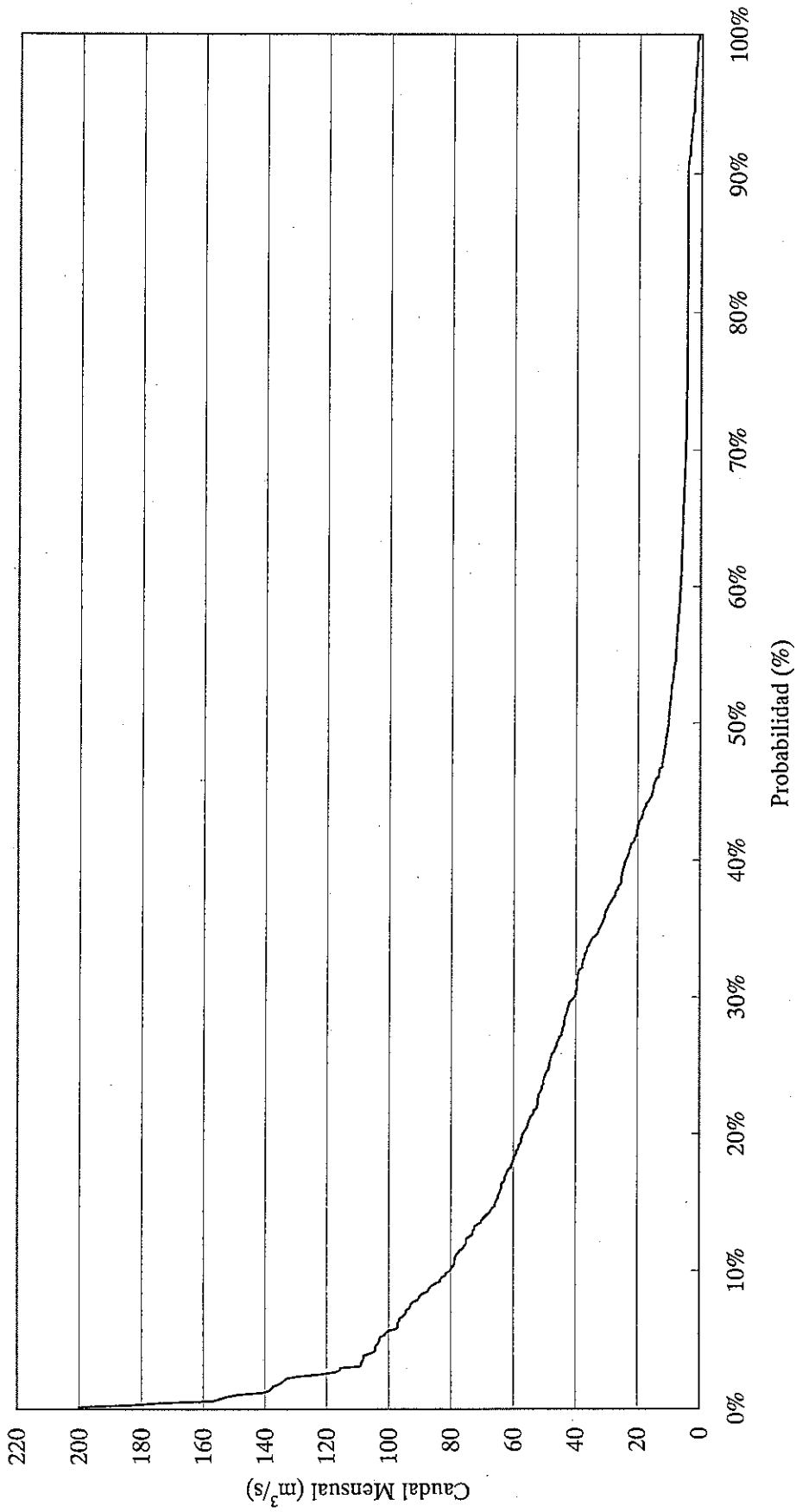


Fig. 6.17 Curva de Duración en Osicala

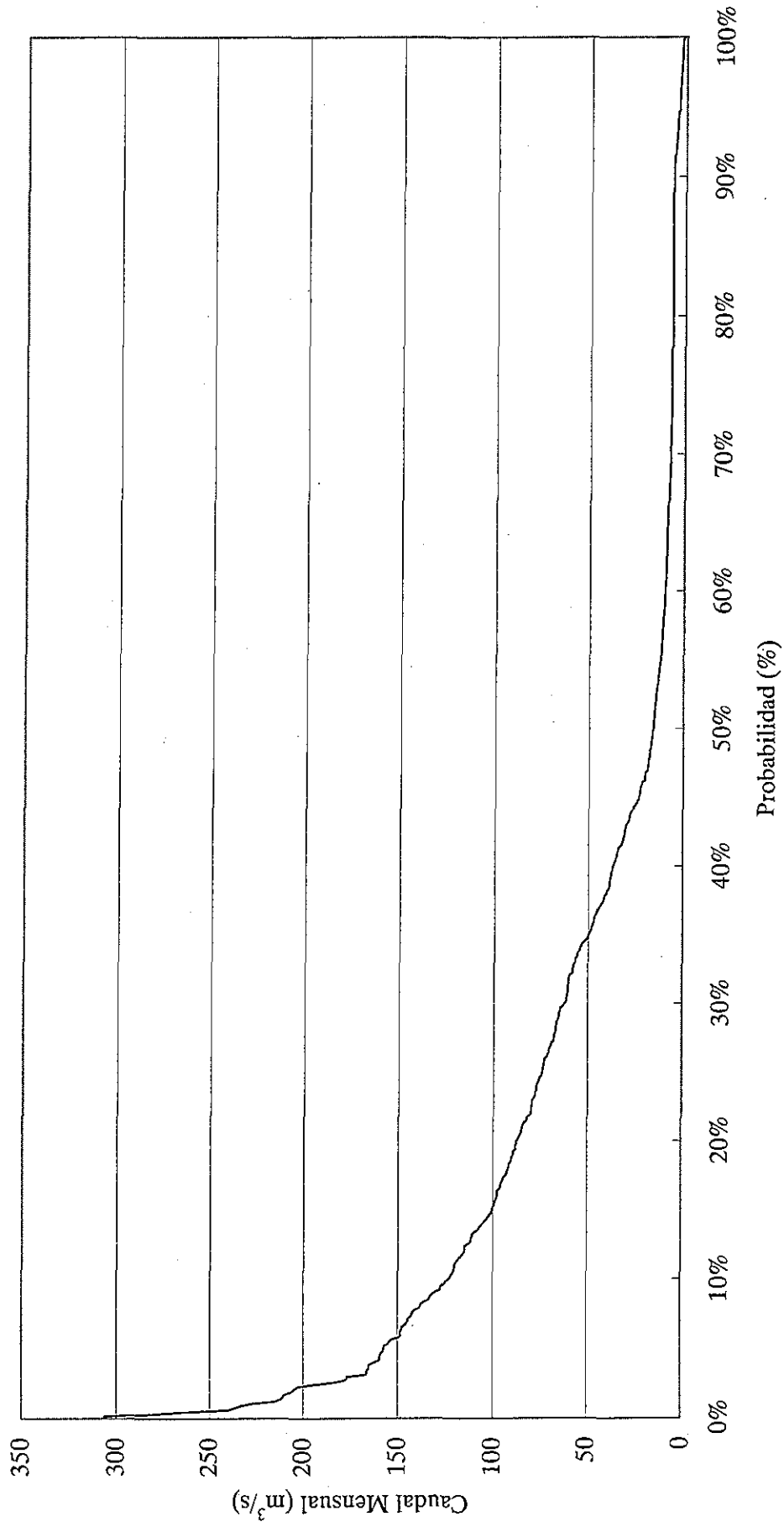


Fig. 6.18 Durva de Duración en El Chaparral

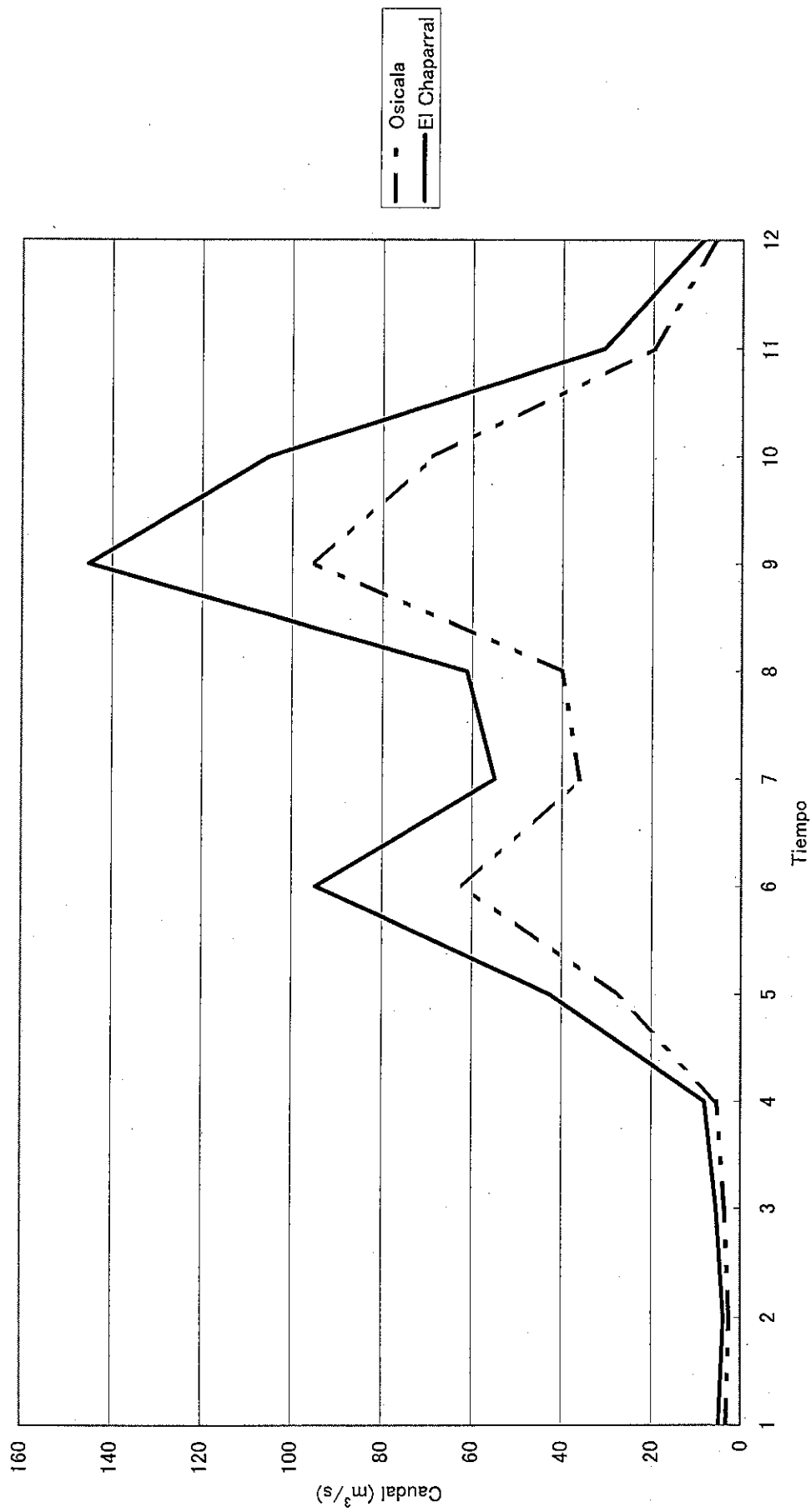


Fig. 6.19 Caudal Mensual Promedio

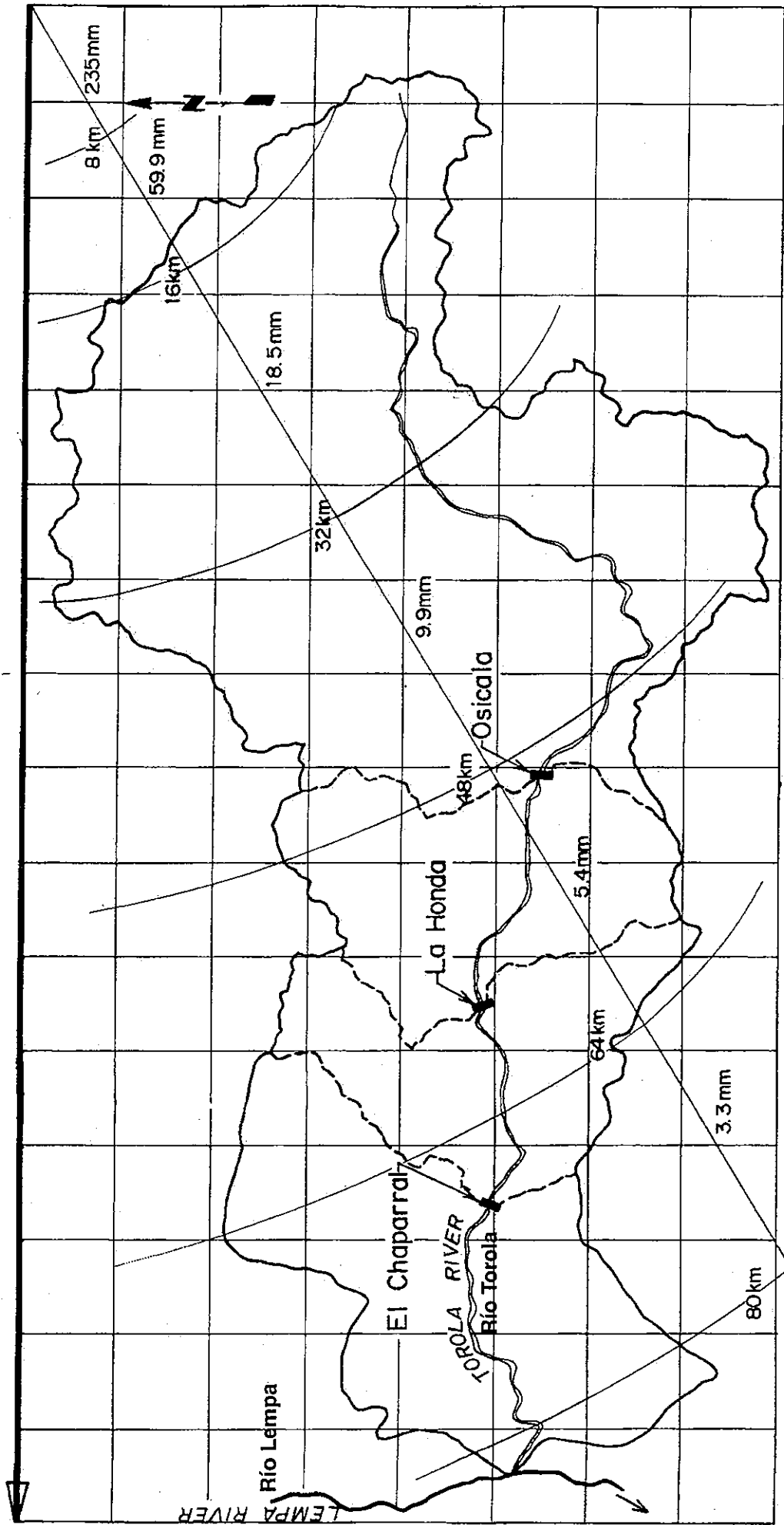


Fig. 6.20 Ruta del Huracán Modelo

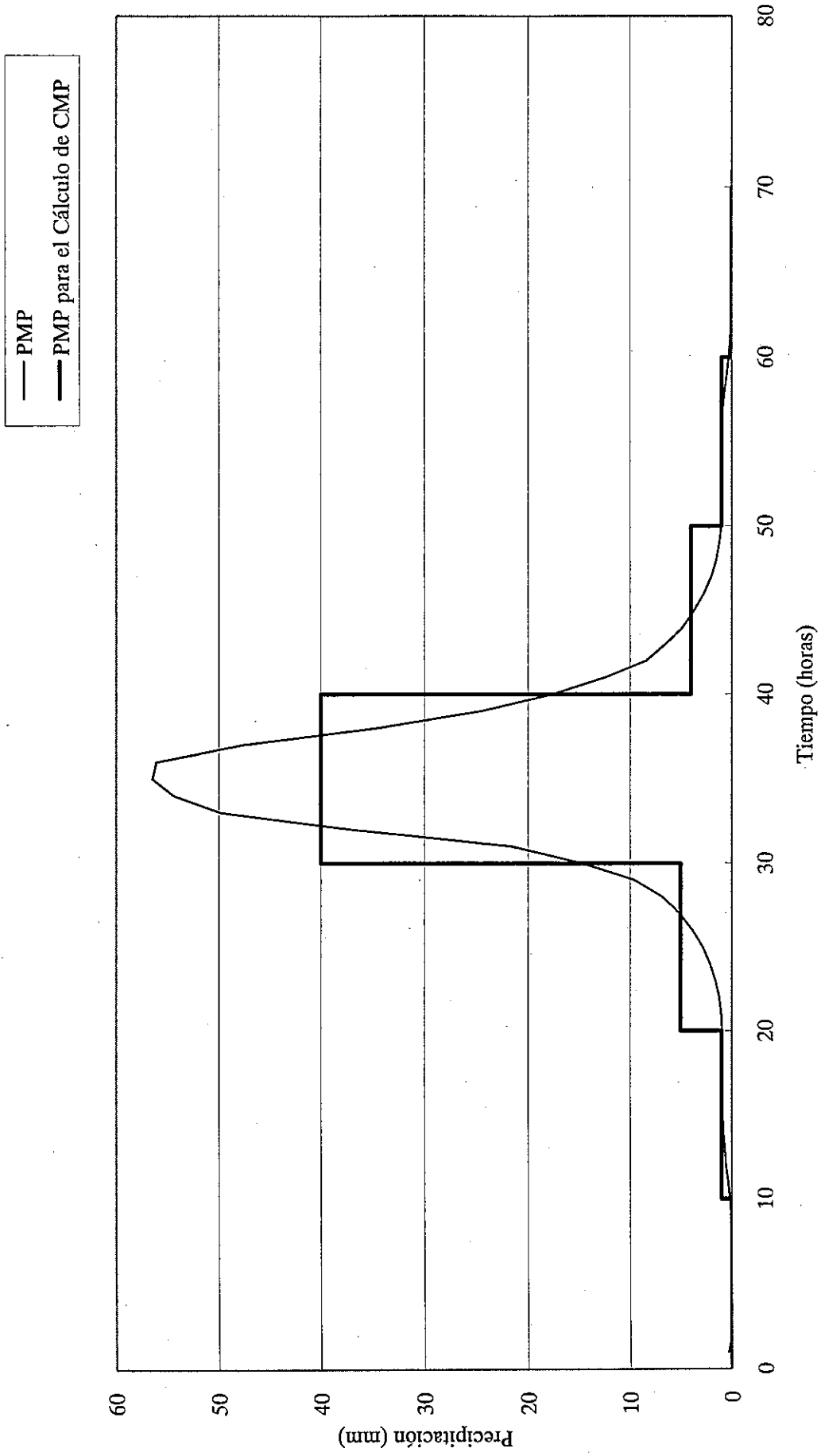


Fig. 6.21 PMP para El Chaparral

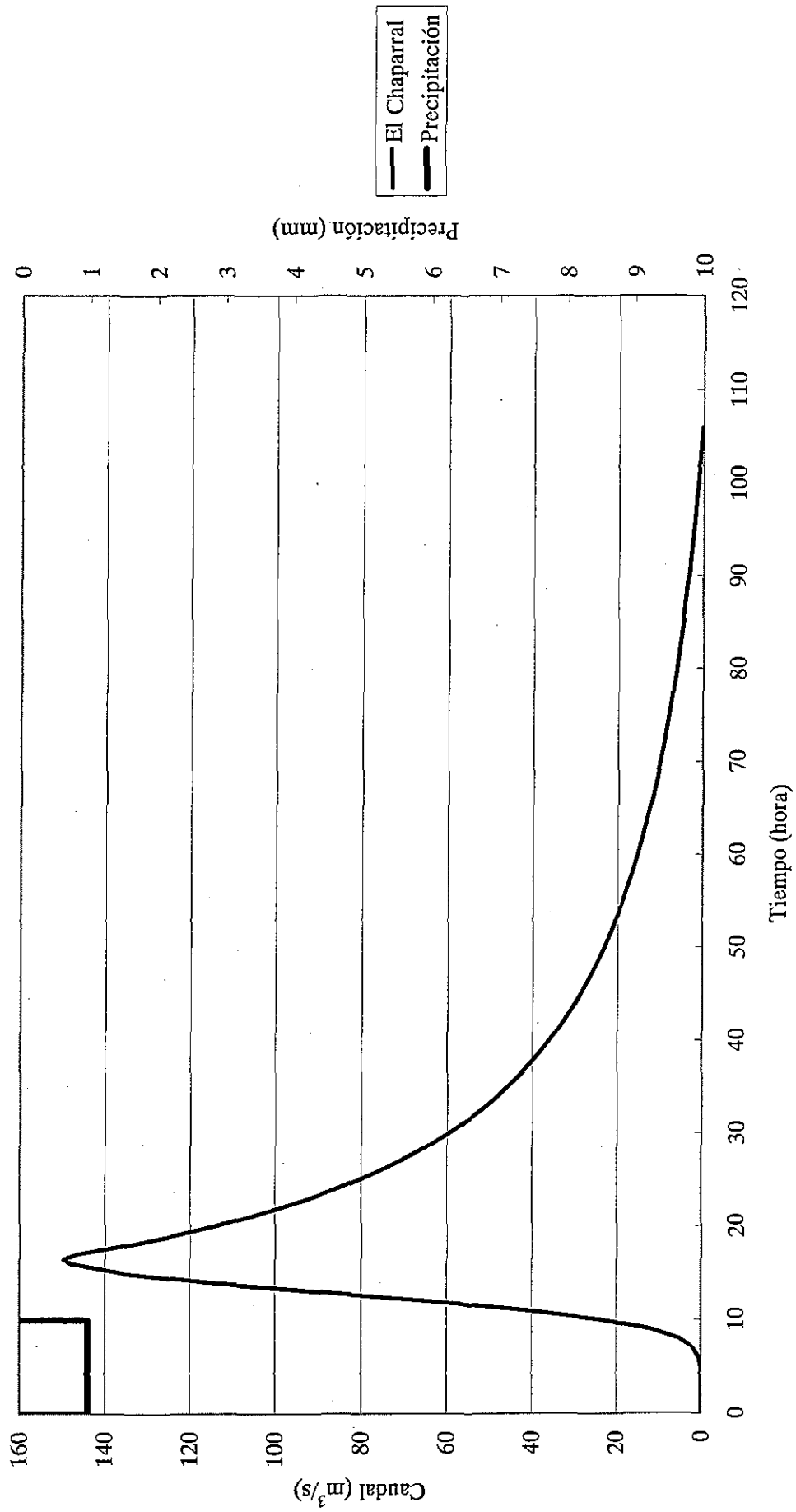


Fig. 6.22 Hidrograma Unitario para El Chaparral

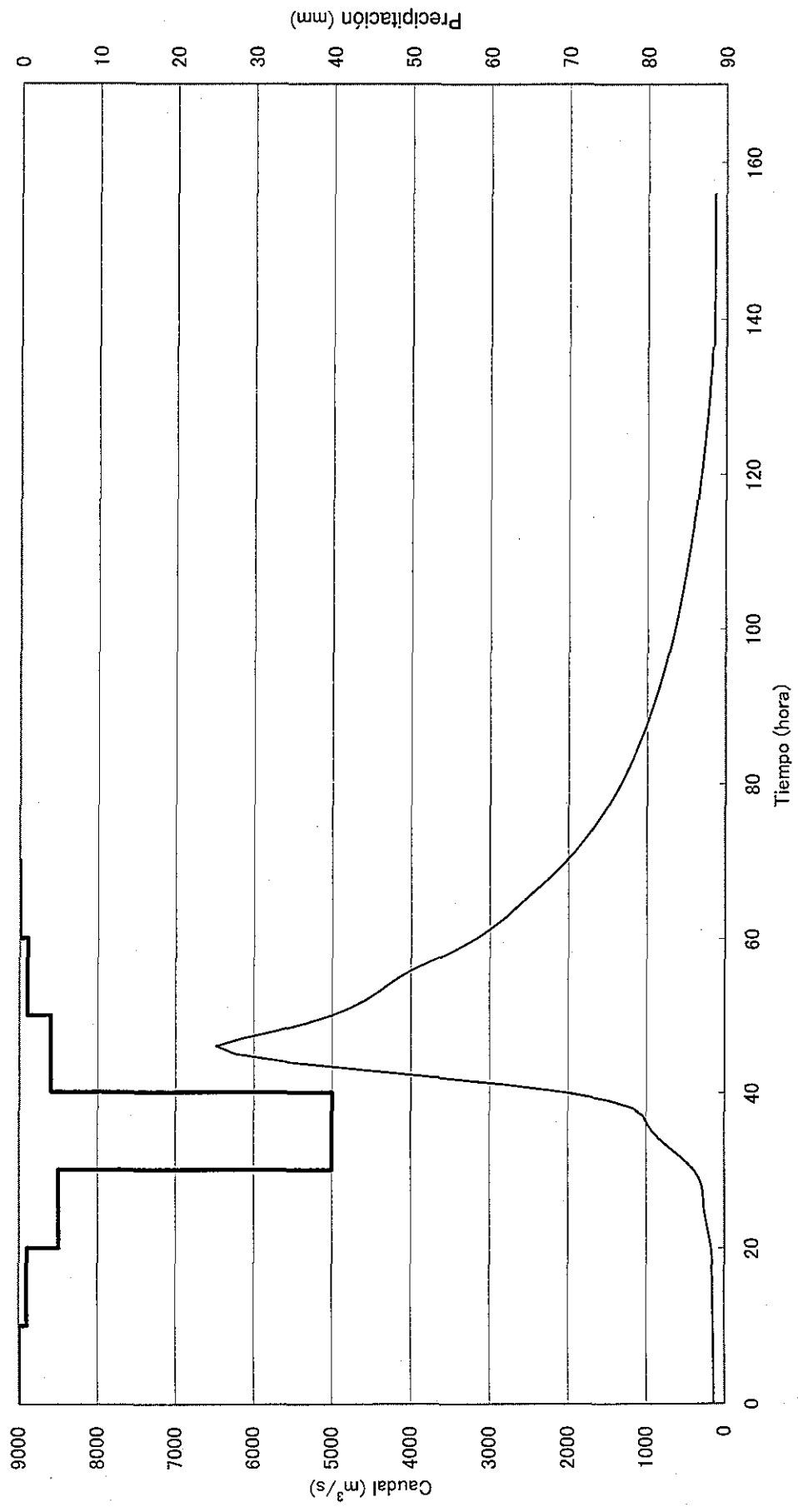


Fig. 6.23 PMP y CMP en El Chaparral

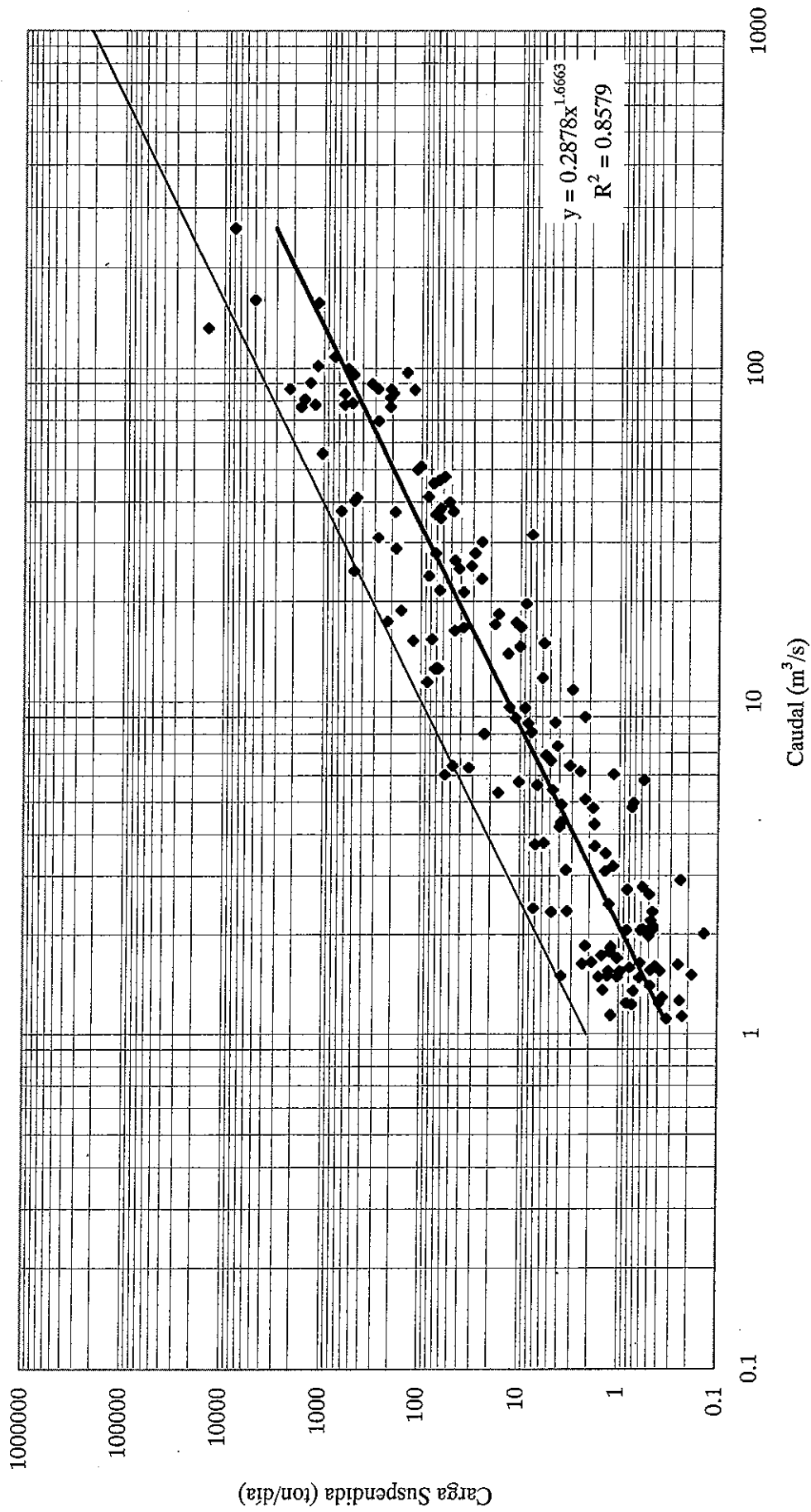


Fig. 6.24 Correlación entre Carga Suspendida y Caudal en Osisca

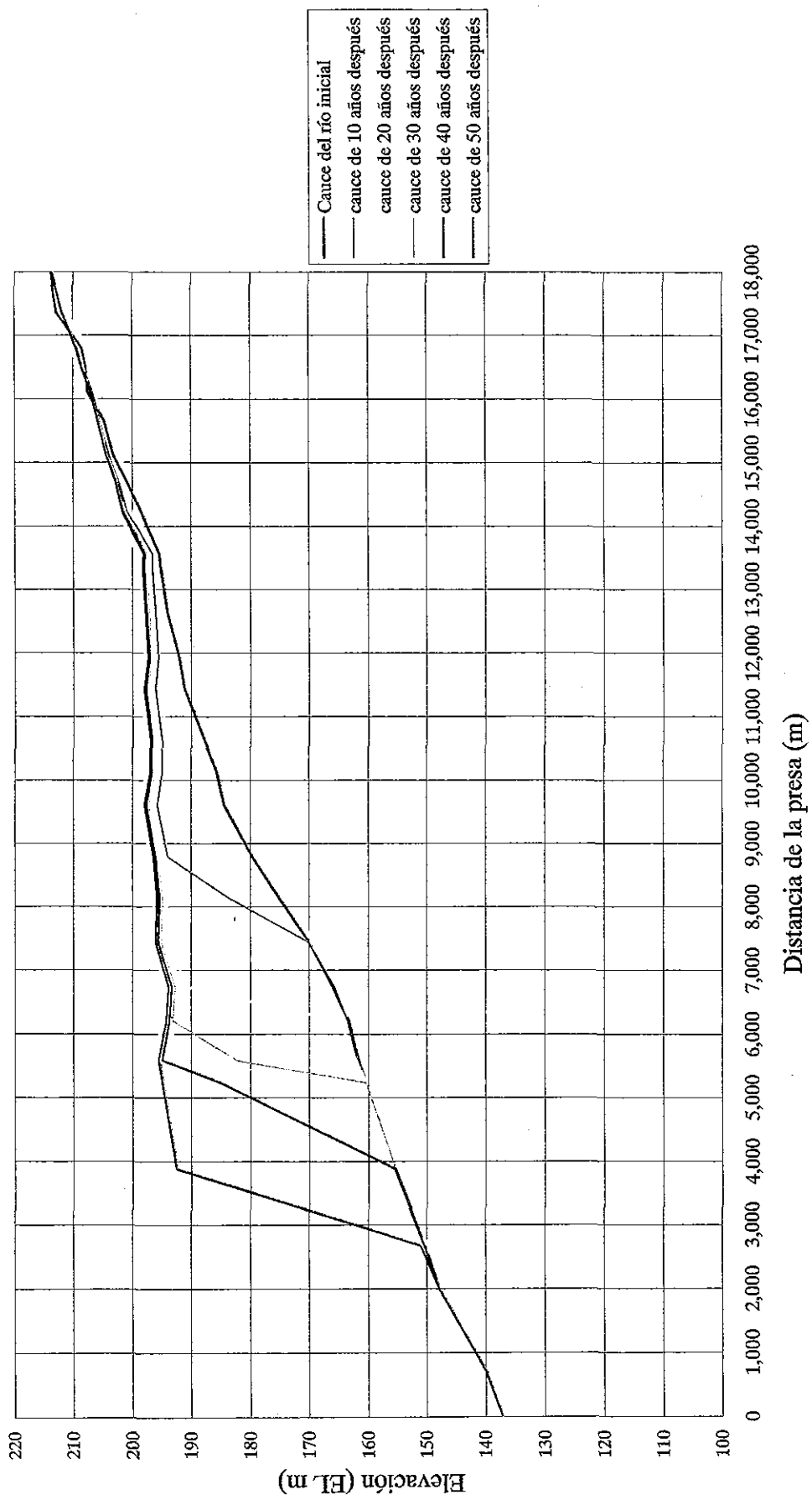


Fig. 6.25 Simulación de Sedimentación

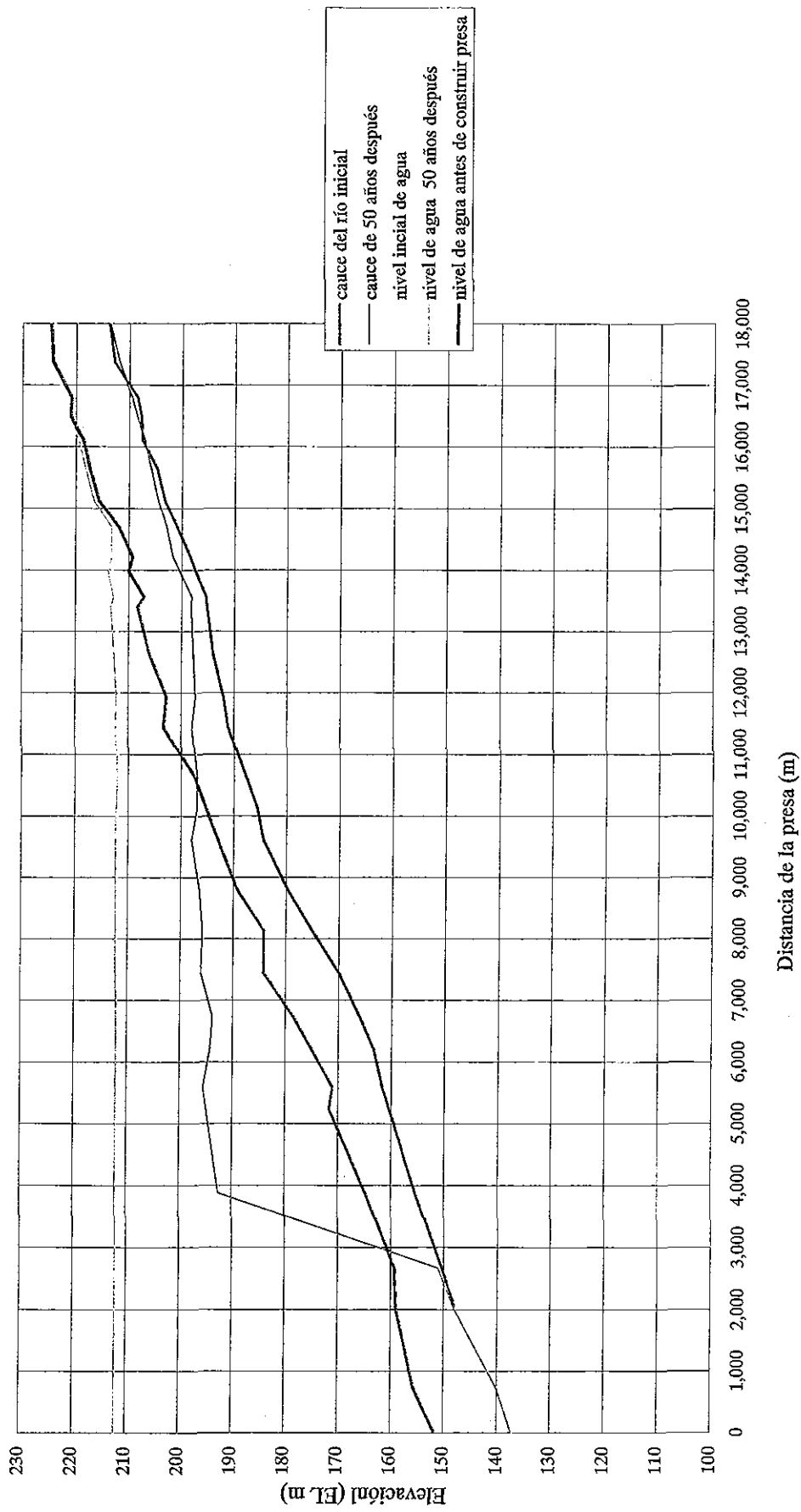


Fig. 6.26 Curva de Remanso con un Caudal de Crecida ($Q_F=6,484 \text{ m}^3/\text{s}$)

7. GEOLOGÍA

CONTENIDO

7.	Geología	7-1
7.1	Generalidades de Geología en el Area del Proyecto.....	7-1
7.2	Obras para el Estudio.....	7-2
7.2.1	Antecedentes del Estudio	7-2
7.2.2	Estudios Geológicos del Estudio de Factibilidad	7-2
7.3	Area del Proyecto El Chaparral	7-8
7.3.1	Area del Embalse.....	7-8
7.3.2	Sitio de la Presa	7-9
7.3.3	Casa de Máquinas.....	7-18
7.3.4	Materiales de Construcción	7-19
7.4	Sitio del Proyecto La Honda.....	7-26

7. Geología

7.1 Generalidades de Geología en el Área del Proyecto

La topografía del área del proyecto se ha interpretado en base a los mapas topográficos de escala 1:50,000 y 1:25,000 y las fotografías aéreas de escala 1:33,000, además del reconocimiento en campo realizado para ciertas zonas.

La cuenca del río Torola está situada en una zona montañosa del noreste de El Salvador. Las montañas de la cuenca tienen alturas entre los 500 y los 1,800 metros con las crestas y laderas relativamente suaves. Dentro del área del proyecto, el río Torola escurre hacia el oeste con el curso de agua serpentino entre los 150 y los 300 metros de altura. La hidrografía de la zona no tiene una dirección determinada, sin embargo en los alrededores del Cerro Cacahuatique (1,663 msnm) que se encuentra ubicado en la margen izquierda se ven quebradas en forma radial. El curso principal de agua del río está compuesto por valles en forma de V en ciertos tramos y laderas escarpadas en las curvas serpentinadas. A lo largo del río, no hay muchos terrenos planos, pero con bancos de arena esparcidos y unas terrazas escalonadas en forma intermitente. Alrededor de Carolina se abre una zona con los cerros bajos y suaves, formando una zona única relativamente plana del área. Es decir, en el área del proyecto coexisten una topografía suave y otra accidentada. Básicamente están distribuidas rocas blandas en los cerros y valles suaves y rocas duras en las laderas y las crestas empinadas. También se ven unas laderas empinadas formadas recientemente por erosiones. Este tipo de laderas erosionadas en la forma V, además de las zonas de curvas serpentinadas del río, se ven frecuentemente en el Cerro de Cacahuatique de la margen izquierda. También se ven laderas que puedan facilitar desprendimiento de tierras por su propia forma.

En la cuenca del río Torola, se ven distribuidos los estratos geológicos formados por las actividades volcánicas en las eras terciaria y cuaternaria. El estrato terciario consiste en 3 formaciones: de abajo a arriba la Formación Morazán ácida a intermedia, la Formación Chalatenango ácida y la Formación Bálsamo intermedia a básica, y todas están formadas por rocas volcánicas y rocas piroclásticas. Dicen que la Formación Morazán tiene las rocas volcánicas más antiguas de El Salvador. El estrato cuaternario corresponde a la Formación Cuscatlán, conformada por rocas volcánicas y rocas piroclásticas ácidas a básicas.

En el área del proyecto, se ve más distribuida la Formación Morazán. La Formación Morazán está conformada principalmente por brecha tobácea y basalto (Fig. 7.1).

La Formación Bálsamo es la que forma principalmente el Cerro Cacahuatique.

La Formación Cuscatlán se encuentra distribuida en las pequeñas áreas de crestas y laderas de altura media.

Los valles alrededor de Carolina están cubiertos por sedimentos de la era cuaternaria.

7.2 Investigación Geológica

7.2.1 Investigaciones Existentes

En el área del proyecto, se realizó el estudio de prefactibilidad en 1999 por parte de Harza Engineering Company International L.P. enfocando 7 sitios propuestos para el desarrollo hidroeléctrico. A continuación se indica el resumen del estudio:

- Se hizo una interpretación de fotografías aéreas de la cuenca del río Torola, y como resultado se elaboró un mapa de distribución de lineamiento.
- Reconocimiento geológico, prospección sísmica y estudios de materiales de agregados para los proyectos de El Chaparral, Carolina y La Honda.

La prospección sísmica se realizó con las distancias siguientes:

Tabla 7.1 Prospección Sísmica en el Estudio de Prefactibilidad

Proyecto	Prospección Sísmica
El Chaparral	6 extensiones 780 m
Carolina	3 extensiones 455 m
La Honda	3 extensiones 405 m

Se ha realizado la prueba en laboratorio para los materiales de agregados, sacando muestras en las calicatas. La prueba consistió en densidad y absorción, límites de Atterberg, desgaste y estabilidad

7.2.2 Investigación Geológica del Estudio de Factibilidad

(1) Generalidades

Los estudios geológicos realizados a nivel de factibilidad se indican en la Tabla 7.2, Figuras 7.2 y 7.3.

Los estudios se iniciaron en octubre de 2001 mediante la subcontratación de Swissboring Overseas Corp., Ltd. y terminaron en marzo de 2003. Dichos estudios se realizaron en la época seca,

evitando la época de lluvia (de mayo a octubre), cuando hay dificultades de cruzar el río con el nivel elevado de agua.

Tabla 7.2 CANTIDADES DE OBRAS DE INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA

Zona Geológica

Area	Cantidad (km ²)
Sitio de presa El Chaparral	0.86

Prospección Sísmica

Area	Nombre de línea de prospección sísmica	Cantidad	
		(líneas)	(m)
Sitio de presa El Chaparral	CBS-1		650
	CBS-2		260
	CBS-3		260
	CBS-4		260
	CBS-5		260
Subtotal		5	1,690
Area de préstamo	CGS-1		390
	CGS-2		130
	CGS-3		130
	CGS-4		130
	CGS-5		390
	CGS-6		130
	CGS-7		130
Subtotal		6	1,430
TOTAL		11	3,120

Perforación y Prueba de Permeabilidad

Area	Nombre de perforación	Número de perforación		Número de pruebas
		(Pozos)	(m)	(Sección)
Sitio de presa El Chaparral	CDB-1		70	14
	CDB-2		60	10
	CDB-3		50	6
	CDB-4		80	9
	CDB-5		70	11
	CDB-6		70	8
	CDB-7		50	8
	CDB-8		50	2
Subtotal		8	500	68
Area de préstamo	CGB-1		10	
	CGB-2		10	
	CGB-3		1.7	
	CGB-4		10	
	CGB-5		10	
Subtotal		5	41.7	
TOTAL		13	541.7	68

Pruebas de Laboratorio

Excavación y pruebas		Cantidad	Norma ASTM
Excavación	Calicata (cada 3 m de profundidad)	6 calicatas	
	Roca	1 lugar	
Prueba de agregado del concreto	Muestras obtenidas de afloramientos	1 grupo	C127, C131, C535, C88, D2938, C295, C289, C227
Prueba de agregado del concreto	Muestras obtenidas del lecho del río	6 grupos	C127, C128, C131, C535, C88, C136, C142, etc.
Prueba de núcleo de roca intacta		13 grupos	D2938
Análisis petrológico	Observación microscópica	5 muestras	
	Rayos X difracción	5 muestras	

(2) Reconocimiento geológico

El reconocimiento geológico se realizó en el sitio propuesto para la construcción de la presa, utilizando los mapas topográficos de escala 1:1,000.

(3) Prospección sísmica

En el trabajo de campo, las ondas elásticas fueron generadas a martillazo en uso de "Geometrics Smartseis" y observadas por geófonos instalados a intervalo de 10 metros a lo largo de la línea de observación. Cada extensión fue de 130 metros de largo. Se realizó el análisis de los registros de medición en el campo mediante el programa S.I.P.Q.C. de "Rimrock Geophysics, Inc." Al realizar el análisis, se adoptó el modelo de doble estrato en la mayoría de las líneas de observación. El resultado se muestra en los perfiles de estrato con velocidad.

(4) Perforaciones y prueba de permeabilidad

En la Tabla 7.3 se indican los equipos utilizados para las perforaciones y prueba de permeabilidad.

Tabla 7.3 Equipo de Perforación y Prueba de Permeabilidad

Trabajo de Investigación	Equipos	Nombre vulgar	Especificación
Perforación	Perforadora	Longyear 34	Capacidad de perforación 275 m con HQ
	Bomba	FMCS35	Flujo de 135 l/min a 500 psi
	Varilla y barreno		HQ y NQ
	Broca y fresador		HQ y NQ
	Tubería de revestimiento y zapatas		HW y NW
Prueba de Permeabilidad	Medidor de flujo y manómetro		
	Compresor de aire	Aerosub-plus	Compresor de 6000 psi y 3 botellas de aire de 2500 psi
	Tapador		HQ tapadores neumáticos

Las perforaciones se realizaron en el sitio de la presa El Chaparral y el área de préstamo.

El tamaño de perforación es NQ y el diámetro de muestras sacadas es 47.6 milímetros. La prueba de Lugeon fue realizada como prueba de permeabilidad en las perforaciones del sitio de la presa.

En las dos perforaciones (CDB-5 y CDB-6) de la margen derecha en el sitio de la presa, no se realizó suficientemente la prueba de permeabilidad y se hicieron otras dos perforaciones a unos 5 metros de las anteriores (CDB-5A y CDB-6A) para repetirla.

Las muestras sacadas se acomodaron en cajas de madera para sacar fotografías y dibujar columnas estratigráficas. En las columnas estratigráficas, se indican el porcentaje de captación de muestras, RQD, valores Lugeon, descripciones geológicas y clasificación geológica de rocas. La clasificación de rocas se hizo de acuerdo a los conceptos indicados en la Tabla 7.4.

Tabla 7.4 Norma de Clasificación de Rocas de J-POWER para el Núcleo Perforado

Clase	Meteorización	Dureza	Separación de fracturas
1	MUY FRESCA. No meteorizada de componentes minerales.	MUY DURA. Quebrada en pedazaos en forma afilada con un fuerte golpe de martillo.	Arriba a 30 cm
2	FRESCA. Algunos minerales están ligeramente meteorizados sin fracturas. Usualmente no se ven partes agrietadas.	DURA. Quebrada en pedazos por un fuerte golpe de martillo.	10 a 30 cm
3	POBREMENTE FRESCA. Algunos minerales están meteorizados. Fracturas manchadas con minerales meteorizados.	FRAGIL. Quebrada en pedazos por un medio golpe de martillo.	5 a 10 cm
4	METEORIZADA. Porciones frescas permanecen aún parcialmente.	MUY FRAGIL. Fácilmente quebrada en pedazos por un ligero golpe de martillo.	1 a 5 cm
5	FUERTEMENTE METEORIZADA. La mayoría de los minerales están meteorizados y alterados los minerales secundarios	SUAVE. Capaz de perforarse con martillo.	abajo de 1 cm

Después de terminar las perforaciones, se hizo una protección para las bocas de pozos y CEL está realizando monitoreo del nivel freático.

(5) Pruebas en laboratorio

Fueron realizadas las pruebas en laboratorio para identificar las propiedades físicas y rasgos petrológicos de las muestras tomadas en las perforaciones del sitio de la presa. Además para las pruebas de identificar la calidad de materiales para agregados de concreto, se utilizaron muestras de basalto recolectadas en el sitio de la presa y gravas de cauce obtenidas de un sitio propuesto como banco de préstamo. (Tabla 7.5)

Tabla 7.5 Muestras y Métodos de Pruebas de Laboratorio

Localización	Muestra	Item	ASTM		
Propiedades Físicas y Petrología	Perforación en sitio de presa	Densidad	D2938		
		Resistencia a la compresión no confinada	D2938		
		Observación microscópica			
		Difracción de Rayos X			
Calidad del agregado del concreto	Basalto en la vecindad del sitio de presa	Densidad	D2938		
		Resistencia a la compresión no confinada	D2938		
		Estabilidad (Na_2SO_4)	C88		
		Abrasión	C131, C535,		
		Reacción alcalina del agregado	C295, C289, C227		
		Densidad seca	C127,		
		Absorción	C127,		
		Depósitos fluviales en áreas de préstamo		Análisis granulométrico	C136
				Contenido de arcillas y partículas	C142, C123
				Estabilidad (Na_2SO_4)	C88
Abrasión	C131, C535				
		Densidad seca	C127, C128		
		Absorción	C127, C128		

7.3 Area del Proyecto El Chaparral

7.3.1 Area del Embalse

(1) Geología

En el área de inundación de El Chaparral, se ven muchas laderas suaves sin tener cerros altos cercanos al curso de agua principal del río Torola. Esta área consiste principalmente en la Formación Morazán de la era terciaria y los sedimentos de la era cuaternaria que cubre la formación mencionada. La Formación Morazán está formada por basalto y toba. (Fig. 7.1)

El basalto es una roca solidificada de lava, cuya parte dura y frágil están mezcladas como se indica en el resultado de la prueba en el sitio de la presa. Generalmente tiene alta permeabilidad por el desarrollo de fisuras. Se puede suponer que las laderas escarpadas encontradas a lo largo del río Torola dentro del área de embalse están formadas por dicho tipo de basalto. La toba es una roca formada por cenizas, gravas o rocas volcánicas y no tiene una dureza notable, sin embargo son bloques que casi no presentan fisuras. Si no contiene gravas o rocas volcánicas, tienden a ablandarse por meteorización.

(2) Hermeticidad hídrica

El área de inundación corresponderá al fondo de valles ubicados en la cuenca del río Torola y está separada de otras cuencas colindantes por crestas anchas y cerros. Las quebradas de dicha área durante todo el año mantienen el curso de agua en un nivel más alto que el nivel máximo de operación de la presa propuesta, lo cual revela que el área tiene un nivel freático alto y el embalse tendrá una hermeticidad hídrica. En las cercanías del sitio de la presa, se observan las crestas de estrechamiento, sin embargo, se han observado unos manantiales y aguas superficiales en marzo de 2003 a unos 700 metros del sitio de la presa en la margen derecha y también a unos 1,300 metros del sitio de la presa en la margen izquierda. Se han analizado las medidas para asegurar la hermeticidad hídrica en las zonas desde la presa hasta dichos lugares de aguas superficiales.

(3) Estabilidad de vertientes

La mayor parte de las laderas que rodean el área de inundación son de topografía suave y no presenta peligros de desprendimiento ni vertientes con sedimentos de mucho espesor. No se encuentran laderas que tengan problemas de inestabilidad por inundaciones. (Fig. 7.4)

(4) Otros

Es muy conocido un sitio de aguas termales dentro del área de inundaciones. Dista unos 2 kilómetros de la ciudad de Carolina hacia el NNO. Está ubicado en el cauce del río Torola y las aguas tienen una temperatura de 80 a 100 °C y contienen elementos de Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- y SiO_2 (según datos de CEL en 1996).

Las fallas activas generalmente se mueven a intervalo de unos mil años en la segunda mitad de la era cuaternaria y se distinguen a consecuencia de una topografía formada por los movimientos diferenciales de desplazamiento. En el área del proyecto, no se ha identificado tal topografía mediante la interpretación de fotografías aéreas.

7.3.2 Sitio de la Presa

(1) Topografía y geología

El sitio de la presa El Chaparral está ubicado en un tramo recto aproximadamente de 1.5 kilómetros de largo dentro del valle y el ancho del cauce es de unos 30 metros. En la elevación de 180 msnm, existen terrazas en forma intermitente que forman vertientes suaves. Entre los niveles del cauce y de las terrazas, se encuentran unas vertientes empinadas con precipicios accidentados en algunos lugares. Detrás de las terrazas, hay vertientes suaves. En la margen izquierda del río Torola, dentro de la distancia de unos 200 a 400 metros del río, hay lugares que sobrepasan los 250 metros de altura. Por el contrario, en la margen derecha, dentro de la distancia de 150 metros del río, existen tres crestas bajas con los 200 ó 240 msnm. Dichas crestas tienen collados y dentro de la distancia de unos 400 a 600 metros del río los cerros no sobrepasan la altura referida. De ahí, empieza a incrementarse la elevación hacia los cerros de más de 300 metros de altura.

El sitio de la presa El Chaparral está ubicado aguas abajo del tramo recto del valle. En la margen derecha se encuentra la tercera cresta de las tres bajas, la cual empieza a tener la mayor altura desde el segundo collado (unos 220 msnm) que dista unos 400 metros del río. Esta posición es la más cercana al río de las tres crestas.

En la margen izquierda del sitio de la presa, existen terrazas a nivel de 185 msnm. Es muy empinada la vertiente entre dichas terrazas y el cauce con el ángulo medio de 70 grados. La vertiente de las terrazas es suave con el ángulo de 5 a 20 grados y detrás hay una ladera de unos 30 grados. La margen derecha tiene una vertiente de unos 40 grados entre el cauce y el nivel de 220 msnm sin tener terrazas. La cresta que se encuentra al nivel un poco menos de 230 msnm no aumenta su altura hasta un sitio alejado a unos 400 metros del río y tiene dos collados de unos 225 metros y unos 220 metros de altura, respectivamente.

La geología del sitio de la presa consiste en basalto, brecha tobácea y toba de la Formación Morazán. (Fig. 7.5, Fig. 7.6 y Fig. 7.7)

El basalto es dividido en dos tipos: un tipo duro con el color gris oscuro y otro relativamente frágil con el color pardo rojizo. Según la observación microscópica, el primer tipo se identifica como basalto formado principalmente por plagioclasa y piroxeno y otro con andesita formada por plagioclasa y biotita (Tabla 7.6). En la margen derecha del sitio de la presa, se observa un precipicio con capas de color gris oscuro intercaladas con porciones de pardo rojizo. Debido a que algunos contactos de la porción gris oscuro con la de pardo rojizo son graduales como se observa en el cauce y muestras sacadas de las perforaciones, se supone que ambos son de lava solidificada de basalto en tierra y una parte llegó a tener el color pardo rojizo cuando estuvo expuesto al aire. Algunas porciones del basalto que presentan aspectos de aglomerado serán de fase intermedia entre la brecha tobácea y aglomerado. Esta lava con aspectos de aglomerado parece estar distribuida debajo de otras lavas.

Tabla 7.6 Petrografía de Basalto en Sitio de Presa El Chaparral

Litología	Perforaciones	Profundidad (m)		Petrografía
		desde	hasta	
Basalto: Gris rojizo	CDB-1	50.34	50.45	Andesita: plagioclasa, biotita, (clorita)
Basalto: Gris oscuro	CDB-2	47.10	47.20	Basalto: plagioclasa, piroxena, (clorita)
	CDB-4	39.00	39.09	Basalto: plagioclasa, piroxena, olivina

La toba tiene una variedad desde un tipo granulado fino hasta otro de lapilli, presentando diferentes colores, tales como gris rojizo, gris amarillento y gris verde. El grosor de la capa de toba puede alcanzar hasta más de 18.5 metros. También se ve la estratificación de las capas gruesas de toba. Las capas de toba de lapilli se han identificado en las perforaciones de CDB-6, CDB-5A y CDB-6A. Se supone que son de la misma capa estratificada. También se supone que es de la misma capa el afloramiento de la toba de lapilli en la base de la vertiente en la margen derecha a aguas debajo del sitio de la presa. El basalto aglomerado referido anteriormente está distribuido debajo de esta capa de toba de lapilli.

Los estratos del sitio de la presa se inclinan hacia la margen izquierda con unos 10 grados como está inclinada la capa de toba de lapilli. Esta toba de lapilli no parece tener una forma tabular continuada sino una deformación o dislocación, debido a que la toba de lapilli que está expuesta en la margen derecha no tiene continuidad en la margen izquierda. Es difícil correlacionar otras capas identificadas de toba en las perforaciones entre sí. Distanto 5 metros de CDB-5A y CDB-6A,

existen otras perforaciones y respecto al espesor y profundidad se ve mucha diferencia entre las capas de toba identificadas en las perforaciones anteriores. Este fenómeno puede ser causado por fallas, sin embargo, es más probable que sea producido por la falta de continuidad de las capas originales de toba.

Los sedimentos superficiales encontrados en el sitio se clasifican en sedimentos de cauce, sedimentos de terraza y sedimentos de talud, y se indican sus espesores identificados por perforaciones en la Tabla 7.7

Los sedimentos en el cauce consisten en gravas redondas y arena, pero su distribución está muy limitada debido al afloramiento frecuente de rocas en el sitio de la presa y sus alrededores. Los sedimentos en la terraza están expuestos en un talud de camino en la margen derecha a aguas arriba del sitio de la presa, y consisten en gravas y arena, incluyendo gravas redondas. En la perforación CDB-3 en el sitio de la presa, dichos sedimentos se encontraron hasta la profundidad de 7.75 metros. Los sedimentos de talud están distribuidos en la base de la vertiente a lado del cauce y los sedimentos con el espesor de 4.8 metros fueron observados en CDB-3. Están distribuidos también *los sedimentos relativamente gruesos desde la terraza referida hasta la vertiente de atrás*. Algunas vertientes del valle están cubiertas por los sedimentos de talud. En otras porciones de las vertientes los sedimentos de talud son delgados (1.25 metros y 1.0 metro en las perforaciones CDB-4 y CDB-7, respectivamente). Los sedimentos en las vertientes cercanas a la cresta son también delgados como se observan en los cortes del camino. *En las perforaciones (CDB-5A y CDB-6A) se han recolectado unas muestras de tierra. Estas no son de los sedimentos referidos y se supone que son del suelo residual o de rocas fuertemente meteorizadas.*

Tabla 7.7 Espesores de Depósitos Superficiales

Nombre de Perforación	Ubicación	Elevación (m)	Longitud (m)	Depósitos superficiales	
				Tipo de depósitos	Espesores (m)
CDB-1	Margen Izq.	208.84	70.0	Depósito Talud	2.05
CDB-2	Margen Izq.	183.95	60.0	Dep. de talus y terra	7.75
CDB-3	Lecho río	136	50.0	Depósito Talud	4.8
CDB-4	Margen Der.	222.45	80.0	Depósito Talud	1.25
CDB-5	Margen Der.	222.45	70.0	Suelos residuales	7.5
CDB-6	Margen Der.	220.48	70.0	Suelos residuales	13.5
CDB-7	Margen Izq.	184.06	50.0	Depósito Talud	7.95
CDB-8	Margen Der.	204.33	50.0	Depósito Talud	1

La porción gris oscura del basalto en el sitio de la presa está diaclasada. En cierta localidad se ve el desarrollo de diaclasa laminada. No se identifica una orientación específica en la parte diaclasada.

En el cauce del sitio de la presa, están expuestas rocas duras y frescas, pero en la parte superior de la vertiente y la cresta, se ven rocas fuertemente meteorizadas. El espesor del estrato acusadamente meteorizado se indica en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8 Espesores de Capas Altamente Meteorizadas en Pozos Perforados

Nombre de Perforación	Localización	Elevación (m)	Longitud (m)	Capa muy intemperizada	
				Espesor (m)	Profundidad (m)
CDB-1	Margen Izq.	208.84	70.0	0	2.05
CDB-2	Margen Izq.	183.95	60.0	0	7.75
CDB-3	Lecho río	136	50.0	0	4.8
CDB-4	Margen Der.	222.45	80.0	8.05	9.3
CDB-5	Margen Der.	222.45	70.0	4.5	12
CDB-6	Margen Der.	220.48	70.0	17.5	32
CDB-7	Margen Izq.	184.06	50.0	0	7.95
CDB-8	Margen Der.	204.33	50.0	2.7	3.7

En el cauce y en la margen izquierda, no se encuentra distribuido el estrato acusadamente meteorizado, aunque en la margen derecha el estrato meteorizado tiene un espesor de 10 metros o más. En la perforación CDB-6, el espesor del estrato fuertemente meteorizado es unos 17.5 metros, y si se incluye el suelo residual, el espesor alcanza unos 32 metros. Esto se debe a la distribución de toba que se meteoriza más fácilmente que el basalto.

(2) Estudio geotécnico

Las muestras de perforación obtenidas en el sitio de la presa están clasificadas de acuerdo a la norma indicada en la Tabla 7.4. Se clasificaron en 5 clases respecto a meteorización, dureza y espacio de fracturas.

Las rocas frescas distribuidas en el sitio de la presa se describen a continuación:

- Basalto gris oscuro (BD) duro pero diaclasado
- Basalto gris rojizo (BR) poco frágil y diaclasado
- Basalto aglomerado (Bag) poco frágil y no muy diaclasado
- Toba (Tf) frágil y no muy diaclasada

En la Figura 7.8, se indican las resistencias no confinadas a compresión de las rocas mencionadas. La resistencia del Basalto gris oscuro, Basalto gris rojizo, Basalto aglomerado y toba es de 800 a 1,200, unos 200, unos 200, y unos 100 kgf/cm^2 respectivamente.

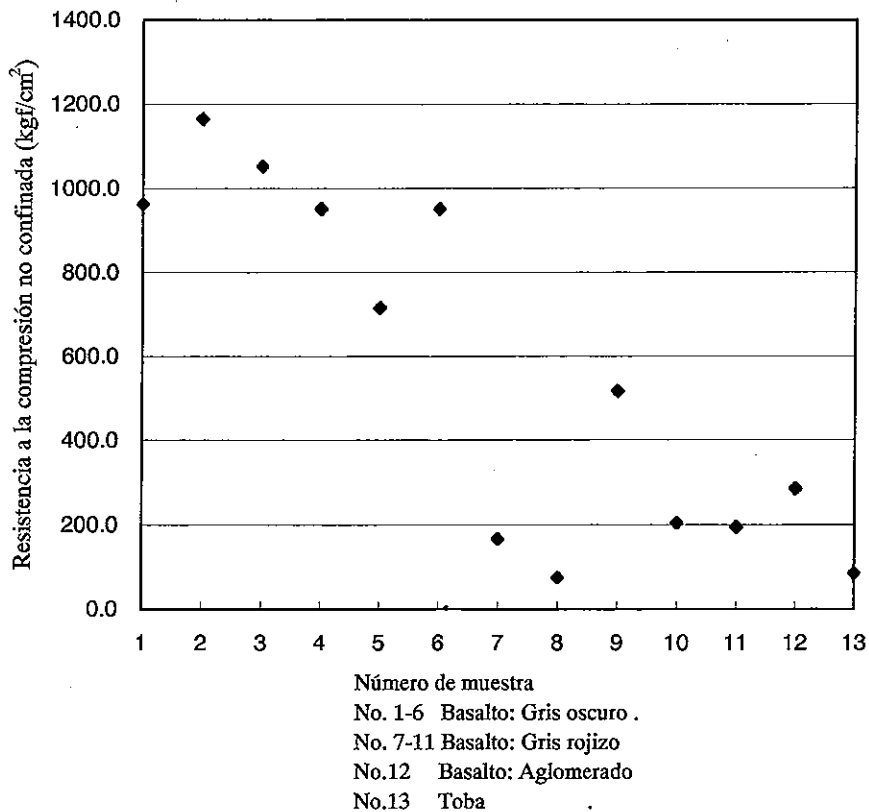


Fig. 7.8 Resistencia a la Compresión No Confinada

La masa rocosa se evalúa y clasifica en las clases A, B y C con base a la combinación de dureza y espaciamiento de fracturas indicadas en la Tabla 7.9.

Tabla 7.9 Evaluación de la Masa Rocosa

DUREZA	Espaciamiento Fracturas										Evaluación de la Roca	
	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5			
1												Masa rocosa Clase A
1-2												Masa rocosa Clase B
2					BD							Masa rocosa Clase C
2-3			BAg		BR							
3			Tf									
3-4												
4												
4-5												
5												

Posición de la masa rocosa fresca	
BD	Basalto: porción oscura
BR	Basalto: porción rojiza
BAg	Basalto: aglomerado
Tf	Toba

La masa rocosa de clase A no tiene problemas como lecho rocoso para la presa de concreto de gravedad. Esta clase corresponde a un grado japonés considerado apropiado para la base de presas de concreto de gravedad. La clase B necesitará una evaluación del lecho, realizando estudios detallados. La clase C es correlacionada con rocas fuertemente meteorizadas y las rocas de esta clase serán removidas desde la cimentación de la presa. Esta evaluación deberá ser revisada en los estudios detallados del diseño definitivo para tener más confiabilidad. En la Tabla 7.9, se indica la posición de rocas frescas en el sitio de la presa.

Esta evaluación también está indicada en el perfil de corte geológico de la Figura 7.6 y Figura 7.7. La cara de la clase A se encuentra no muy profunda en la margen izquierda, pero profunda en la margen derecha. La cara de la clase B es más profunda también en la margen derecha (Tabla 7.10).

Tabla 7.10 Espesores de Masas Rocosas Clase B y C

Nombre de Perforación	Ubicación	Elevación (m)	Longitud (m)	Masas rocosas Clase C		Masas rocosas Clase B		Espesor total (m)
				Espesor (m)	Profundidad (m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	
CDB-1	Margen izq.	208.84	70.0	0	2.05	0	2.05	0
CDB-2	Margen izq.	183.95	60.0	0	7.75	0	7.75	0
CDB-3	Lecho río	136	50.0	0	4.8	0	4.8	0
CDB-4	Margen der.	222.45	80.0	8.55	9.8	11.2	21	19.75
CDB-5	Margen der.	225.34	70.0	4.5	12	2.8	14.8	7.3
CDB-6	Margen der.	220.48	70.0	20.5	31	1	32	21.5
CDB-7	Margen izq.	184.06	50.0	2.7	3.7	4	7.7	6.7
CDB-8	Margen der.	204.33	50.0	0	7.95	2.05	10	2.05

A lo largo del río en el sitio de la presa, existe una posibilidad de tener fallas, sin embargo, aunque haya fallas, no se puede suponer la existencia de una zona amplia cizallada, considerando la distribución de la masa rocosa dura en el cauce.

La masa de toba es la que tiene la menor resistencia de las rocas encontradas en el sitio de la presa y tiene muchas zonas ablandadas por la meteorización. Los estratos están inclinados suavemente, sin embargo, según el reconocimiento de campo y los resultados de perforaciones, los estratos de toba tienen un relieve muy notable sin continuidad. Por lo tanto, no está afectada la estabilidad del lecho rocoso en el sitio de la presa.

(3) Hidrogeología

Nivel freático

El nivel freático sigue siendo medido en los pozos perforados. Ya se ha acumulado el registro de fluctuación del nivel de la margen izquierda durante unos 2 años a partir de diciembre de 2001 y durante un año aproximadamente a partir de diciembre de 2002 en la margen derecha, y se ha identificado la fluctuación del nivel. (Fig. 7.9)

El nivel freático en dichas perforaciones sube en la época de lluvia y baja en la época seca. En la época de lluvia, la subida del nivel en CDB-4, 5 y 8 es tan pequeña como 5 metros, pero es tan grande en CDB-1, y CDB-6 como más de 30 metros.

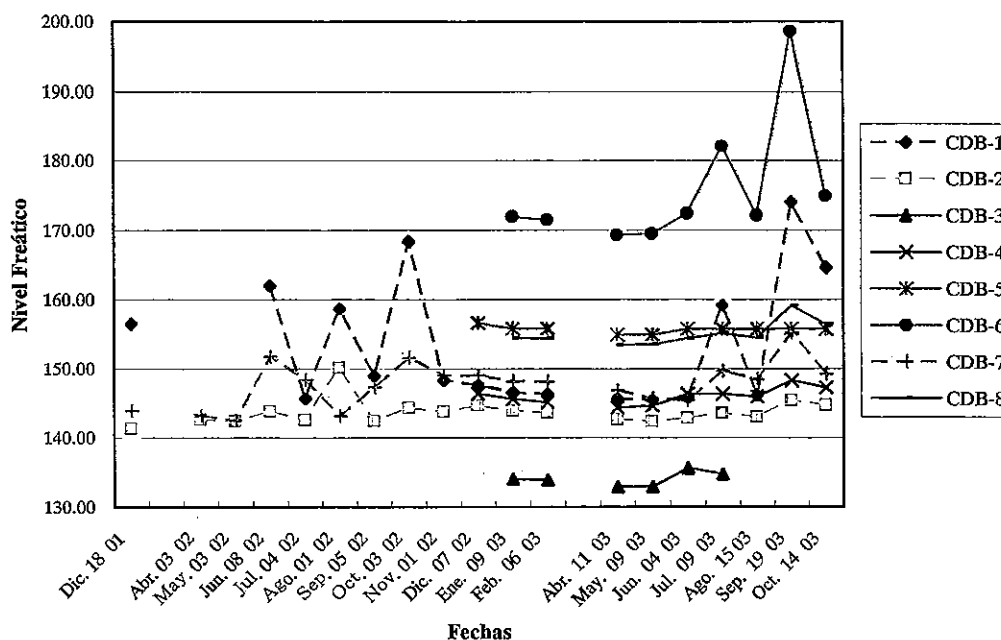


Fig. 7.9 Nivel Freático en Pozos Perforados

La Figura 7.6 y Figura 7.7 indica el nivel freático del sitio de la presa, registrado en la época seca (6 de febrero de 2003).

El nivel freático en el sitio de la presa está bajo. En otras palabras, el incremento del nivel en las perforaciones distantes del río es pequeño. En la margen izquierda, la diferencia entre el nivel freático y el nivel del río es aproximadamente 10 y 15 metros en las perforaciones de CDB-2 y CDB-7, que distan unos 60 metros del río, respectivamente. La diferencia entre el nivel del río y el nivel freático de la perforación CDB-1 que dista unos 150 metros es unos 13 metros. Aunque no tenemos mucha información sobre el nivel freático de otros lugares más lejanos, en una localidad de un poco más de 300 metros de elevación que dista unos 1,300 metros del sitio de la presa hacia el sur y unos 700 metros del río, se observaron un manantial y una quebrada llamada San Antonio en la época seca (en marzo de 2003), lo cual indica que dicha localidad y sus alrededores tienen un nivel freático alto.

En la margen derecha, se encuentra el nivel freático relativamente alto, como se observan en las perforaciones de distintas localidades: 12 metros y 21 metros en CDB-4 y CDB-8 que están a unos 100 metros del río, 22 metros en CDB-5 a unos 270 metros del río y 32 metros en CDB-6 a unos 400 metros del río. En una quebrada pequeña de la margen derecha, se pudo observar un curso de agua en la época seca (en marzo de 2003). Dicha localidad tiene unos 220 msnm (casi igual que el nivel máximo de operación propuesto del embalse) y dista unos 600 metros del río. Se supone que

la zona del collado, donde está la perforación CDB-6, y sus alrededores tienen un nivel freático alto.

Permeabilidad

La prueba de permeabilidad se realizó en las perforaciones del sitio de la presa. La Figura 7.11 indica la distribución de la permeabilidad en el sitio. Varios tramos de prueba tuvieron el valor de más de 10 Lugeon (61 % de todas las secciones). En la margen derecha, el 35 % de los tramos tuvieron más de 20 Lu.

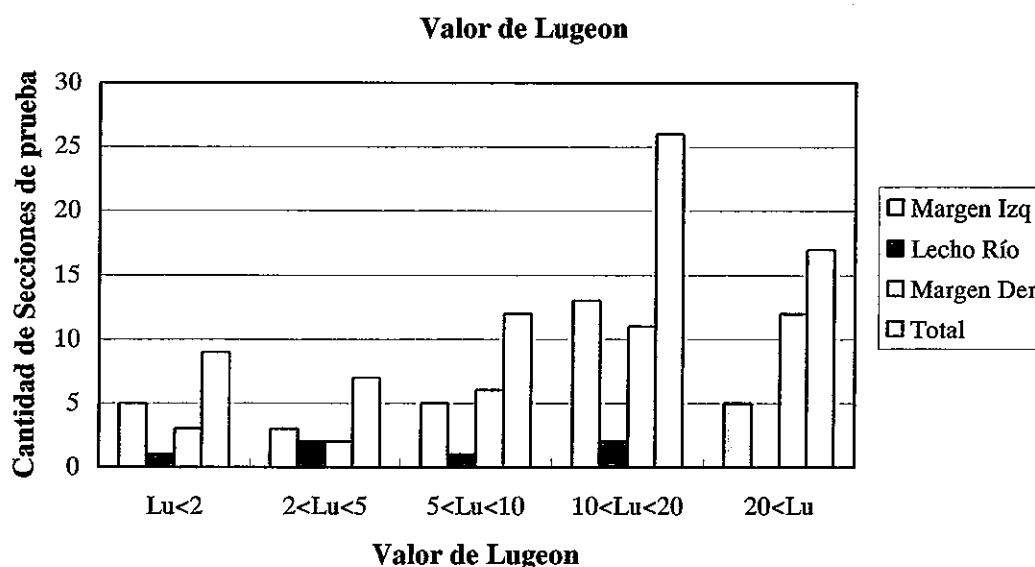


Fig. 7.11 Distribución del Valor de Lugeon en el Sitio de Presa

La perforación CDB-5, la que está ubicada en la margen derecha del sitio de la presa, tiene la permeabilidad más alta con más de 20 Lugeon en la mayoría de los tramos de prueba.

La perforación CDB-6 indicaba una presión crítica en la mayoría de los tramos de prueba. Los valores Lugeon fueron obtenidos, aplicando la presión efectiva de inyección de menos de 6 kg/cm² ó 7 kg/cm² con el resultado de menos de 10 Lu. Con el aumento de la presión de inyección en el mismo tramo, más que la presión crítica anterior, se incrementa el caudal, indicando más de 20 Lu. En este estudio, se han adoptado los valores Lugeon obtenidos antes de aplicar la presión crítica, debido a que la presión hidráulica al nivel máximo de operación de embalse que se aplicará a CDB-6A es menor que la presión crítica y el nivel freático en CDB-6A se mantendrá muy alto.

La perforación CDB-3, ubicada en el cauce, tiene 3 tramos con menos de 5 Lugeon en el total de 6 tramos de prueba. La parte profunda en ambos estribos está fuera de alcance por las perforaciones, pero parece de baja permeabilidad según el resultado de la prueba en la perforación CDB-3.

Los resultados de la prueba de permeabilidad no presentan diferencias hidrogeológicas en los aspectos litológicos. El basalto se clasifica en tres tipos: basalto gris oscuro, basalto gris rojizo y basalto aglomerado. Se supone que el más permeable es el basalto gris oscuro que tiene fisuras, pero no se pudo verificar debido a que era muy frecuente encontrar dos tipos gris oscuro y gris rojizo al mismo tiempo dentro de los tramos de prueba. En la época de estiaje la margen derecha se observan manantiales encontrados esparcidos en un tramo de unos 200 metros del río con el caudal aproximado de 10 litros por minuto. Este grupo de manantiales pequeños indica la existencia de una red que conecta zonas diaclasadas dentro de la masa rocosa, incrementando el grado de permeabilidad.

El basalto aglomerado tendrá baja permeabilidad debido a poca fisura que tiene. Esta suposición puede ser revelada por el hecho de que había muchos tramos de prueba que indicaban el valor Lugeon menos de 10 en las perforaciones de CDB-6A y CDB-3. Sin embargo, esta tendencia todavía no es muy clara. En la margen derecha del territorio hondureño a 1 kilómetro aguas abajo del sitio de la presa, se encontró una masa de toba que tenía manantiales en su parte superior y se suponía una baja permeabilidad, pero, por poca fluctuación del nivel freático por la penetración de barrena en la masa de toba durante el proceso de perforación, se reveló que la masa no estaba sirviendo de barrera hídrica. Es decir, por falta del cambio notable del nivel de agua dentro del pozo después de la penetración en toba, se entiende la falta de continuidad de los estratos de toba o el desarrollo de estructura diaclasada. Por consiguiente, en el sitio de la presa, no existe ninguna estructura hidrogeológica muy notable controlada por condiciones geológicas, y en general la masa rocosa tiene una alta permeabilidad pero cada vez menos permeabilidad según se incremente la profundidad.

7.3.3 Casa de Máquinas

La casa de máquinas será construida en un sitio excavado de la margen izquierda a unos 120 metros aguas abajo del eje de presa. El gradiente del sitio propuesto tiene un ángulo de unos 50 grados desde el nivel de cauce hasta el nivel de 180 msnm y unos 15 grados en la parte superior.

En el sitio propuesto, se hizo una perforación (CDB-7 con longitud de 50 m) y se realizó la prospección sísmica en una línea (CBS-2).

La vertiente suave de la parte superior está cubierta de los sedimentos de talud. Se confirmó en la perforación CDB-7 que los sedimentos llegan a un espesor de 7.95 metros. En la perforación CDB-7, se identificó un basalto duro desde los 11 metros de profundidad hasta el fondo de 50 metros (casi igual al nivel del cauce). (Fig. 7.12)

El lecho rocoso para la casa de máquinas se alcanzará, excavando la zona profunda de basalto, por lo tanto no habrá ningún problema de seguridad.

En el sitio de la casa de máquinas, es importante la evaluación de estabilidad en el talud excavado. En la perforación CDB-7, se identificaron dos tipos de basalto: uno gris oscuro y otro gris rojizo. El principal fue el basalto gris oscuro. No se observó ninguna intercalación de toba. Las condiciones geológicas no provocarán una inestabilidad del talud, debido a que el flujo de lava del basalto se inclina hacia los cerros en forma suave. En el tramo de la margen derecha entre la presa y la casa de máquinas, existe una vertiente continua con la inclinación de 50 a 70 grados, y el talud tendrá estabilidad mediante obras de refuerzo en la parte superficial.

7.3.4 Materiales de Construcción

(1) Volumen necesario de agregados

Para agregados del concreto, serán utilizadas las gravas del cauce de río en el sitio de construcción, sedimentos en las terrazas y materiales excavados en el sitio de presa y casa de máquinas. La cantidad total de concreto será aproximadamente de 430,000 m³: 390,000 m³ para el cuerpo de presa (incluyendo la ataguía aguas arriba) y 40,000 m³ para otras estructuras. Para preparar dicho volumen de concreto, se requerirán aproximadamente 520,000 m³ de materiales originales, es decir, 380,000 m³ para los agregados gruesos y 140,000 m³ para los finos.

(2) Calidad de agregados de concreto

Con respecto a la calidad de agregados, deberán considerarse las normas de ASTM C33-2001 y JIS (Norma Industrial del Japón) como se indican en la Tabla 7.11.

Tabla 7.11 Requerimientos para la Calidad del Agregado del Concreto

Norma de ASTM C33-2001

Item	Agregado Fino	Agregado Grueso	ASTM
Análisis granulométrico	en el requisito	en el requisito	C136
Contenido de arcilla y partículas friable	$\leq 3 \%$	$\leq 5 \%$	C142, 123
Impureza orgánica	Color de la solución es disipado que el color de la solución referencia	No especificado	C40
Material más fino que tamiz 75 μm	$\leq 3 \%$ (o 5 %)	≤ 1.0	C117
Carbón y lignita	$\leq 0.5 \%$ (1 %)	$\leq 0.5 \%$	C123
Estabilidad (Na_2SO_4)	$\leq 10 \%$	No especificado	C88
Abrasión	No especificado	$\leq 50 \%$	C131, 535
Reacción alcalina del agregado			C295, C289, C227

Norma de JIS A 5308 (como referencia)

Densidad seca	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	C127, C128
Absorción	$\leq 3.5 \%$	$\leq 3.0 \%$	C127, C128

Estos ítems se dividen en dos grupos. Un grupo es de ítems que pueden ser ajustados en el proceso de producción de agregados. Otro grupo es de ítems que no pueden ser ajustados en el proceso, debido a que son de propiedades propias de sus materiales originales como textura y mineral mismo.

(3) Investigación

Como la fuente de agregado de hormigón, se ha examinado depósito del Río Torola y roca de basalto. Por la investigación de las gravas y arenas del cauce del río Torola, se ha seleccionado un banco de arena y gravas a 2 kilómetros aguas arriba del sitio de la presa. Esta área está ubicada en un valle ancho. El fondo del valle donde se ubica el área prevista para la colección tiene un ancho de unos 150 metros y en la época seca está expuesto el fondo con el ancho de unos 100 metros. Dentro del valle, el banco está distribuido en la margen derecha en el tramo superior del río y en la margen izquierda en el tramo inferior. En la época seca, el banco tiene la altura máxima de 3 metros sobre el nivel de agua del río y en la superficie se encuentran muchas gravas de basalto de forma redonda con el diámetro de 20 a 50 centímetros. En el extremo superior del banco en ambas márgenes, está expuesta la masa de basalto, lo cual indica que es delgada la capa de gravas y arena. En la margen izquierda de esta zona, está extendida otra terraza de más de 100 metros de ancho y más de 5 metros más alta que el cauce y está cubierta de la capa de gravas y arena.

Para medir el volumen de arena y gravas, se realizaron la prospección sísmica y perforaciones. Se sacaron unas muestras en un pozo de excavación para las pruebas en laboratorio. (Tabla 7.12 y Fig. 7.3)

Tabla 7.12 Obras de Investigación en Areas de Préstamo

Investigación	Nombre	Cantidad	Longitud	Observaciones
Prospección Sísmica	CGS-1		390 m	
	CGS-2		130 m	
	CGS-3		130 m	
	CGS-4		130 m	
	CGS-5		390 m	
	CGS-6		130 m	
	CGS-7		130 m	
		7 líneas		1,430 m
Perforación	CGB-1		10 m	
	CGB-2		10 m	
	CGB-3		1.7 m	
	CGB-4		10 m	
	CGB-5		10 m	
		5 perforaciones		41.7 m
Calicatas		6 calicatas	18 m	3 m de profundidad
Pruebas de Laboratorio		6 grupos		C127, C128, C131, C535, C88, C136, C142, etc.

(4) Resultado de los estudios

Se examinó el volumen de gravas y arena del cauce en base a los resultados de la perforación. Después, se ajustó por espesores de sedimentos del cauce verificados en la perforación.

El área total del banco de arena objeto del estudio alcanza una extensión de unos 90,000 m² que está formado por el banco de la margen derecha de unos 50,000 m² (500 m de largo por 100 m de ancho) y el de la margen izquierda de unos 40,000 m² (400 m de largo por 100 m de ancho). La prospección sísmica provee espesor con perfil de capa de velocidad, que es muy útil para estimar el volumen del área total. El promedio de espesor de todas las líneas de prospección sísmica es 4 metros (Apéndice 7.12.2). Volumen asumido por prospección sísmica es de 360,000 m³. El espesor de los depósitos del río está confirmado por perforación y excavación de pozos. También se estimó por la prospección sísmica realizada cerca de la ubicación de perforaciones y pozos. (Tabla 7.13)

**Tabla 7.13 Espesores de Depósitos Fluviales en Perforaciones,
Calicatas y Líneas de Prospección Sísmica**

(Unidad: metro)

Perforación y Calicatas	Espesor de depósitos fluviales	Espesor representativo	Línea de prospección sísmica	Espesor de capas de velocidad superior	Espesor representativo
CGB-1 CGP-1	6 >3	6	CGS-1 CGS-2	4.5 4.5	5
CGB-2 CGP-2 CGP-6	2.7 > 3 > 3.5	3	CGS-1 CGS-3	3.5 4	3.75
CGB-3 CGP-3	1.7 1.5 - 1.9	1.7	CGS-1 CGS-4	34.5 2.2	3.35
CGB-4 CGP-4	6.5 > 3.25	6.5	CGS-5 CGS-6	5 2	3.5
CGB-5 CGP-5	1 > 2.2 ó 2.7	2	CGS-5 CGS-7	5 6.5	5.75
Promedio		3.84			4.27

El espesor confirmado por perforaciones y calicatas es diferente de lo indicado por prospección sísmica en algunos lugares (CGB-5). El posterior está mayor que el anterior.

La profundidad promedio de las perforaciones y calicatas es 3.8 metros. El espesor estimado por la prospección sísmica realizada cerca de la perforación y la calicata es 4.3 metros.

Volumen ajustado del espesor por la perforación es:

$$360,000 \text{ m}^3 \times (3.8 \text{ m} / 4.3 \text{ m}) = 318,000 \text{ m}^3$$

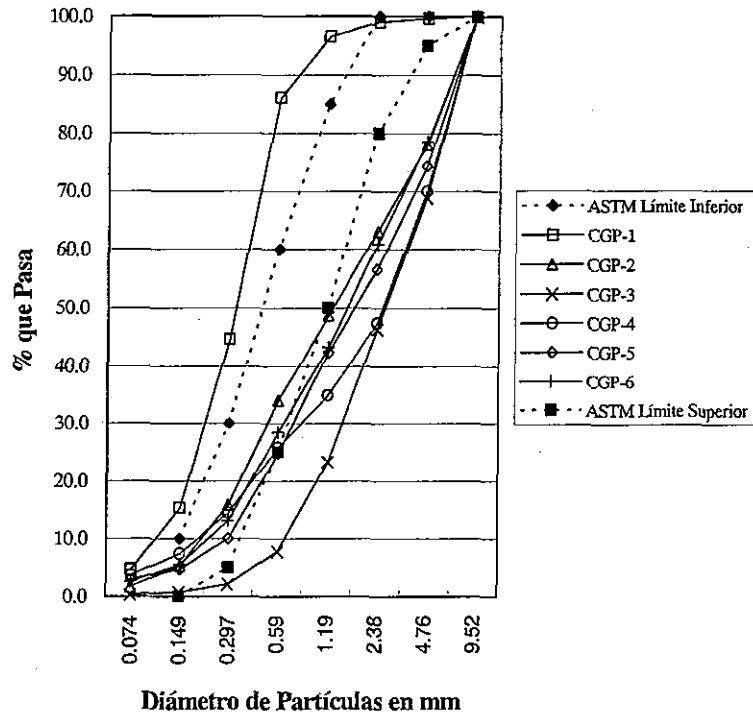
Este volumen no alcanza el volumen requerido de 520,000 m³. Sin embargo, podrá conseguirse una cantidad considerable de dicho volumen necesario, aprovechando gravas distribuidas en una terraza cercana de la margen izquierda del banco de préstamo dentro del área de estudios.

Aquí se muestra el resultado del examen de calidad de los sedimentos que se utilizarán como agregados. La Tabla 7.14 indica el resultado de la prueba en laboratorio.

La Figura 7.13 indica la composición granular. Los materiales para agregados finos no tienen tantas partículas gruesas como exige la norma ASTM, pero, será posible ajustar la distribución de tamaños de partículas para satisfacer el requisito, triturando o mezclando los agregados. Los materiales para agregados gruesos tienen más partículas finas que el volumen especificada por ASTM. En el área seleccionada, existen muchas gravas que tienen el diámetro de más de 100

milímetros (Apéndice 7.12.3), pero se podrá ajustar el tamaño de los materiales triturándolos, así se puede suministrar agregados gruesos del tamaño máximo de 3 ó 2.5 pulgadas en cantidad suficiente.

Análisis Granulométrico de Partículas Finas



Análisis Granulométrico de Partículas Gruesas

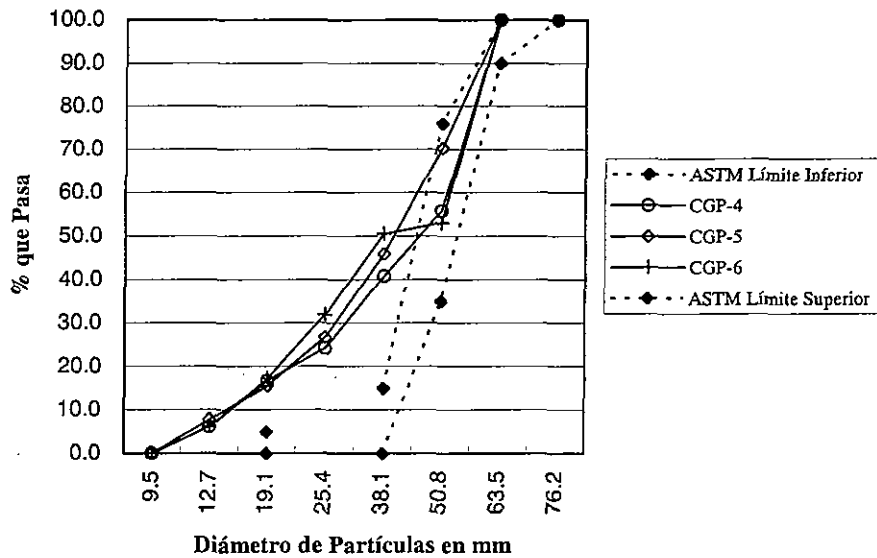


Fig. 7.13 Análisis Granulométrico

La prueba sobre las impurezas orgánicas no ha sido realizada, pero no se ha identificado visualmente ninguna descomposición orgánica ni plantas mezcladas.

No se ha realizado la prueba respecto al carbón y lignito. La cuenca es un área formada principalmente por las rocas volcánicas y en el campo no se observó ninguno de los dos. Por lo tanto, no se ha considerado la necesidad de hacer la prueba.

Con respecto al desgaste por abrasión, están satisfechas las condiciones de la norma.

Con respecto a la estabilidad (Na_2SO_4), unas muestras no satisfacen requerimientos de la norma. Sin embargo, como se describe en el párrafo de densidad y absorción, estas condiciones serán permisibles hasta cierto punto.

No se ha hecho la prueba para la reacción alcalina en agregado. La arena y gravas están compuestas por partículas de rocas volcánicas que en general indican la reactividad de agregados con álcali. El agregar cenizas finas (*fly ash*) será una resolución práctica para evitar la reactividad de agregados con álcali. Por lo tanto, deberá ser realizada la prueba detallada de reacción alcalina en agregado en la fase de Diseño Detallado. En dicha prueba, deberá ser incluida la confirmación del efecto de cenizas finas (*fly ash*).

Sobre el peso específico y absorción, los materiales de agregados finos no satisfacen la norma JIS. El problema es que en el resultado de la prueba de inalterabilidad, unas muestras sobrepasaron el 10 % y no podrán ser materiales consistentes. Hay también materiales de agregados gruesos que no satisfacen la inalterabilidad. Aunque dichos materiales satisfacen la norma del desgaste por abrasión, no podrán ser materiales consistentes. Sin embargo, el clima de la cuenca del río Torola es templado y no hay problemas de congelación, lo cual permite que sean aceptables algunos aspectos algo débiles de la textura de agregados.

Según los resultados de la prueba en laboratorio, las gravas y arena del cauce no satisfacen una parte de las normas de calidad como materiales de agregados, sin embargo se considera que no tendrán problemas. Esta conclusión está apoyada por el hecho de que el concreto de la presa en la Central 15 de Septiembre no sufra daños. Esta central está ubicada aguas abajo del sitio de presa El Chaparral y los agregados del concreto fueron sedimentos del cauce de río parecido al área de estudios.

Tabla 7.14 Resultados de las Pruebas de los Depósitos Fluviales

Norma de ASTM					
Item	Agregado fino	Resultado	Agregado grueso	Resultado	ASTM
Análisis granulométrico	En el requisito		En el requisito		C136
Contenido de arcilla y partículas friable	$\leq 3 \%$	0.5 - 3.4	$\leq 5 \%$	No prueba	C142, 123
Impureza orgánica	Color de la solución es disipado que el color de la solución referencia	No prueba	No especificado	No prueba	C40
Material más fino que tamiz 75 μ m	$\leq 3 \%$ (6.5 %)	No prueba	≤ 1.0	No prueba	C117
Carbón y lignita	$\leq 0.5 \%$ (1 %)	No prueba	$\leq 0.5 \%$	No prueba	C123
Estabilidad (Na ₂ SO ₄)	$\leq 10 \%$	4.6 - 22.5	No especificado	4.5 - 9.8	C88
Abrasión	No especificado	No prueba	$\leq 50 \%$	14.2-21.9	C131, 535
Reacción alcalina del agregado		No prueba		No prueba	C295, C289, C227
Norma de JIS (como referencia)					
Densidad seca	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	2.3 - 2.43	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	2.26-2.75	C127, C128
Absorción	$\leq 3.5 \%$	3.9 - 6.1	$\leq 3.0 \%$	0.9 - 4.7	C127, C128

También para hacer la prueba en laboratorio, se ha preparado una muestra de basalto conseguida en un afloramiento en un cerro situado aguas arriba del sitio de la presa en la margen izquierda. La muestra era un basalto levemente meteorizado. El resultado está indicado en la Tabla 7.15. Como piedras para los agregados, se encuentran materiales adecuados en los sedimentos del lecho de río, que podrán satisfacer la mayor parte del volumen requerido y también existe la posibilidad de poder utilizar piedras de basalto excavadas en las áreas de la casa de máquinas y la presa. Por lo tanto, no se ha realizado más investigación respecto a la cantera de basalto.

Tabla 7.15 Resultados de las Pruebas de Basalto

Descripción de prueba	Agregado fino	Resultados	Agregado grueso	Resultados	ASTM
Estabilidad (Na ₂ SO ₄)	$\leq 10 \%$	No prueba	No especificado	64.23 %	C88
Abrasión	No especificado	No prueba	$\leq 50 \%$	18.2 %	C131, 535
Reacción alcalina del agregado		No prueba		Sólo una muestra	C295, C289, C227
Densidad seca	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	No prueba	$\geq 2.5 \text{ g/cm}^3$	2.56 g/cm ³	C127
Absorción	$\leq 3.5 \%$	No prueba	$\leq 3.0 \%$	3.6 %	C127

7.4 Sitio del Proyecto La Honda

El sitio de la presa La Honda está ubicado a unos 15 kilómetros aguas arriba de la presa El Chaparral. El nivel máximo de operación en la presa será alrededor de 275 metros. En esta área, está cerrado el valle del río Torola con el cauce de unos 50 metros de ancho. Al largo del curso de agua serpentino del río Torola, se ve una topografía repetida de las vertientes escarpadas y suaves formadas por la acción erosiva del agua. Una vista seccional del valle del río tiene una pendiente pronunciada en una margen y una pendiente suave en otra, y no hay ninguna sección del valle que muestre la forma V hasta la altura de 100 metros sobre el cauce. En la vertiente suave, se ven terrazas a la altura de 20 a 40 metros sobre el cauce, las cuales están formadas por el basalto, aglomerado y toba de la Formación Morazán. El aglomerado no tiene muchas grietas y el basalto es duro pero agrietado. Ambas rocas tienen una distribución irregular con un contacto gradual entre sí. La toba se encuentra en forma de terrones con pocas grietas y distribuida en la parte alta de la margen izquierda. Los estratos se inclinan suavemente hacia la margen izquierda. En el cauce aparece un banco de arena y gravas en forma intermitente. En las terrazas, hay gravas y arena de tipo terraza y detrás de dicha zona hay una vertiente que tiene sedimentos de talud relativamente gruesos en su base.

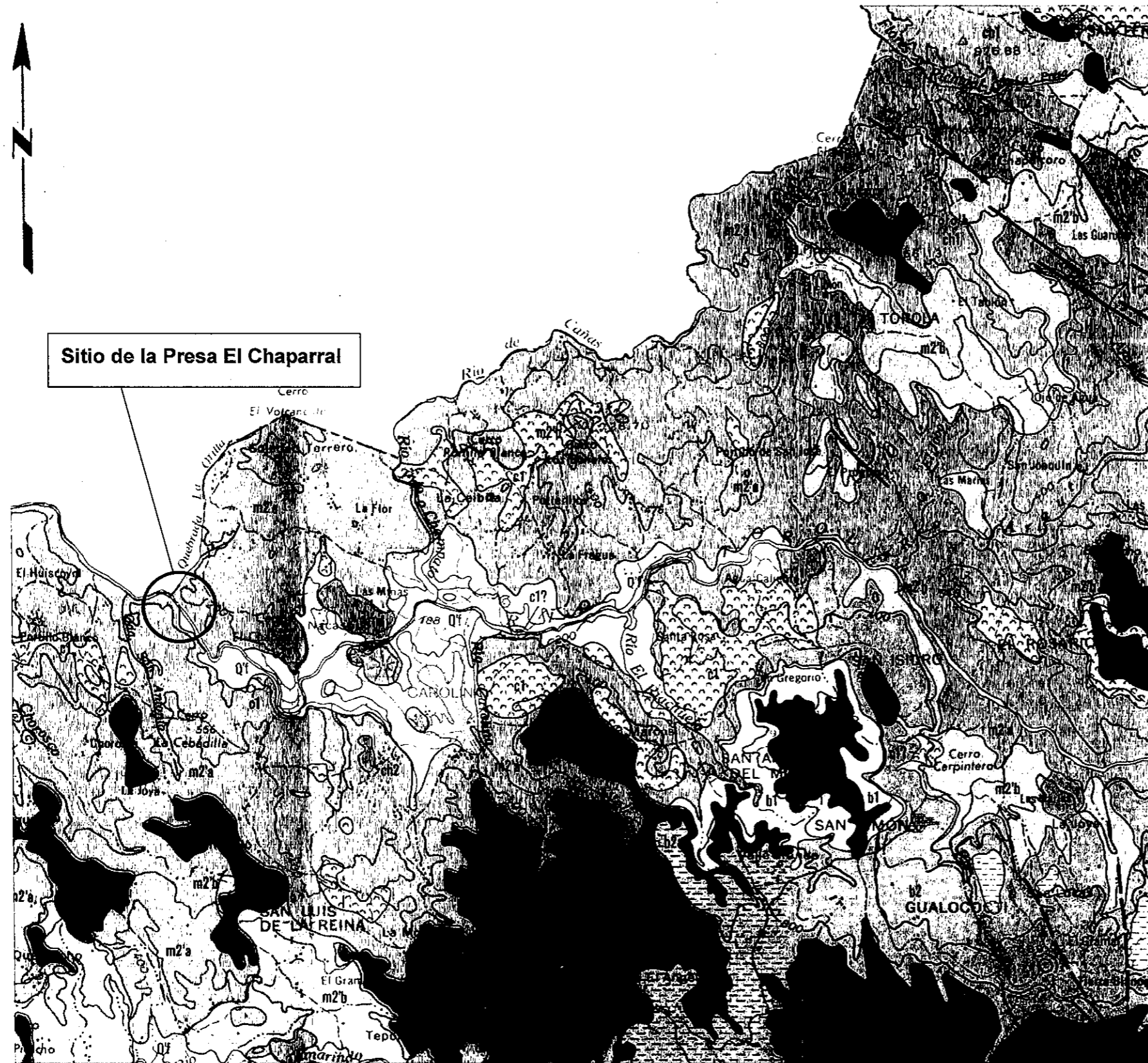
Dos sitios de presa fueron investigados a través de reconocimiento. Uno es un sitio adoptado en el estudio de prefactibilidad, donde se realizó la prospección sísmica. Otro es un sitio ubicado aguas arriba.

La margen derecha del sitio propuesto por el estudio de prefactibilidad es de una vertiente escarpada con la acción erosiva del agua y la margen izquierda es de una pendiente suave. La masa rocosa consiste en el aglomerado y el basalto. Los sedimentos superficiales son generalmente delgados y también parece delgada la capa de gravas y arena del cauce debido al afloramiento de rocas que se ve en el río. La prospección sísmica que se realizó en el estudio de prefactibilidad era para las zonas inferiores de vertientes e identificó unos estratos gruesos de 650 a 800 metros de espesor en la margen izquierda. En las vertientes suaves a la altura de 30 a 60 metros desde el nivel del cauce, se distribuyen los sedimentos de terraza y los sedimentos de talud gruesos (podrá alcanzar unos 10 metros) que cubren los anteriores. Se supone que la zona meteorizada de la masa rocosa es delgada. Se prevé que el nivel freático está bajo generalmente.

A unos 1.5 kilómetros aguas arriba del sitio propuesto por el estudio de prefactibilidad, hay otro sitio que tiene ventajas topográficas, el que se había analizado como sitio de aguas arriba. Este sitio tiene una vertiente muy escarpada con rocas expuestas en la margen izquierda. En la margen derecha también se ve una vertiente pronunciada a pesar de que exista una pequeña pendiente angosta y suave a la altura de unos 60 metros sobre el cauce. El lecho rocoso está formado por basalto y en la margen derecha se ve el afloramiento muy amplio del lecho rocoso duro. La zona

meteorizada es muy delgada y no se observan sedimentos de talud. En la margen derecha, también se ven muchas rocas expuestas y los estratos de sedimentos de talud generalmente son delgados. Los estratos delgados de toba rojiza intercalados en los de basalto se inclinan hacia el sudoeste (aguas abajo) con unos 20 grados. El sitio propuesto para la presa tiene una zona más baja (unos 280 msnm) que el nivel máximo de operación previsto del embalse en la margen izquierda, donde se necesitará construir una presa secundaria. En dicho lugar se distribuyen el basalto y toba que lo cubre. La toba está meteorizada. Casi no se encuentran sedimentos superficiales. Se supone que el nivel freático está bajo, debido a la distribución del basalto en el sitio de la presa principal y el de la secundaria.

Para agregados de concreto, se pueden aprovechar las gravas y arena que forman los bancos ubicados aguas arriba y aguas abajo de cualquiera de los dos sitios de presa. Sin embargo, necesitará tomar precauciones con el basalto que tiene mezclada la porción frágil de color gris rojizo. Para materiales de núcleo impermeable, los sedimentos de talud que cubren las terrazas de aguas arriba y aguas abajo serán objeto de utilización.



Sitio de la Presa El Chaparral

Una parte del Mapa Geológico 1:100,000 de la Republica de El Salvador (1978)

Cerro Cacahuatique

LEYENDA

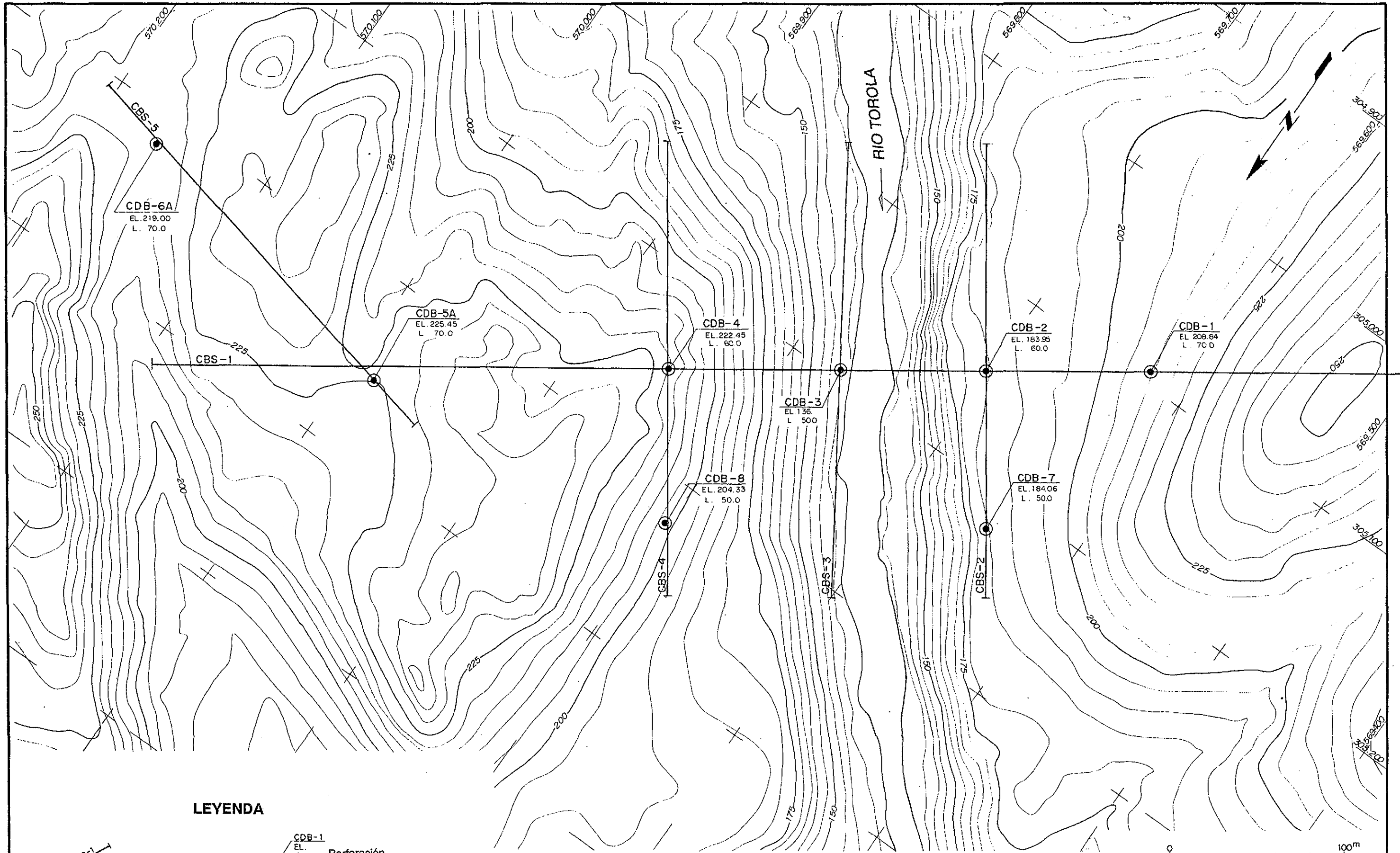
Kariozoikumii	Terciario Tertiär	Pleistoceno Pleistozän	Formación CUSCATLÁN Folge		s1
		Plioceno Pliozän	Formación BÁLSAMO Folge		b1
	Mioceno Miozän	Formación CHALATENANGO Folge		ch1	
		Formación MORAZÁN Folge		m2a	
	Eoceno Eozän	Formación MORAZÁN Folge		m2b	
		Formación MORAZÁN Folge		m2c	
	Oligoceno Oligozän	Formación MORAZÁN Folge		m2d	
		Formación MORAZÁN Folge		m2e	
	Eoceno Eozän	Formación MORAZÁN Folge		m2f	
		Formación MORAZÁN Folge		m2g	
Paleoceno Paleozän	Formación MORAZÁN Folge		m2h		
	Formación MORAZÁN Folge		m2i		

0 5km

PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL

Mapa Geológico del Area del Proyecto

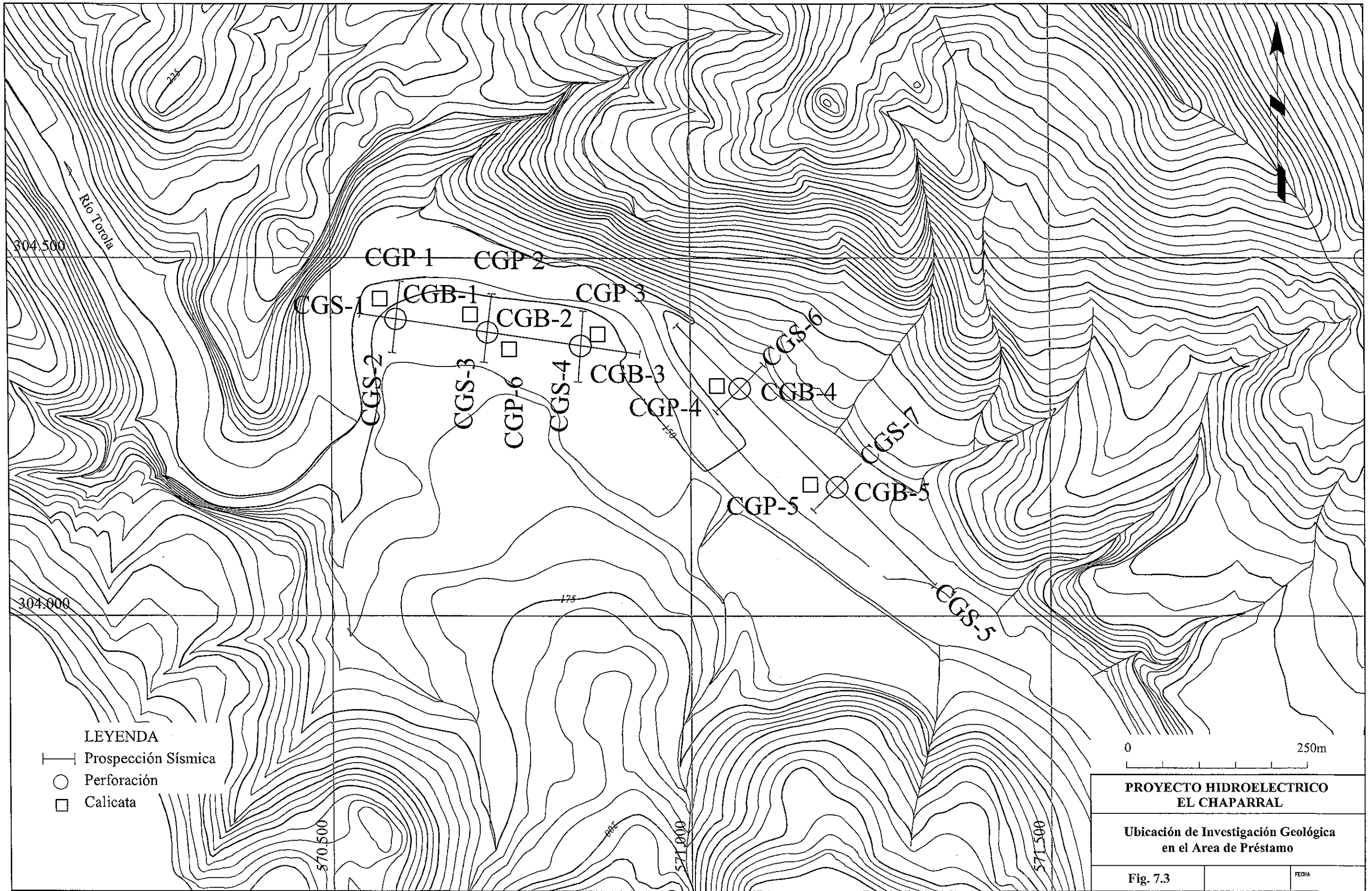
Fig. 7.1 FECHA

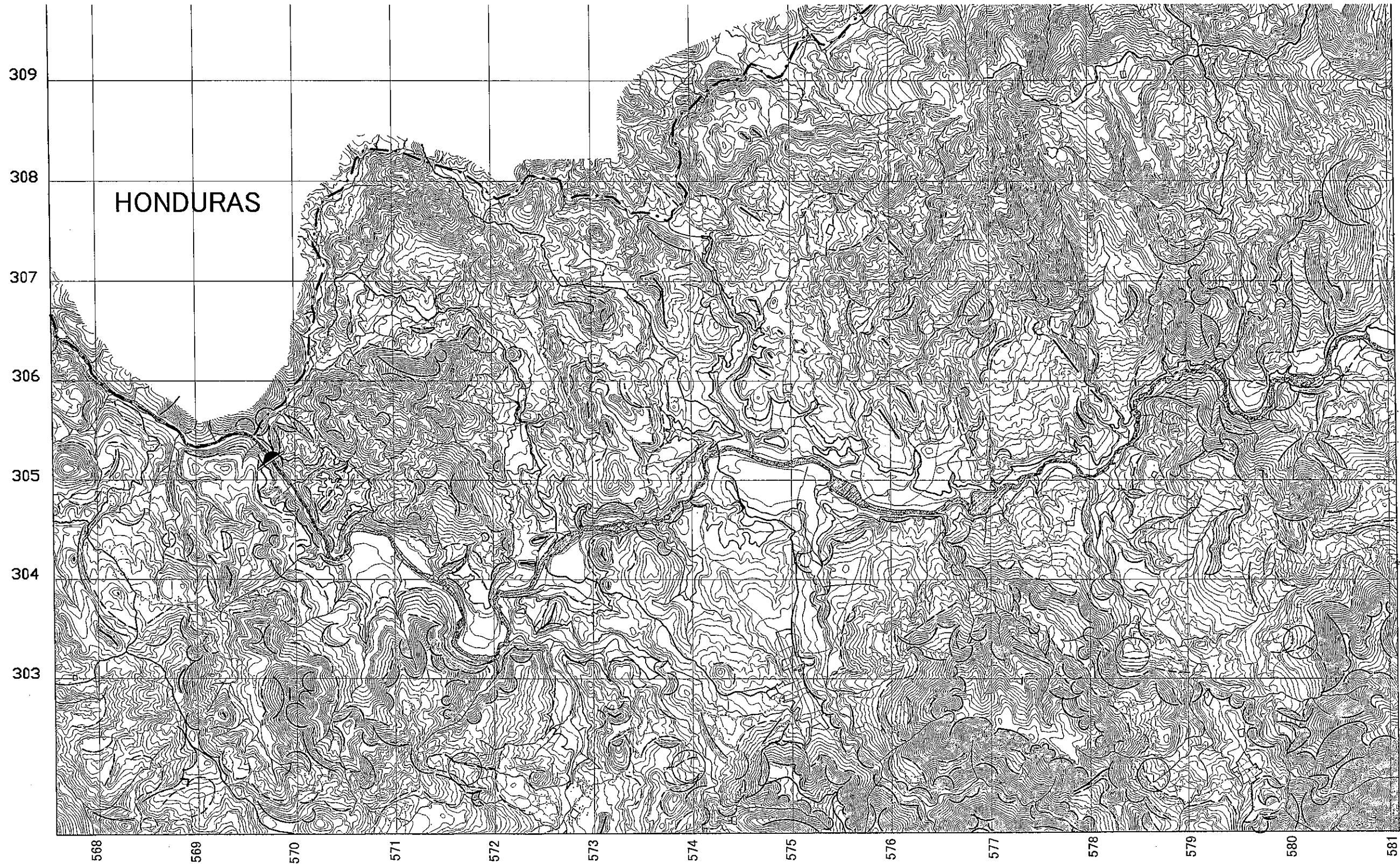


LEYENDA

-  Línea de prospección sísmica
-  Perforación
- EL. Elevación en msnm
- L. Longitud en metros

PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL
 Ubicación de Investigación Geológica
 en el Sitio de la Presa
 Fig. 7.2







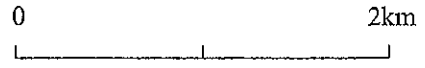


HONDURAS

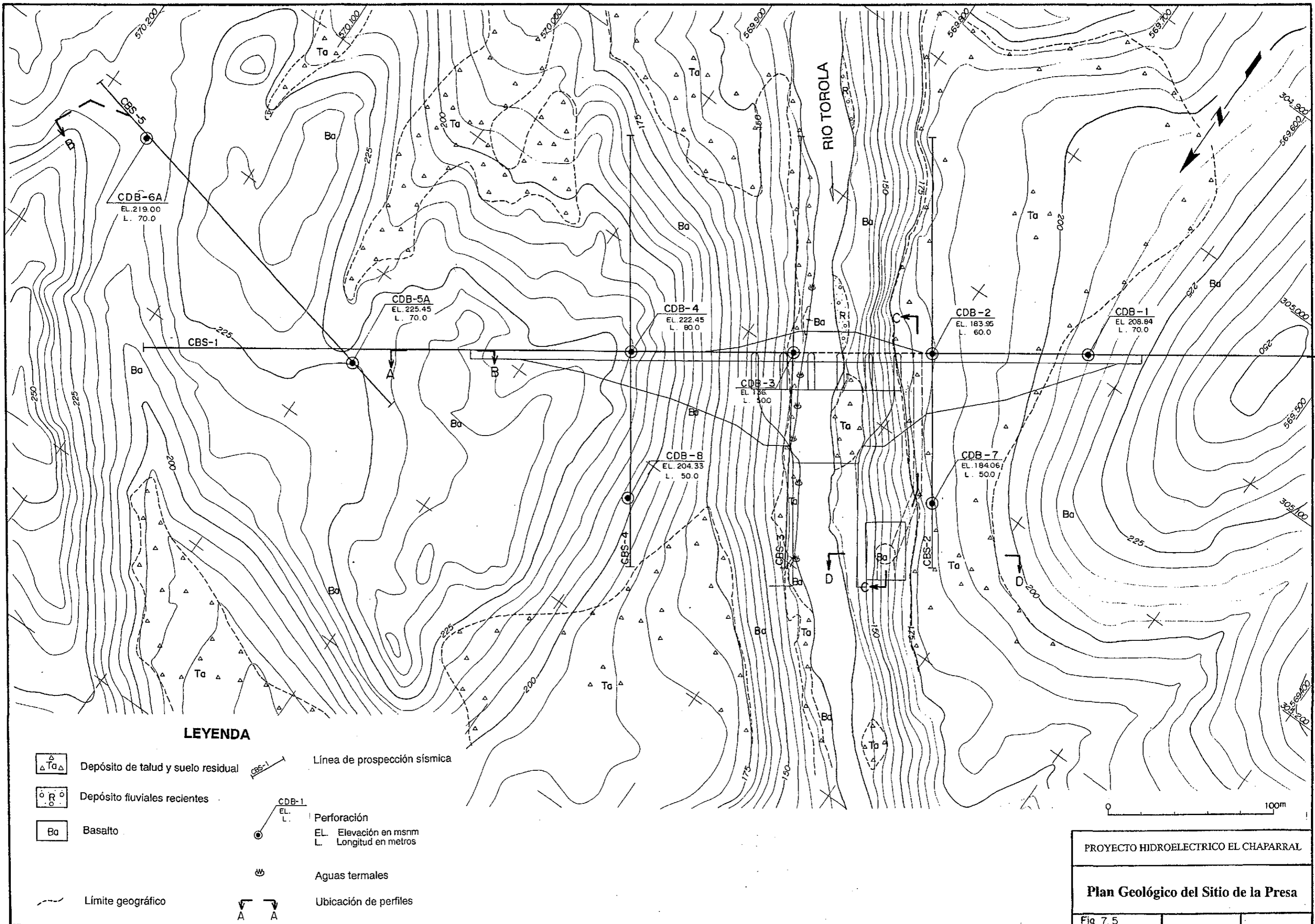


LEYENDA

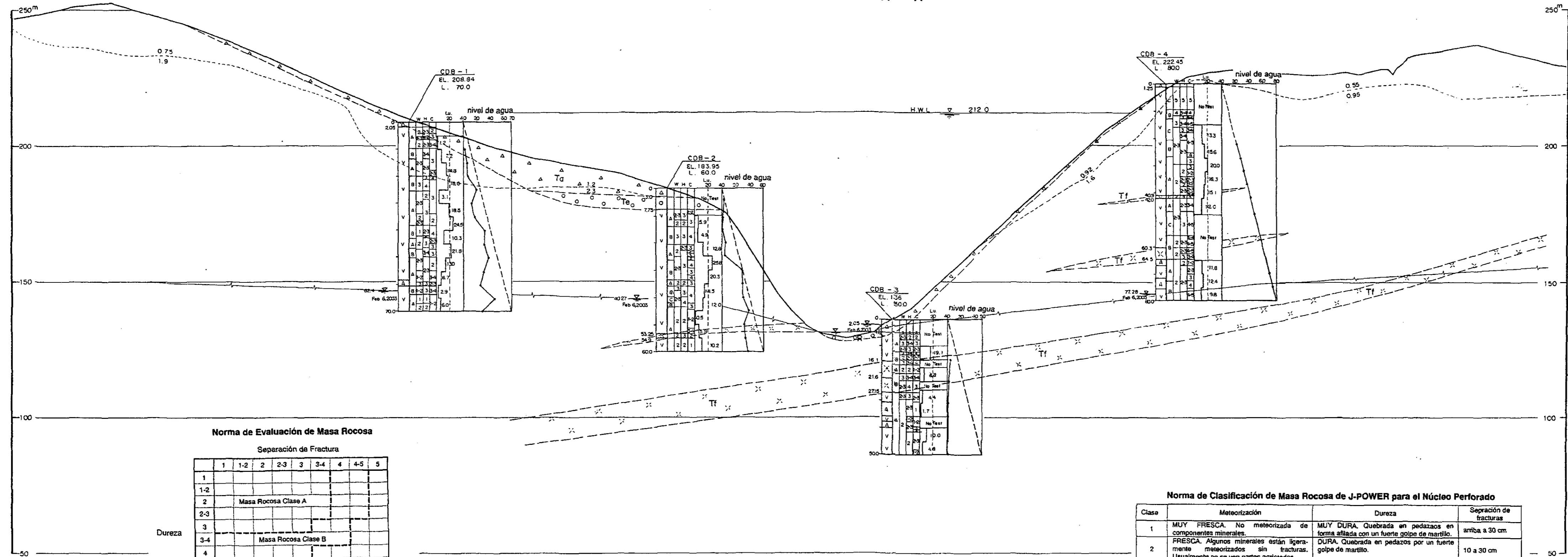
-  Perfil convexo de vertiente
-  Perfil cóncavo de vertiente
-  Cresta
-  Area de deslizamiento supuesto



PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL	
Mapa de Interpretación Topográfica del Area de Embalse	
Fig. 7.4	<small>FECHA</small>



PERFIL A - A



Norma de Evaluación de Masa Rocosa

Dureza	Separación de Fractura								
	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
1									
1-2									
2	Masa Rocosa Clase A								
2-3									
3	Masa Rocosa Clase B								
3-4									
4	Masa Rocosa Clase C								
4-5									
5									

Norma de Clasificación de Masa Rocosa de J-POWER para el Núcleo Perforado

Clase	Meteorización	Dureza	Separación de fracturas
1	MUY FRESCA. No meteorizada de componentes minerales.	MUY DURA. Quebrada en pedazaos en forma afilada con un fuerte golpe de martillo.	arriba a 30 cm
2	FRESCA. Algunos minerales están ligeramente meteorizados sin fracturas. Usualmente no se ven partes agrietadas.	DURA. Quebrada en pedazos por un fuerte golpe de martillo.	10 a 30 cm
3	POBREMENTE FRESCA. Algunos minerales están meteorizados. Fracturas manchadas con minerales meteorizados.	FRAGIL. Quebrada en pedazos por un medio golpe de martillo.	5 a 10 cm
4	METEORIZADA. Porciones frescas permanecen aún parcialmente.	MUY FRAGIL. Fácilmente quebrada en pedazos por un ligero golpe de martillo.	1 a 5 cm
5	FUERTEMENTE METEORIZADA. La mayoría de los minerales están meteorizados y alterados los minerales secundarios.	SUAVE. Capaz de perforarse con martillo.	abajo de 1 cm

LEYENDA

- Depósito de talud y suelo residual
- Depósito fluviales recientes
- Depósito de terraza
- Basalto
- Toba
- Límite geográfico
- Tabla de aguas subterráneas
- Capas de velocidad y su velocidad (km/s)

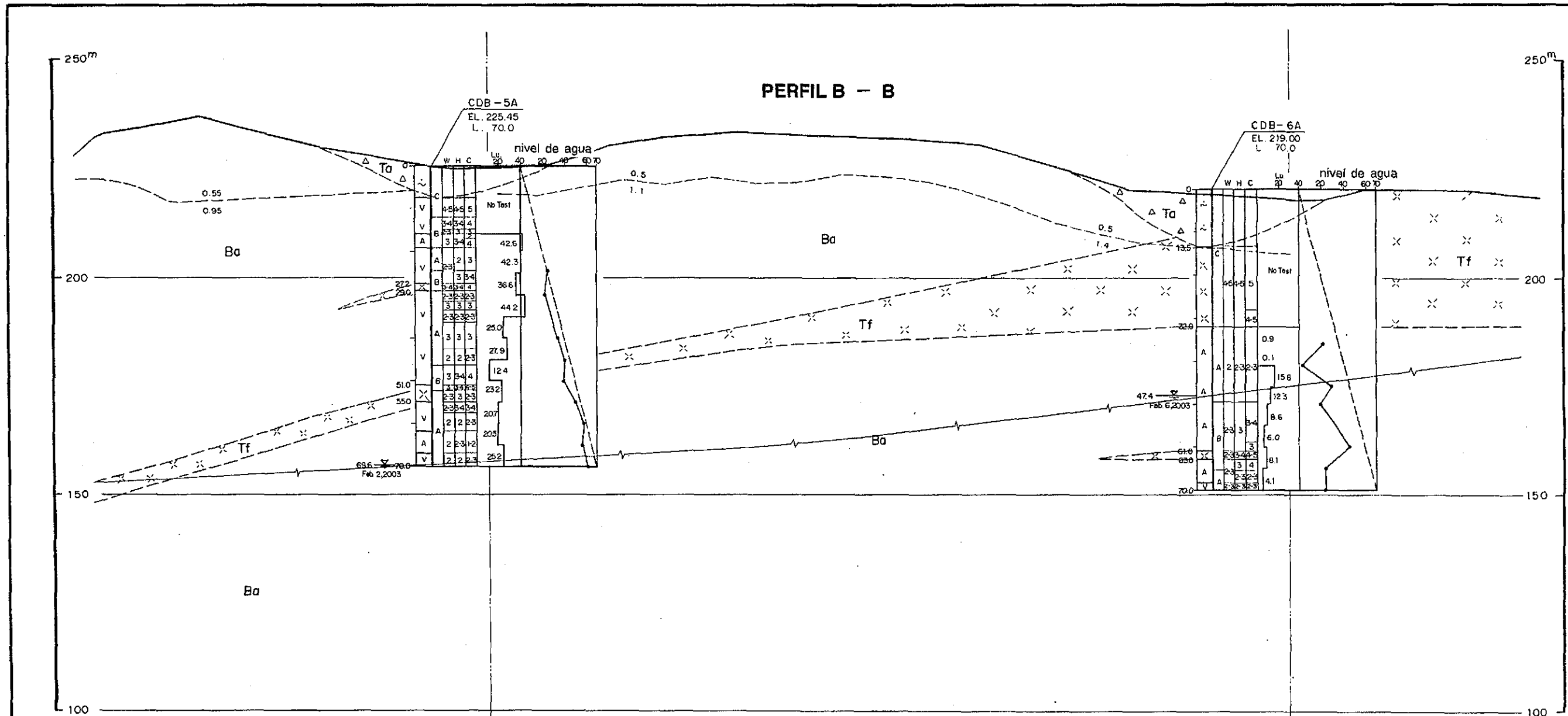
(REGISTRO DE PERFORACION)

Nombre de perforación: CDR-1
 EL: Elevación en msnm: EL.
 L: Longitud en metros: L.
 Clasificación de la roca:
 W: Meteorizada
 H: Dureza
 C: Separación de fracturas
 Nivel de agua durante perforación: nivel de agua (m)
 Lu: Valor de Lugeon (No Test: sección sin prueba)
 Nivel de agua en Registro Evaluación de la roca perforación y fecha geológico

- Suelo con gravas angulares
- Suelo con gravas redondas
- Suelo con pocas gravas
- Basalto
- Basalto aglomerado
- Toba

0 100m

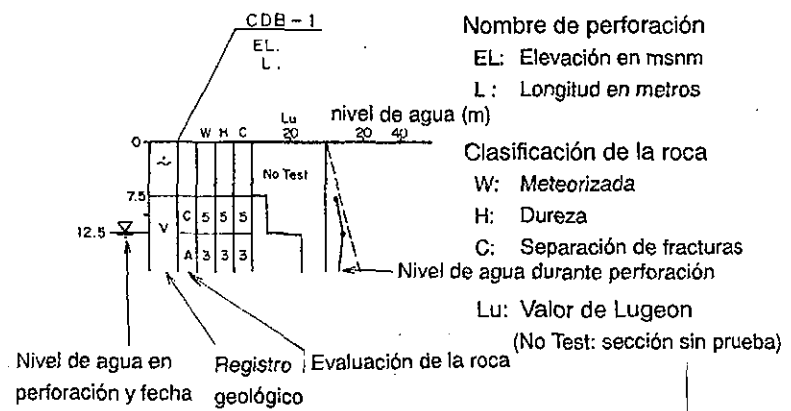
PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL
 Perfil Geológico del
 Sitio de la Presa
 Fig. 7.6



LEYENDA

- Depósito de talud y suelo residual
- Basalto
- Toba
- Límite geográfico
- Tabla de aguas subterráneas
- Capas de velocidad y su velocidad (km/s)

(REGISTRO DE PERFORACION)



- Suelo con pocas gravas
- Basalto
- Basalto aglomerado
- Toba
- Toba Lapilli

Norma de Clasificación de Masa Rocosa de J-POWER para el Núcleo Perforado

Clase	Meteorización	Dureza	Separación de fracturas
1	MUY FRESCA. No meteorizada de componentes minerales.	MUY DURA. Quebrada en pedazaos en forma afilada con un fuerte golpe de martillo.	arriba a 30 cm
2	FRESCA. Algunos minerales están ligeramente meteorizados sin fracturas. Usualmente no se ven partes agrietadas.	DURA. Quebrada en pedazaos por un fuerte golpe de martillo.	10 a 30 cm
3	POBREMENTE FRESCA. Algunos minerales están meteorizados. Fracturas manchadas con minerales meteorizados.	FRAGIL. Quebrada en pedazaos por un medio golpe de martillo.	5 a 10 cm
4	METEORIZADA. Porciones frescas permanecen aún parcialmente.	MUY FRAGIL. Fácilmente quebrada en pedazaos por un ligero golpe de martillo.	1 a 5 cm
5	FUERTEMENTE METEORIZADA. La mayoría de los minerales están meteorizados y alterados los minerales secundarios.	SUAVE. Capaz de perforarse con martillo.	abajo de 1 cm

Norma de Evaluación de Masa Rocosa

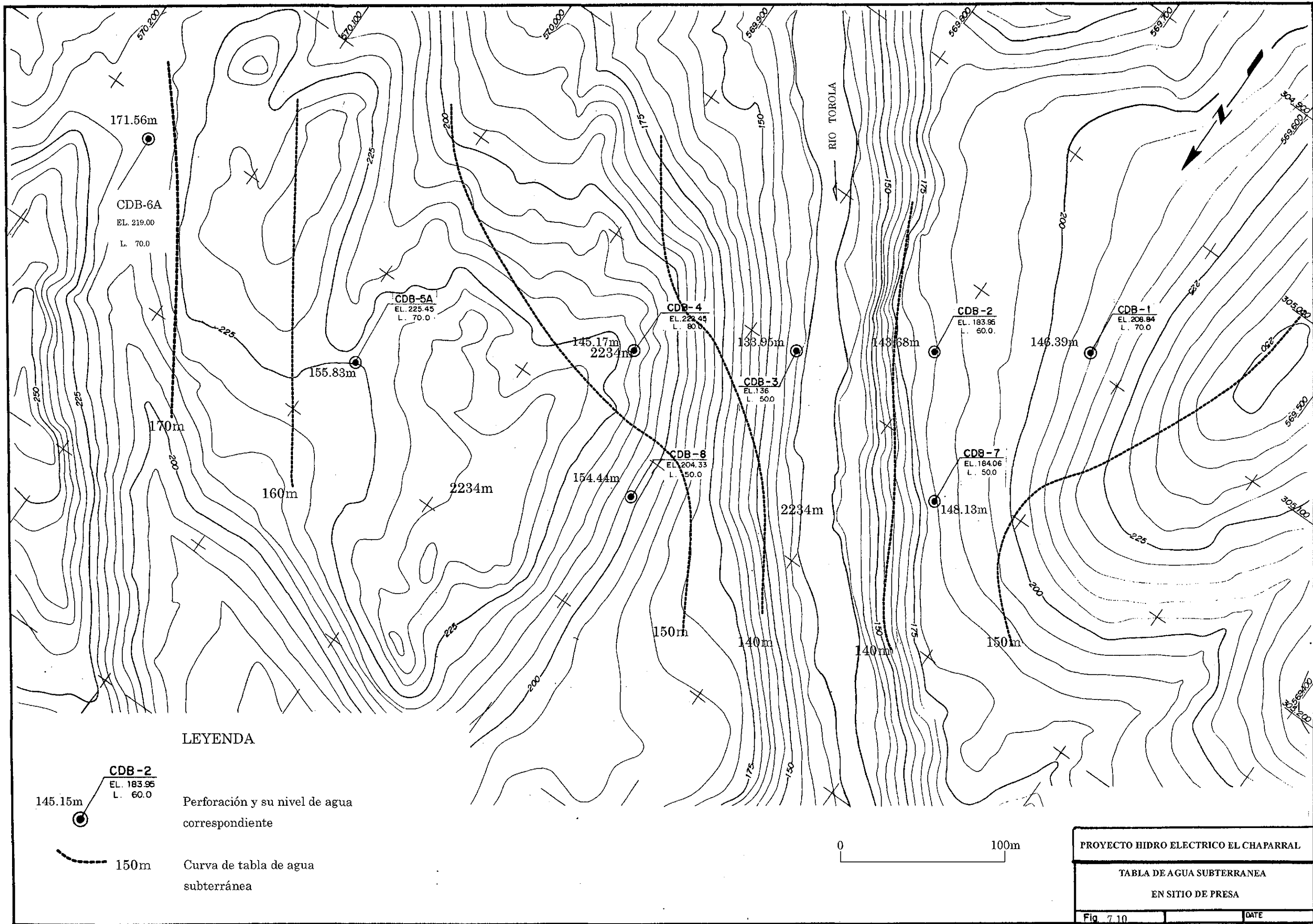
	Separación de Fractura								
	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
1									
1-2									
2	Masa Rocosa Clase A								
2-3									
3	Masa Rocosa Clase B								
3-4									
4	Masa Rocosa Clase C								
4-5									
5									



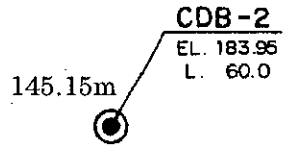
PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL

Perfil Geológico de la Margen Derecha

Fig. 7.7

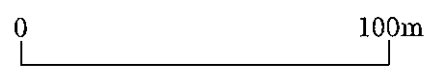


LEYENDA



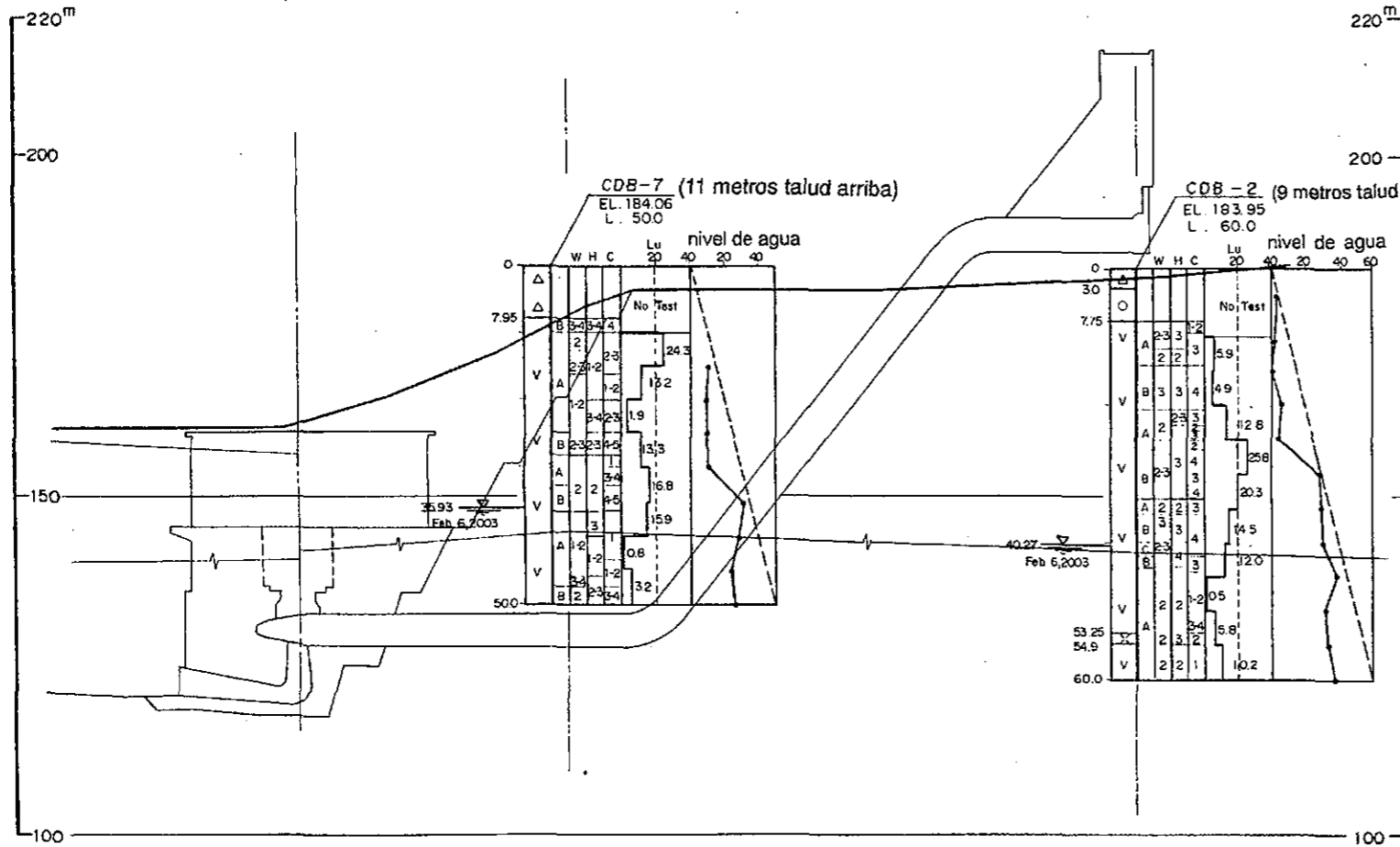
Perforación y su nivel de agua correspondiente

Curva de tabla de agua subterránea

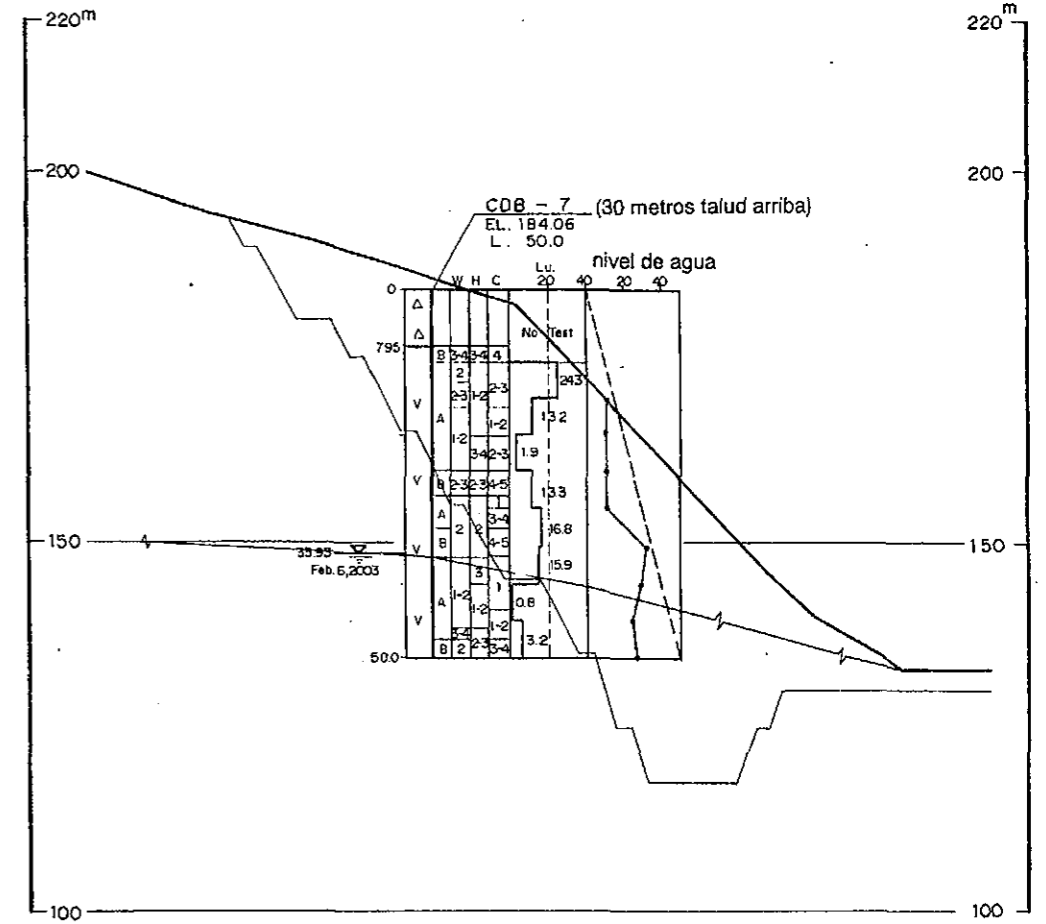


PROYECTO HIDRO ELECTRICO EL CHAPARRAL	
TABLA DE AGUA SUBTERRANEA	
EN SITIO DE PRESA	
Fig. 7.10	DATE

PERFIL C - C



PERFIL D - D



LEYENDA

(REGISTRO DE PERFORACION)

Nombre de perforación
EL: Elevación en msnm
L: Longitud en metros

Clasificación de la roca
W: Meteorizada
H: Dureza
C: Separación de fracturas

Lu: Valor de Lugeon
(No Test: sección sin prueba)

Depósito de talud y suelo residual
Basalto
Toba

Limite geográfico
Tabla de aguas subterráneas
Capas de velocidad y su velocidad (km/s)

Suelo con gravas angulares
Suelo con gravas redondas
Basalto
Basalto aglomerado
Toba

Norma de Clasificación de Masa Rocosa de J-POWER para el Núcleo Perforado

Clase	Meteorización	Dureza	Separación de fracturas
1	MUY FRESCA. No meteorizada de componentes minerales.	MUY DURA. Quebrada en pedazos en forma afilada con un fuerte golpe de martillo.	arriba a 30 cm
2	FRESCA. Algunos minerales están ligeramente meteorizados sin fracturas. Usualmente no se ven partes agrietadas.	DURA. Quebrada en pedazos por un fuerte golpe de martillo.	10 a 30 cm
3	POBREMENTE FRESCA. Algunos minerales están meteorizados. Fracturas manchadas con minerales meteorizados.	FRAGIL. Quebrada en pedazos por un medio golpe de martillo.	5 a 10 cm
4	METEORIZADA. Porciones frescas permanecen aún parcialmente.	MUY FRAGIL. Fácilmente quebrada en pedazos por un ligero golpe de martillo.	1 a 5 cm
5	FUERTEMENTE METEORIZADA. La mayoría de los minerales están meteorizados y alterados los minerales secundarios.	SUAVE. Capaz de perforarse con martillo.	abajo de 1 cm

Norma de Evaluación de Masa Rocosa

Separación de Fractura

	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5
1									
1-2									
2			Masa Rocosa Clase A						
2-3									
3									
3-4			Masa Rocosa Clase B						
4									
4-5			Masa Rocosa Clase C						
5									

0 50m

PROYECTO HIDROELECTRICO EL CHAPARRAL

Perfil Geológico del Sitio de la Casa de Máquinas

Fig. 7.12 DATE