

TRABAJO ESPECIAL

**DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EMBALSE
REQUERIDOS DURANTE PERÍODOS DE SEQUÍA
PROLONGADA EN EL EMBALSE GURI PARA SU ADECUADA
OPERACIÓN.**

PRESENTADO ANTE LA
ILUSTRE UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL BACHILLER
JUAN A. ARÉVALO G.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO
HIDROMETEOROGISTA

CARACAS, JULIO 1.998.

TESIS
AG
98

TRABAJO ESPECIAL

**DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EMBALSE
REQUERIDOS DURANTE PERÍODOS DE SEQUÍA
PROLONGADA EN EL EMBALSE GURI PARA SU ADECUADA
OPERACIÓN.**

PRESENTADO ANTE LA
ILUSTRE UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL BACHILLER
JUAN A ARÉVALO G.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO
HIDROMETEOROGISTA

CARACAS, JULIO 1.998.

TRABAJO ESPECIAL

**DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE EMBALSE
REQUERIDOS DURANTE PERÍODOS DE SEQUÍA
PROLONGADA EN EL EMBALSE GURI PARA SU ADECUADA
OPERACIÓN.**

PRESENTADO ANTE LA
ILUSTRE UNIVERSIDAD
CENTRAL DE VENEZUELA
POR EL BACHILLER
JUAN A ARÉVALO G.
PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO
HIDROMETEOROGISTA

TUTOR:
VALDEMAR ANDRADE P.

CARACAS, JULIO 1.998.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Juan Vicente Arévalo F. y Alice Groening P de Arévalo por su profunda paciencia, comprensión y confianza depositada en mi a lo largo de toda mi vida.

A mi abuela Esperanza Pulido de Groening por haberme permitido estar en su hogar.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de manera especial a Rebeca Panza, quien me dio todo su apoyo y cariño a lo largo del desarrollo de este trabajo.

A mis hermanos Juan Vicente, José Antonio y José Francisco, por su invaluable presencia.

A mi primo hermano Juan Carlos Guardia Arévalo, con quién retomé el camino de las montañas.

A mis tíos Sonya Groening P. de Roo y Hugo Groening P, por sus consejos y guía continua.

A todos los profesores del departamento de Hidrometeorología, por sus enseñanzas y buenas intenciones.

A todos mis amigos del Centro Excursionista Universitario, por su sincera amistad y solidaridad.

A todos mi más profundo agradecimiento.

INDICE

INDICE	I
LISTADO DE FIGURAS	II
LISTADO DE TABLAS	III
LISTADO DE ANEXOS	IV
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. MARCO TEÓRICO.	5
2.1 El fenómeno ENSO (EL NIÑO - SOUTH OSCILLATION).	6
2.1.1 EL NIÑO.	6
2.1.2 South Oscillation (Oscilación Sur).	9
2.1.2.1 Circulación Walker.	9
2.1.2.2 La Oscilació Sur.	9
2.1.3 La relación entre EL NIÑO y la Oscilación Sur (EL FENÓ - MENO ENSO).	11
2.1.4 ENSO y sus efectos en otros lugares del mundo.	16
2.2 Análisis de extremos volumétricos (desarrollo de hidrogramas volu - métricos).	17
2.2.1 Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP) de corto período.	18
2.2.2 Hidrograma de Extremos Volumétrico.	25
2.3 Desarrollo de las curvas de Masa Nivel, Duración y Frecuencia (NDF).	30
2.4 Operación del embalse.	35
2.4.1 Tránsito de caudales.	35
2.4.1.1 Condiciones de generación de energía y caudal turbinado (salidas).	35
2.4.1.2 Cambios en la cantidad de energía entre las curvas NDF.	38

2.4.1.3	Carga hidráulica y energía.	40
2.4.2	Operación del embalse.	41
3.	INFORMACIÓN BÁSICA RECOLECTADA	45
3.1	Aspectos geográficos y ubicación de la zona de estudio.	45
3.2	Información hidrométrica y pluviométrica.	46
4.	METODOLOGÍA	50
4.1	Metodología de la validación de los datos de caudal en Guri estimado.	50
4.2	Metodología del análisis estadístico para la obtención de los volúmenes de diseño.	52
4.3	Metodología del desarrollo de las curvas NDF.	54
4.4	Metodología de la operación del embalse de Guri.	56
4.4.1	Modo de operación del programa.	57
5.	RESULTADOS.	60
5.1	Validación de los caudales mínimos históricos del río Caroní en el sitio de presa.	60
5.2	Relación entre eventos EL NIÑO y la ocurrencia de los caudales mínimos históricos en el río Caroní.	65
5.3	Desarrollo de los hidrogramas HAVP, HEV y curvas NDF.	68
5.4	Operación del embalse de Guri.	68
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	71
7.	CONCLUSIONES.	74
8.	RECOMENDACIONES.	76
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

II

LISTADO DE FIGURAS.

FIGURA N°

1.	INDICE SST Y SECTORES DE ESTUDIO DE EL NIÑO.	8
2.	CORRIENTES OCEÁNICAS EN CONDICIONES NORMALES a) Y DURANTE EL DESARROLLO DE UN EVENTO EL NIÑO b).	10
3.	CIRCULACIÓN WALKER EN CONDICIONES NORMALES Y DURANTE EL DESARROLLO DE UN EVENTO EL NIÑO.	12
4.	INTERACCIÓN OCÉANO - ATMÓSFERA DURANTE EL DESARROLLO DE UN EVENTO EL NIÑO.	14
5.	INFLUENCIA DE LA ANOMALÍA OCEÁNICA EL NIÑO SOBRE VARIAS REGIONES DEL MUNDO.	17
6.	ESTACIÓN SECA (-) Y DE APORTES MÍNIMOS. ESTACIÓN LLU - VIOSA O DE APORTES MÁXIMOS (+).	19
7.	DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS EXTREMOS GUMBEL PARA EVEN - TOS MÍNIMOS.	21
8.	HIDROGRAMA OBSERVADO (a) E HIDROGRAMA ADIMENSIONAL.	22
9.	HIDROGRAMA SIN SOLAPAR.	23
10.	HIDROGRAMA SOLAPADO.	24
11.	HIDROGRAMA ADIMENSIONAL VOLUMÉTRICO PROMÉDIO.	24
12.	HIDROGRAMA VOLUMÉTRICO PROMEDIO.	25
13.	DISTRIBUCIÓN DE EVENTOS EXTREMOS MÍNIMOS PARA DIFEREN - TES PERÍODOS "p" CONSECUTIVOS.	27
14.	HIDROGRAMA DE EXTREMOS VOLUMÉTRICO.	29
15.	HIDROGRAMA VOLUMÉTRICO PROMEDIO EXPRESADO EN VOLUMEN.	31
16.	CURVA DE MASA VOLUMEN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	33
17.	CURVA DE MASA NIVEL EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.	33
18.	CURVA DE MASA NDF.	34

19.	REGLA NORMAL DE OPERACIÓN UTILIZADA EN EL EMBALSE GURI.	36
20.	CURVAS NDF PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.	39
21.	ENERGÍA GENERADA ENTRE CADA PARA DE CURVAS NDF.	39
22.	FLUCTUACIÓN DEL NIVEL DEL EMBALSE BAJO DIFERENTES CON - DICIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.	43
23.	ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS. VOLUMEN MÍNIMO APORTA - DO AL EMBALSE	54
24.	CURVAS NDF PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.	54
25.	FLUCTUACIÓN DEL EMBALSE DURANTE UN PERÍODO DE DÍAS CONSECUTIVOS.	58
26.	CAUDAL MEDIO ANUAL EN GURI PERÍODO 1.950 - 1.995.	61
27.	COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL RÍO ORINOCO Y EL CAUDAL DEL RÍO CARONÍ. PERÍODO 1.950 - 1.995.	62
28.	COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL RÍO ORINOCO Y EL CAUDAL DEL RÍO CARONÍ. PERÍODO 1.952 - 1.977.	62
29.	COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO DEL GRUPO DE ESTACIONES Y DEL CAUDAL DEL RÍO CARONÍ PERÍODO 1.958 - 1.970.	63
30.	COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN PROMEDIO DEL GRUPO DE ESTACIONES Y DEL CAUDAL DEL RÍO CARONÍ PERÍODO 1.958 - 1.966.	64
31.	COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DE LOS AÑOS 1.964 Y 1.965 CON EL CAUDAL MEDIO MENSUAL DEL PERÍODO 1.950 - 1.996.	64

III

LISTADO DE TABLAS

TABLA N°

1.	VOLUMEN MÍNIMO DE APORTES PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.	28
2.	DETERMINACIÓN DEL T_{vp} PARA UN PERÍODO "p" Y UN INTERVALO "a" DE REGISTRO.	29
3.	ANÁLISIS DE EXTREMOS VOLUMÉTRICO PARA EL PERÍODO DE RETORNO DE DISEÑO.	30
4.	PERÍODO DE REGISTRO DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS UTILIZADAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL EN EL SITIO DE PRESA.	47
5.	CURVAS DE ÁREA - ALTURA - CAPACIDAD.	48
6.	CRONOLOGÍA DE EVENTOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA.	49
7.	CANTIDAD DE ENERGÍA GENERABLE ENTRE CADA CURVA NDF.	58
8.	RELACIÓN ENTRE PERÍODOS SECOS EN LA CUENCA DEL RÍO CARONÍ Y EL FENÓMENO EL NIÑO.	65
9.	PERÍODOS DE DÍAS CRÍTICOS	69

IV

ANEXOS.

ANEXO A

Mapa geopolítico de la República de Venezuela.

Mapa geopolítico del Estado Bolívar.

Mapa de la cuenca del río Caroní.

ANEXO.B

Gasto medio mensual del río Caroní en Guri. Período 1.950 – 1.996.

Nivel medio mensual del río Orinoco en Palua. Período 1.943 – 1.995.

Precipitación media mensual. Estación Macagua. Período 1.958 – 1.970.

Precipitación media mensual. Estación Tumeremo FAV. Período 1.958 – 1.970.

Precipitación media mensual. Estación El Manteco. FAV. Período 1.958 – 1.970.

ANEXO C

Correlación entre el caudal de río Caroní Vs el nivel del río Orinoco. Período 1.950 – 1.995.

Correlación entre el caudal de río Caroní Vs precipitación media del grupo de estaciones. Período 1.958 – 1.970.

ANEXO D

Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio. Para 213 días consecutivos. Río Caroní en Guri.

ANEXO E

Aplicación de una distribución de eventos extremos de Gumbel a los volúmenes mensuales acumulados desde octubre hasta abril. Período 1.950 – 1.995.

Aplicación de una distribución de eventos extremos de Gumbel a los volúmenes acumulados mínimos para diferentes series de días consecutivos desde octubre hasta abril. Período 1.950 – 1.995.

Prueba de bondad de ajuste aplicado a la distribución de probabilidad de Gumbel,
para el desarrollo de los hidrogramas volumétricos.

Comparación entre el volumen observado y el volumen teórico.

Hidrogramas adimensionales desarrollados para diferentes períodos.

ANEXO F

Diagrama de flujo de la operación del embalse.

ANEXO G

Gráficas de la operación del embalse.

RESUMEN

En este trabajo se presentan los volúmenes de embalse en períodos de sequía prolongada en el embalse Guri, obtenidos de la operación del embalse durante el período 1.958 - 1.978, utilizando un método que selecciona la cantidad de energía generable a través de bandas o sectores de energía a medida que el nivel del embalse varía. Estos sectores de energía están definidos por las curvas de Nivel - Duración - Frecuencia (NDF) que derivan del desarrollo de los Hidrogramas Volumétricos Promedio (HVP).

Estos HVP se desarrollan a partir del análisis de extremos (mínimos) de caudal diario aportados al embalse Guri durante el período 1.950 - 1.996. Es importante indicar que es la primera vez que se desarrollan los HVP para caudales mínimos por lo que también se pretende verificar su aplicabilidad en el diseño hidrológico.

También se estudia la posible relación entre la anomalía oceánica EL NIÑO y la ocurrencia de caudales mínimos históricos aportados al embalse Guri. Para este análisis se verificó la coincidencia temporal entre eventos EL NIÑO y la ocurrencia de caudales medios mensuales del período Octubre - Abril que estuvieran por debajo del caudal promedio de todos los caudales medios mensuales del período 1.948 - 1.995.

Se determinó que en un 84 % de los períodos en los que el caudal medio mensual estuvo por debajo del promedio coinciden con la ocurrencia de eventos EL NIÑO.

1. INTRODUCCIÓN.

El agua, además de ser un elemento esencial para la vida, es un recurso natural de suma importancia para el desarrollo de las actividades del hombre. A través de la historia de la humanidad se puede observar como el florecimiento de muchas civilizaciones dependió de la presencia del vital líquido.

En la actualidad el uso que tiene el agua es muy variado y no solo se limita al consumo humano directo sino que también es necesaria para las actividades agrícolas e industriales y para la generación de energía. En este sentido se diseñan obras con fines de aprovechamiento del recurso que permitan cubrir las demandas, tanto de consumo como de generación de energía hidroeléctrica, en constante aumento o para prevenir pérdida de vidas y de bienes provenientes de desastres naturales fuera de control como inundaciones y desbordamientos de ríos.

Pero no solo las inundaciones son causantes de daños, existen también las sequías cuyos efectos son más prolongados y abarcan mayores extensiones de superficie. La carencia del agua afecta directamente todas las actividades humanas al quedar los embalses incapacitados para suplir las demandas, además es la causante indirecta de incendios forestales y pérdida de cosechas. Como se puede ver los daños causados por las sequías prolongadas son más sutiles y de mayor duración.

En Venezuela la ocurrencia de sequías a sido registrada, en este sentido Marco Aurelio Vila en su libro "Las sequías en Venezuela" relata:

“En 1.956 - 1.957 la sequía castigó el sector sur de la depresión de Yaracuy, el pié de monte andino - llanero, los llanos altos centrales, las Mesas y las tierras que rodean el golfo de Cariaco.

Una dura y prolongada temporada de sequías en las tierras que se extienden al norte del río Orinoco y Meta se extendió de 1.957 - 1.958 hasta 1.963 - 1.964; alcanzando máxima amplitud espacial en el año físico 1.958 - 1.959. Cubrió grandes superficies del territorio nacional en 1.959 - 1.960 y en 1.961 - 1.962. En el año físico 1.962 - 1.963 pareció tender a reducirse la superficie aquejada por la sequía; cuando de nuevo tomó notoria extensión en el año físico 1.964 - 1.965”.

El propósito de este trabajo es determinar los volúmenes de embalse requeridos en el embalse de Guri en períodos de sequía prolongada utilizando un método que nos permita establecer los criterios de operación del embalse basados en la ocurrencia de sequías durante el período 1.958 - 1.978.

Para cumplir con este propósito el trabajo ha sido estructurado de manera que cumpla con los siguientes objetivos:

.- Verificación de la ocurrencia de los caudales mínimos históricos del río Caroní, aportados al embalse durante el período 1.958 - 1.970. Para lograr este propósito se establecieron correlaciones entre el caudal aportado al embalse de Guri con el nivel del río Orinoco en Palua y también con la precipitación promedio de las estaciones El Manteco, Macagua y Tumeremo.

.- Establecer un vínculo entre la anomalía oceánica El NIÑO y la ocurrencia de los caudales mínimos históricos aportados al embalse Guri. En este sentido se realizó un análisis que permitió determinar la relación porcentual entre eventos EL NIÑO y

la ocurrencia de caudales por debajo del promedio del intervalo comprendido entre Octubre y Abril de la serie histórica 1.950 - 1.996.

.- Desarrollo de los Hidrogramas Adimensionales Volumétricos Promedio (**HAVP**) y de extremos Volumétrico (**HEV**) para mínimos, en el intervalo en el cual el caudal medio mensual es inferior al promedio histórico del período 1.950 - 1.996.

Para la elaboración de los dos tipos de hidrogramas ha sido necesario realizar un análisis de eventos extremos aplicando una distribución de extremos de Gumbel, en este caso se debieron realizar modificaciones de las distribuciones teóricas utilizadas para que se ajustaran a la distribuciones observadas.

Es importante indicar que estos hidrográmas solo han sido utilizados para el estudio de volúmenes máximos y que en este trabajo se estudia su adaptabilidad para el estudio de volúmenes mínimos. Se optó por el uso del Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (**HAVP**) con el que se determinaron los Hidrogramas Volumétricos Promedio (**HVP**) para los períodos de retorno de 50, 100, 500 y 1000 años. Posteriormente con estos hidrogramas desarrollados se elaboraron las curvas de Nivel - Duración - Frecuencia (**NDF**) para cada período de retorno, estas curvas permitieron establecer los cambios de energía generable en Guri con un criterio que deriva del análisis de frecuencia utilizado para el desarrollo de los **HVP**.

.- Operación del embalse Guri a nivel diario durante el período 1.958 - 1.978 con condiciones iniciales de volumen máximo en el embalse y generación máxima de 125 millones de Watts por hora. Partiendo con estas condiciones iniciales se determinaron las variaciones en el nivel del embalse diariamente cuando se producen los aportes y se descarga el volumen turbinado correspondiente a una determinada cantidad de energía generable. En este sentido es importante indicar que esta es la primera aproximación de una forma de operación del embalse Guri en el que se aplica un análisis de frecuencia.

.- Análisis de los resultados obtenidos durante la investigación los cuales permitieron determinar que los caudales mínimos históricos aportados al embalse Guri guardan estrecha relación con los niveles mínimos del río Orinoco y los descensos en la cantidad de la precipitación del grupo de estaciones seleccionadas, durante el período 1.958 - 1.970. Igualmente, la posible influencia sobre la cuenca del río Caroní de la anomalía oceánica EL NIÑO, se observó que existe una relación del 85,7 % de períodos con caudales por debajo del promedio cuando ocurre esta anomalía en el Océano Pacífico.

De acuerdo con el tipo de operación utilizada se pretende determinar la ocurrencia de períodos con “condición crítica” durante varios días consecutivos en los que solo sea posible generar energía con los aportes al embalse y a la cota mínima de 240 m.s.n.m.

2. MARCO TEÓRICO.

La presa Hidroeléctrica Raúl Leoni (Guri) es hoy en día la principal fuente de energía eléctrica del país. Esta condición obliga a la empresa C.V.G - Electrificación del Caroní (EDELCA) a realizar constantemente estudios e investigaciones que permitan optimizar el proceso de generación de energía eléctrica. El río Caroní junto con toda su red de afluentes ubicados aguas arriba del sitio de presa son la base de uno de los complejos hidroeléctricos más importantes a nivel mundial.

Tener un conocimiento cabal de los procesos que ocurren continuamente en este sistema hidrológico es de vital importancia para el desarrollo del país. Es necesario el conocimiento de las variaciones que sufren parámetros como el caudal y la precipitación entre otros y que agentes externos puedan estar influenciando de manera importante el aporte de volúmenes de agua al embalse, tanto en los aportes de volúmenes máximos como en los mínimos.

Con frecuencia se realizan estudios de eventos máximos con el fin de determinar el impacto que tienen las crecientes sobre cualquier tipo de obra civil, desde una represa hasta un centro poblado o tierras para cultivo y ganadería. Se diseñan embalses para el control de crecientes con el fin de ejercer algún tipo de protección contra el poder destructivo que tiene el agua cuando está fuera de control.

Sin embargo a veces sucede lo contrario, se produce una disminución drástica o total desaparición de la precipitación ya sea por una estación lluviosa pobre en precipitaciones o por una estación seca que se prolonga más de lo usual, a esta condición se le denomina sequía. Esta situación produce una disminución de las

reservas del recurso lo que obliga a tomar previsiones que permitan superar de manera satisfactoria el período seco.

Un embalse como Guri cuyo volumen almacenado puede llegar hasta los 111.104 millones de metros cúbicos no escapa de los efectos producidos por las sequías, por lo que es necesario tomar previsiones que se traducen en una administración adecuada del recurso para mantener cubierta la demanda de energía eléctrica.

Previo a la determinación de los volúmenes de embalse durante períodos de sequía prolongada es necesaria una explicación detallada de la teoría que se debe aplicar tanto para comprender los fenómenos climáticos que probablemente han contribuido con la generación de los caudales mínimos históricos y el análisis de extremos para mínimos.

2.1.- El fenómeno ENSO (EL NIÑO - SOUTH OSCILLATION).

2.1.1- EL NIÑO

Con el término EL NIÑO la gente solía llamar durante la conquista y colonización de Sudamérica a una corriente anormalmente cálida que se desplazaba hacia las costas del Perú y Ecuador durante los últimos meses del año, provocando abundantes lluvias en zonas normalmente áridas, cuando esto sucedía se hablaba de “años de abundancia” por los beneficios agrícolas que se percibían. Esta corriente cálida sustituye a la corriente fría de Humboldt proveniente de las zonas australes del océano Pacífico, la cual progresa desde el sur por la costa suramericana trayendo consigo una importante cantidad de nutrientes necesarios para la fauna marina de las costas del Perú y Ecuador. EL NIÑO suprimía drásticamente estos nutrientes, lo que

reducía sensiblemente la actividad pesquera de la zona, hecho que no causaba alarma durante aquellos tiempos puesto que no representaba una parte importante de la economía de la región.

Actualmente el término EL NIÑO tiene otras connotaciones y ha sido tomada por la comunidad científica para nombrar solo a la corriente cálida que en la actualidad ya no es mensajera de prosperidad en muchos lugares del mundo ya que los disturbios naturales que se desarrollan antes y después del fenómeno han producido pérdida de vidas, daños ambientales e impactos significativos en las economías del Perú y Ecuador y otros tantos que sufren indirectamente los efectos, provenientes de las **sequías prolongadas** o del aumento anormal de las lluvias.

Para comprender este fenómeno se ha delimitado la zona en la cual se aprecia el aumento de temperatura en la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial y esta, a su vez en cuatro subzonas bien delimitadas ya que este calentamiento no ocurre al mismo tiempo ni con la misma intensidad, sino que va ocurriendo de acuerdo a la dinámica oceánica. Estas zonas son las siguientes:

Zona denominada EL NIÑO 1+2 localizada entre 10° S y la línea ecuatorial y entre 80° W y 90° W. En la cual se encuentra la costa oeste suramericana en concreto la del norte del Perú y sur de Ecuador. Las otras subzonas se encuentran ubicadas en una amplia banda ecuatorial localizada en el Pacífico central ecuatorial concretamente entre los 5° S y los 5° N y entre los 120° W y los 170° W. Figura N° 1.

EL NIÑO consiste en un aumento de la temperatura de la superficie del mar por encima de la temperatura media estimada, hecho que permite cuantificar la intensidad de este fenómeno por medio de la diferencia entre la temperatura media estimada y la observada de la superficie del mar; este índice se conoce como **Índice**

SST (Sea Surface Temperature). Anomalías positivas en el índice SST indican el posible desarrollo de un evento EL NIÑO.

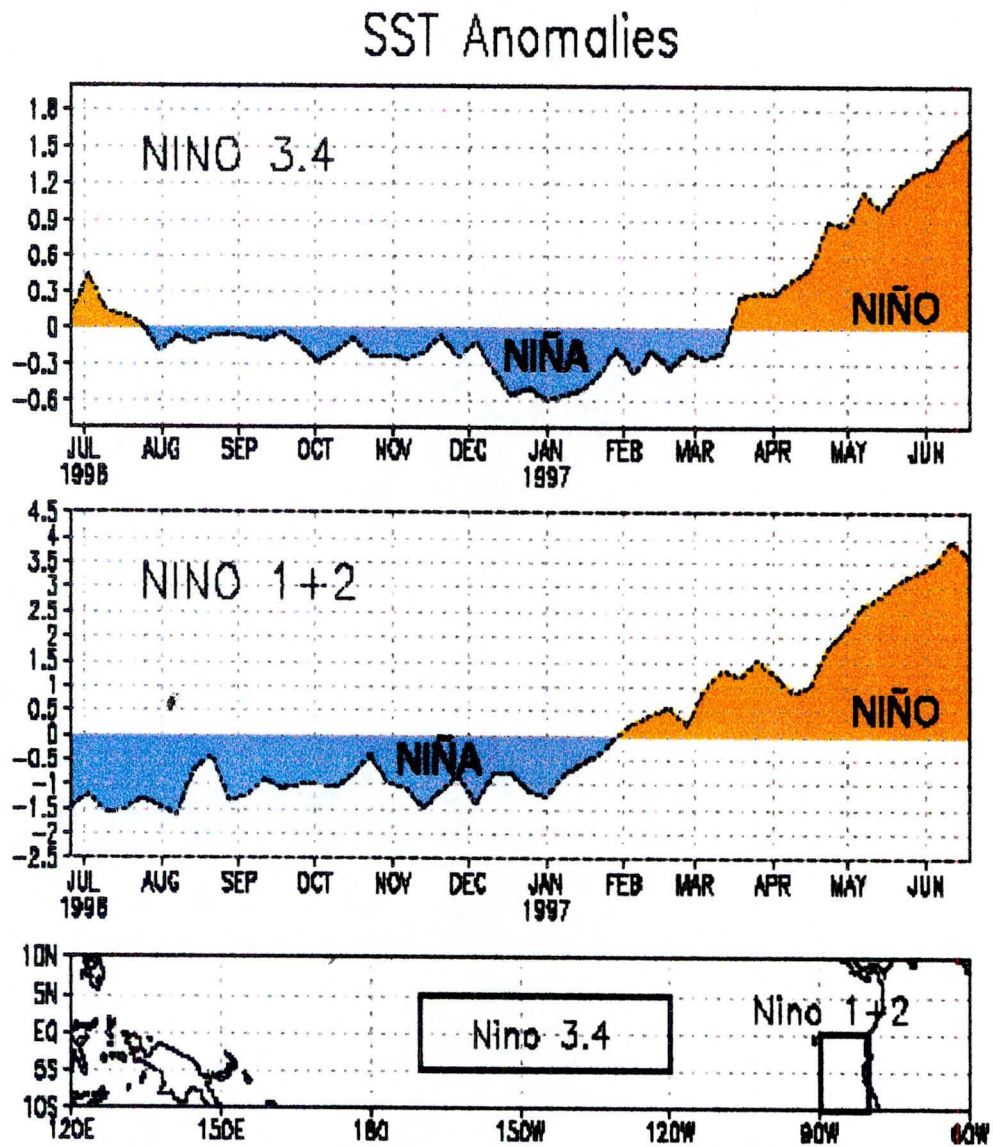


Figura N° 1. Índice SST. Sectores de estudio de EL NIÑO.

2.1.2- South Oscillation (Oscilación Sur)

2.1.2.1- Circulación Walker

Es un flujo zonal de vientos que va desde el Pacífico ecuatorial oriental hasta el océano Indico, entre Africa y Australia. Normalmente el flujo del viento es de este hacia el oeste debido a que la presión atmosférica en el océano Pacífico es relativamente mayor que en el océano Indico, estando asociada esta última zona de baja presión con precipitaciones y bajas temperaturas a diferencia de la primera donde las precipitaciones son escasas con elevadas temperaturas.

Estudios climatológicos han demostrado que el flujo de vientos del este es el causante de la circulación oceánica en sentido este-oeste formando de esta manera una cálida y gruesa capa de agua en el Pacífico centro-occidental que contrasta con la delgada y fría capa de agua asociada con una corriente marina ascendente en el Pacífico oriental (corriente de Humboldt). Figuras N° 2 a y b

2.1.2.2- La Oscilación Sur:

Es la modificación que sufre la circulación Walker y consiste en el aumento de la presión atmosférica en zonas donde normalmente es relativamente más baja que en los alrededores (Océano Indico) y disminución de la presión atmosférica en zonas donde normalmente es relativamente más alta (Océano Pacífico Ecuatorial Oriental); por lo que se puede decir entonces que la presión atmosférica “oscila” entre estas dos zonas, originando cambios en el patrón del viento zonal de la zona ecuatorial.

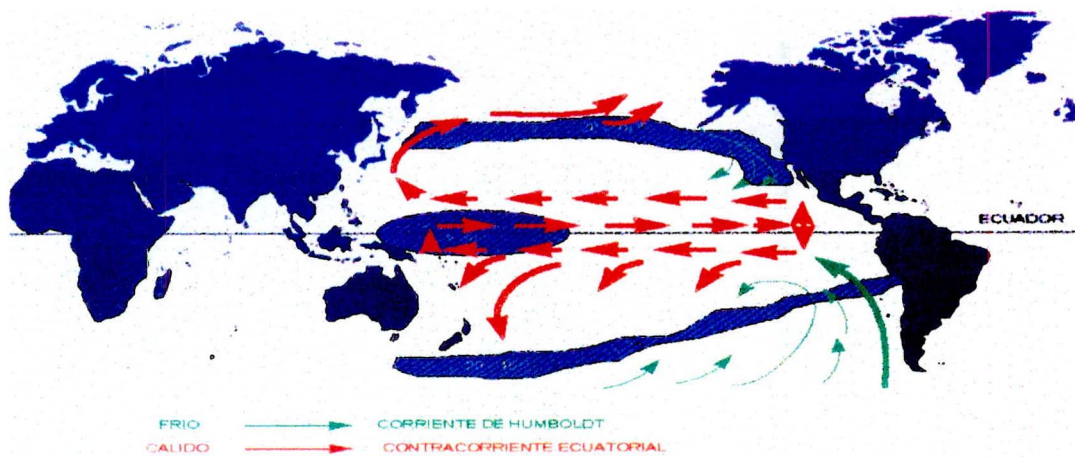


Figura 2 a. Circulación oceánica en condiciones normales.

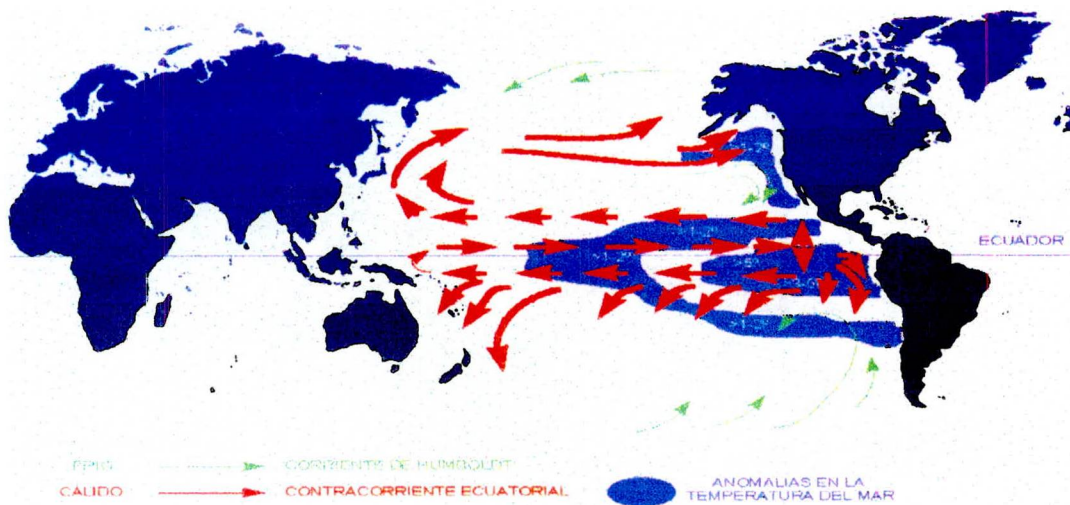


Figura 2 b. Circulación oceánica durante el desarrollo de un evento EL NIÑO.

Figura N° 2. Corrientes oceánicas en condiciones normales y durante el desarrollo de un evento EL NIÑO en el océano Pacífico.

Esta variación de la presión atmosférica entre los océanos Pacífico e Índico es cuantificada o medida a través de un **Índice de Oscilación Sur o índice SOI** (South Oscillation Index) el cual es la desviación estándar de la diferencia de presiones de Tahití (17° 40' 00'' S y 149° 40' 00'' W) en el océano Pacífico y Darwin (12° 23' 00'' S y 130° 43' 00'') en Australia. Un descenso en el índice SOI es indicador de que se está desarrollando una fluctuación de la presión atmosférica entre Darwin y Tahití.

2.1.3- Relación entre El NIÑO y LA OSCILACIÓN SUR (EL FENÓMENO ENSO)

Ya hemos visto por separado en que consiste cada uno de estos fenómenos ahora veremos como se relacionan e interactúan para dar origen a uno de los fenómenos naturales más significativos en el planeta.

ENSO es un fenómeno bastante complejo por lo que resulta difícil definir una etapa inicial con precisión, sin embargo por motivos prácticos es conveniente comenzar por lo que llamaremos la fase atmosférica (OSCILACIÓN SUR) del fenómeno.

Cuando se desarrolla un período ENSO con un descenso del índice SOI la presión aumenta sobre la región indonesia. El gradiente de presión decrece a lo largo de la línea ecuatorial hacia el este, todo esto acompañado de un debilitamiento del flujo zonal de vientos del Pacífico ecuatorial. Los vientos del este en el Pacífico ecuatorial-occidental disminuyen, soplando del oeste hacia el este. Se ha observado que con este cambio de la circulación de los vientos en el Pacífico ecuatorial se produce un desplazamiento hacia el este del tramo ascendente de la circulación Walker. Figura N° 3.

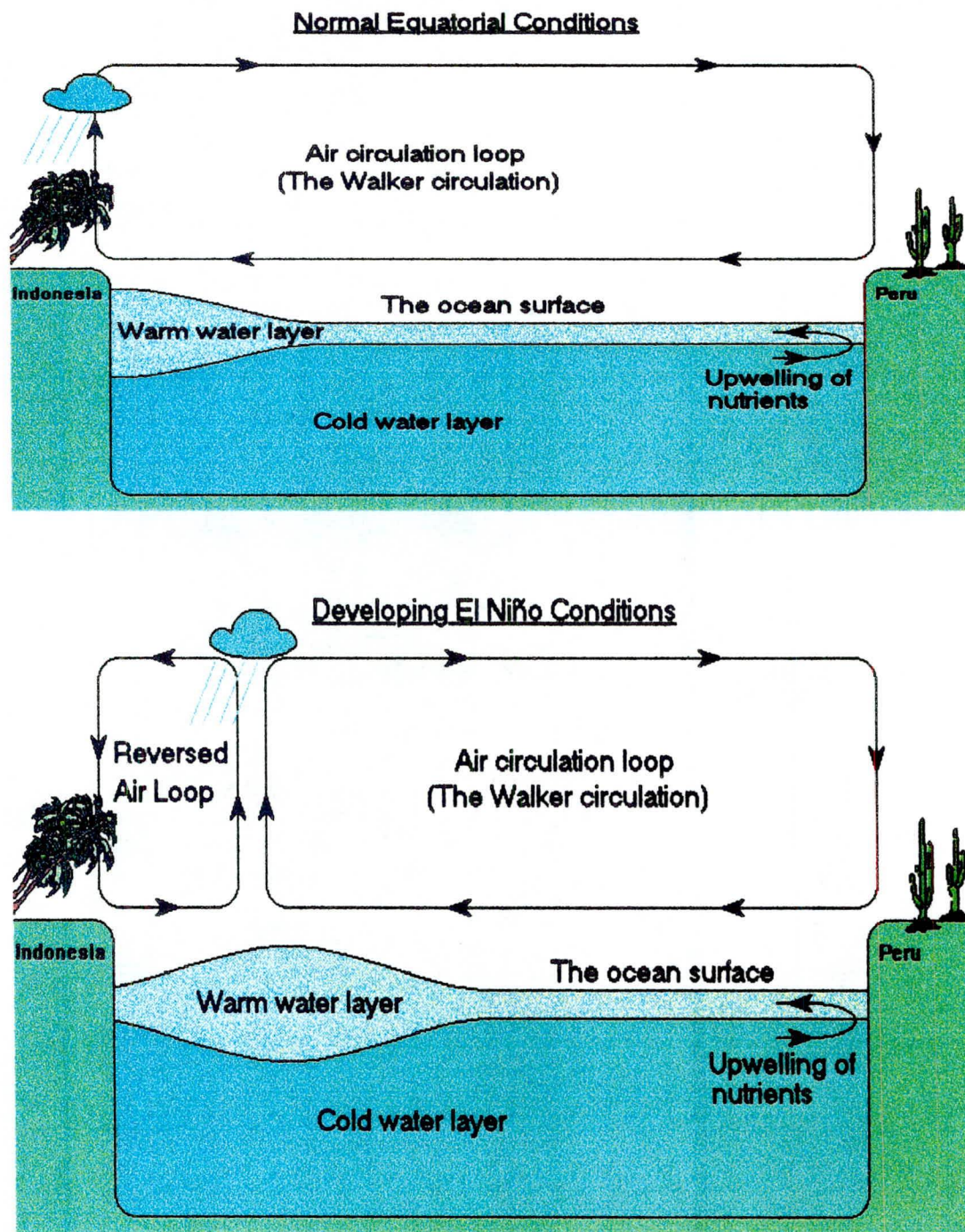


Figura N° 3. Circulación Walker en condiciones normales y durante el desarrollo de un evento EL NIÑO.

Asociado con un aumento de la presión en Darwin. En la parte norte del continente australiano, el debilitamiento de los Alisios al oeste del meridiano 180° y un ligero calentamiento del agua del mar en esta última región.

Este cambio importante en el arrastre del viento en la superficie del océano, que normalmente dura un período de varios meses, desencadena una compleja respuesta dinámica en el océano, dando como resultado mayores cambios en el sistema de corriente ecuatorial y un aumento del nivel del mar en las costa suramericana concretamente en el Ecuador y norte del Perú.

Oceanógrafos sugieren que una onda de Kelvin que se origina en el Pacífico central se mueve rápidamente hacia el este, en el océano, hacia la costa de Sur América para luego ser reflejada tiempo después como una onda de Rosby que se dispersa por el océano.

Estas ondas de Kelvin marinas son las primeras emisarias oceánicas sobre la costa americana del inicio del Fenómeno ENSO, provocando "mareas" más fuertes en la costa tropical americana y trayendo consigo agua cálida del oeste, desde los dos hasta los siete meses después del inicio; período durante el cual siguen generándose conforme el viento del oeste se va intensificando y barriendo hacia la costa americana. Figura N° 4.

Al liberarse energía en forma de ondas oceánicas de Rosby, como consecuencia de la cantidad de agua en las costas suramericanas, las cuales viajando al oeste, perturban la profundidad de termoclina en el Pacífico Occidental; hace a esta zona propicia y de más rendimiento para la actividad pesquera. Esto ocurre en Sur América entre tres y siete meses después del inicio, y se prolonga por varios meses en la costa asiática.

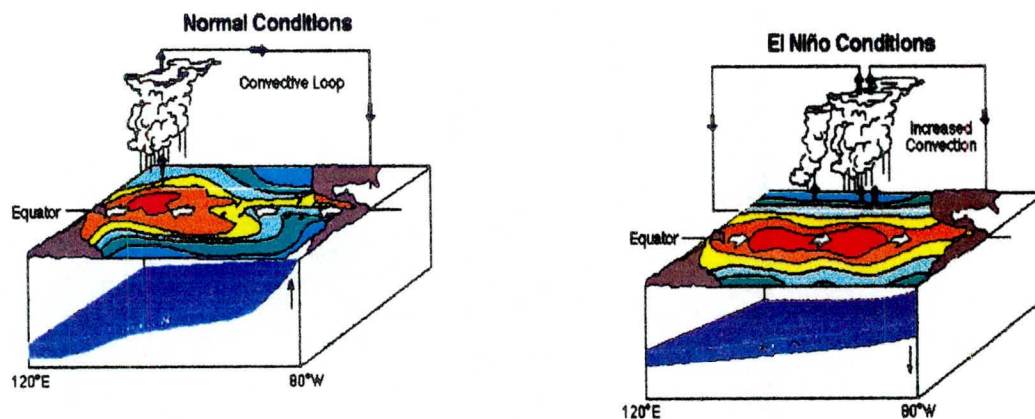


Figura N° 4. Interacción océano – atmósfera durante el desarrollo de un evento EL NIÑO.

El efecto combinado es el de crear una cálida y más gruesa capa de agua en la superficie oceánica del Ecuador y norte del Perú (el fenómeno de EL NIÑO). Las variaciones en el nivel del mar que se registran en las islas Galápagos (Ecuador) y los cambios de temperatura ocurridos en la sub-superficie del océano entre los 80° W y los 100° W, son también elementos significativos en la ocurrencia de EL NIÑO; de tal manera, cuando el nivel del mar está alto, la termoclina permanece relativamente profunda y viceversa, las variaciones en el nivel del mar pueden llegar a amplitudes de unos 20 a 30 cm.

Es probable también que este aumento del nivel del mar en las costas suramericanas sea debido a la disminución de la presión atmosférica en esta zona, dicho de otra manera, el aire ejerce un menor empuje sobre el mar al disminuir la presión y viceversa lo que origina un efecto “vascular” en el océano entre las zonas involucradas.

ENSO provoca fuertes lluvias intertropicales en el Pacífico central y oriental y contribuye a dejar relativamente seco al resto del cinturón ecuatorial.

La desaparición temporal de la Zona de Convergencia Intertropical por varios meses, se produce como consecuencia del debilitamiento del régimen del alisio, alterando las lluvias de la costa pacífica de América Central y América del Sur.

Es probable que EL NIÑO sea causado por eventos sin ninguna relación aparente y por lo tanto sean casuales, sin embargo estos eventos puede que no sean del todo casuales y estar estrechamente ligados con el ciclo anual estacional.

La razón de esto es porque no todas las irregularidades positivas de la Temperatura en la Superficie del Océano calientan la atmósfera lo suficientemente para desencadenar una inestabilidad en el Pacífico ecuatorial-oriental y de la costa de Sur América. Durante el mes de Septiembre el agua está relativamente muy fría respecto a las zonas circundantes y además en la baja troposfera existe una fuerte divergencia. Por todo esto una irregularidad positiva del SST es probable que tenga un pequeño efecto.

En el período que precede a la aparición de EL NIÑO el desplazamiento hacia el sur de la Zona de Convergencia Intertropical es más amplio, sobrepasando a veces el ecuador terrestre hacia el sur.

En esta región el período más probable para un calentamiento irregular creciente es durante los primeros meses del año cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) está cerca de la región. EL NIÑO pudiera ser visto entonces como una interacción inestable entre el aire y el océano modulado por un ciclo estacional.

Existen aún demasiadas interrogantes y las teorías existentes, aunque explican ciertos aspectos, no han resuelto la relación causa-efecto dentro del complejo de fenómenos, que de manera genérica han sido agrupados y denominados EL NIÑO-SOUTH OSCILLATION.

Quedan aún sin aclarar problemas relacionados con el origen del fenómeno (o los fenómenos), la causa del aflojamiento de los Alisios en Pacífico central y oriental, el comportamiento anómalo del ciclo estacional de la Zona de Convergencia Intertropical, la posible participación de las masas de aire del Atlántico en los efectos de índole meteorológico en la costa norte del Perú y otros tantos fenómenos observados.

2.1.4- ENSO y sus efectos en otros lugares del mundo

Estudios hechos durante más de cien años del Monzón de la India indican que los años de Monzón pobres parecieran estar relacionados con la ocurrencia de EL NIÑO en el Pacífico. Con frecuencia la presión a nivel medio del mar en Darwin (conectado con el índice SOI) muestra una estrecha relación con el comportamiento del Monzón.

Inclusive el continente africano no escapa de la influencia del fenómeno ENSO. De 28 eventos ENSO durante los últimos 110 años, 22 fueron acompañados por precipitación por debajo de lo normal expresado en un índice de precipitación. De los 20 años más secos durante el período mostrado 12 fueron años ENSO donde solo 5 pueden ser cuestionables. De esta manera mientras el fenómeno ENSO está fuertemente relacionado con la variación de la precipitación, otros factores pudieran estar incidiendo sobre la precipitación en Africa. Figura N° 5.

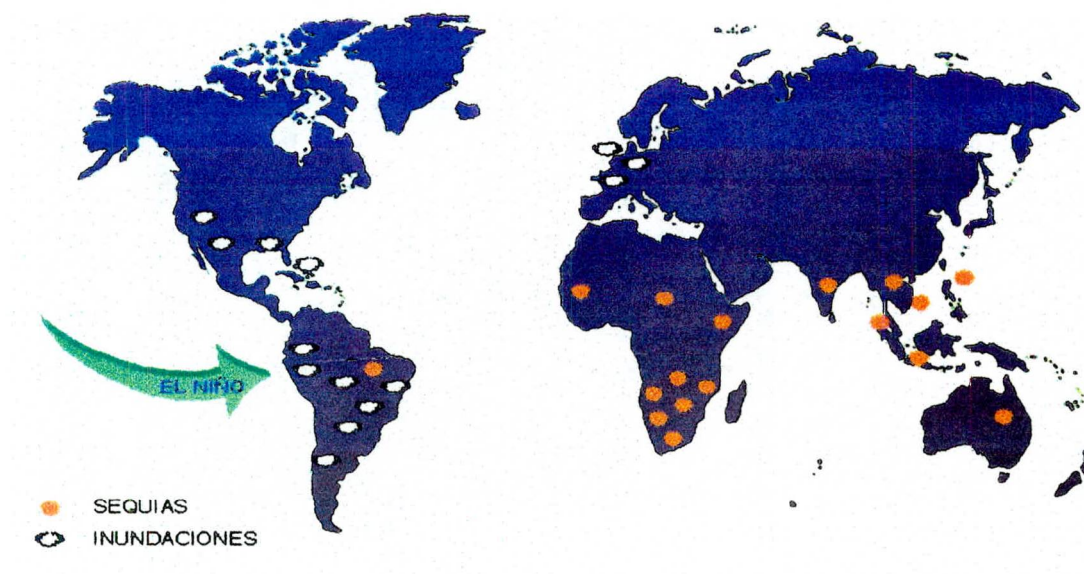


Figura N° 5. Influencia de la anomalía oceánica EL NIÑO sobre varias regiones del mundo.

2.2.- Análisis de extremos volumétrico (desarrollo de hidrogramas volumétricos)

Los hidrogramas volumétricos son aquellos que se desarrollan a partir de un análisis estadístico de eventos extremos, para la determinación de volúmenes máximos o mínimos asociados a una frecuencia determinada o período de retorno aplicables a cuencas mayores a cinco mil kilómetros cuadrados. En este trabajo se estudia su aplicación para la determinación de volúmenes mínimos.

Los tipos de hidrogramas que se van a desarrollar son de dos tipos, el de largo período llamado **Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)** del que deriva el **Hidrograma Volumétrico Promedio (HVP)** y el de corto período o **Hidrograma de Extremos Volumétrico (HEV)**. La diferencia entre estos tipos de hidrogramas está en la variabilidad del intervalo de tiempo con que se va a analizar el período de estudio, mientras el **HAVP** mantiene el intervalo de tiempo constante e

igual al período de estudio, el **HEV** varia la longitud de los intervalos de tiempo aumentándolos en forma progresiva y cuanto sea necesario, aunque no debe excederse del tiempo del período de estudio.

Esto se podrá observar en la explicación que a continuación se hace de cada uno de estos hidrogramas.

2.2.1.- Hidrograma adimensional volumétrico promedio (HAVP) de largo período.

En este tipo de hidrograma se observa la variación temporal del caudal en un período que puede abarcar toda la temporada seca cuya duración es de varios meses, y que es apreciable en el lugar de estudio. A su vez permite obtener el caudal mínimo promedio asociado a un período de retorno de interés. El **HAVP** es el resultado de promediar los hidrogramas de los años más significativos (más secos en este estudio) que son estandarizados o adimensionados de la serie histórica de caudales durante un lapso determinado.

Para desarrollar el hidrograma es necesario conocer primero cual debe ser su duración, esto se logra analizando el comportamiento de los aportes a la cuenca que se desea estudiar. En el caso de cuencas de gran tamaño y en Venezuela se estima que el período comprendido entre los meses Octubre y Abril corresponde con la época en que comienza la curva de recesión de los aportes a la cuenca, que desciende suavemente con ligeras fluctuaciones hasta alcanzar un mínimo y ascender con mayor velocidad cuando los aportes significativos a la cuenca comienzan nuevamente cuando se inicia la temporada de lluvias. Figura N° 6.

El criterio seleccionado fue el de tomar como intervalo aquellos meses en que

la curva de recesión del hidrograma medio mensual estuviera por debajo del promedio histórico. Estableciendo con esto que los volúmenes mínimos de aportes son los que se encuentran en dicho intervalo sin importar que los volúmenes diarios estén o no por debajo del promedio.

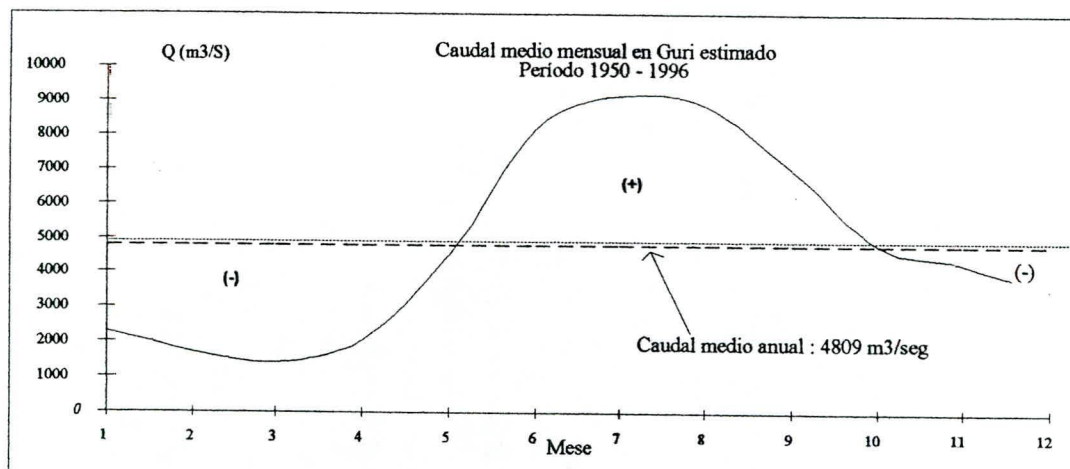


Figura N° 6. (-) Estación seca y de aportes mínimos. (+) Estación lluviosa y de aportes máximos.

Una vez seleccionado el intervalo "n" de días consecutivos el siguiente paso es la determinación de los volúmenes mínimos acumulados de cada período "j" para el intervalo seleccionado el cual llamaremos **VMA_{jk}**.

Este **VMA_{jn}** queda definido como la función objetivo que minimiza el volumen acumulado durante "n" días consecutivos en el período "j" (**VA_{ij}**)

$$VMA_{jn} = \min (VA_{ij}) \quad 2.1.$$

para $i = 1$ hasta n días consecutivos.

$$\therefore VA_{ij} = (\sum Q_{kj}) \times t \quad 2.2.$$

Donde

V_{Aij} : Volumen acumulado desde el día "i" período "j".

Q_{kj} : Caudal diario día "k" período "j"

n = Intervalo de días consecutivos el cual es constante.

t : Tiempo en segundos de cada día.

Una vez calculados los volúmenes acumulados de cada período se aplica una distribución de eventos extremos ya que la ocurrencia de estos volúmenes cumplen con el requisito de ser independientes entre sí, esta distribución puede ser una Gumbel o Log - Pearson tipo III. Figura N° 7. Cualquiera de estas distribuciones permitirá obtener los volúmenes mínimos acumulados (V^*) para el período de retorno de interés (50, 100, 500 y 1.000 años) y también los hidrogramas asociados a los VMA_{jn} correspondientes a los períodos "j" con probabilidad de no excedencia del 90 %.

A este VMA_{jn} le corresponde un caudal promedio equivalente el cual queda definido como:

$$\bar{Q}_{jn} = VMA_{jn} / n \quad 2.3.$$

El siguiente paso es adimensionar los hidrogramas esto se logra al dividirlos entre el caudal promedio equivalente correspondiente a cada intervalo es decir Q_{ij} / \bar{Q}_{jn} . Estos hidrogramas adimensionados tienen media igual a uno (1) y mantienen su distribución espacial lo que permite relacionarlos entre sí. Figuras N° 8a y .8b.

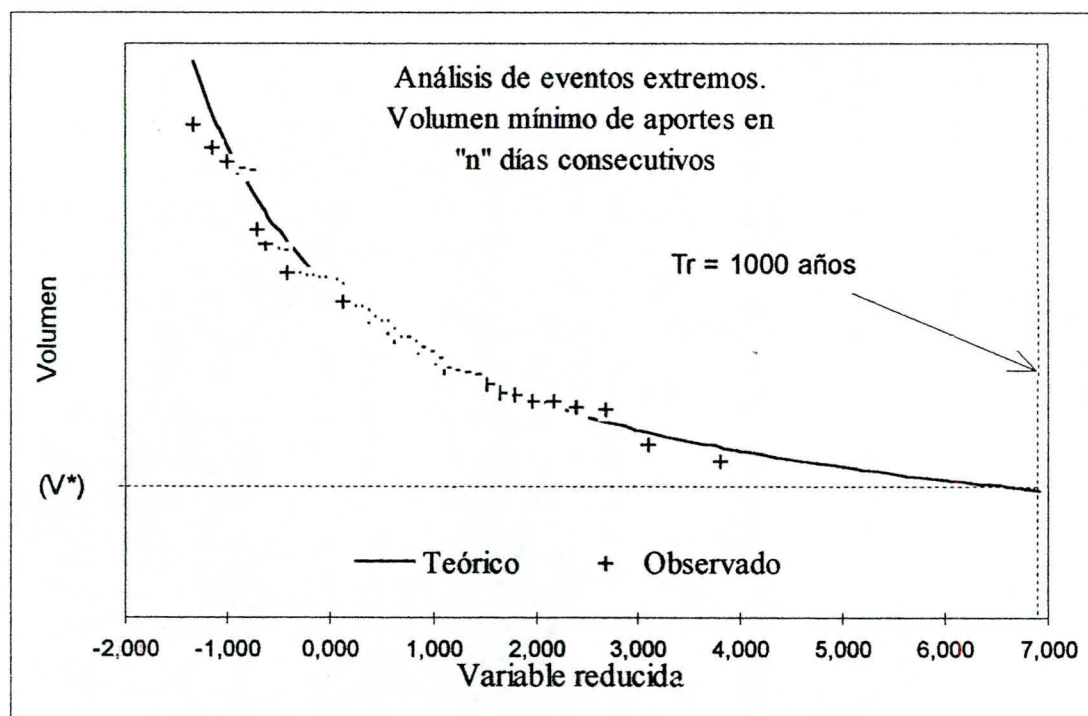


Figura N° 7. Distribución de eventos extremos Gumbel para eventos mínimos.

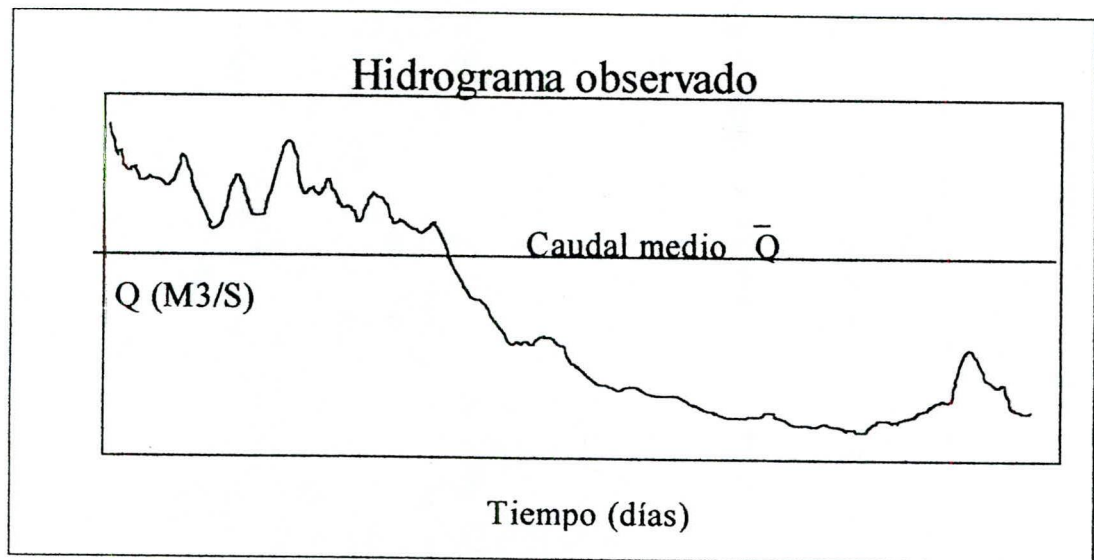


Figura N° 8 a

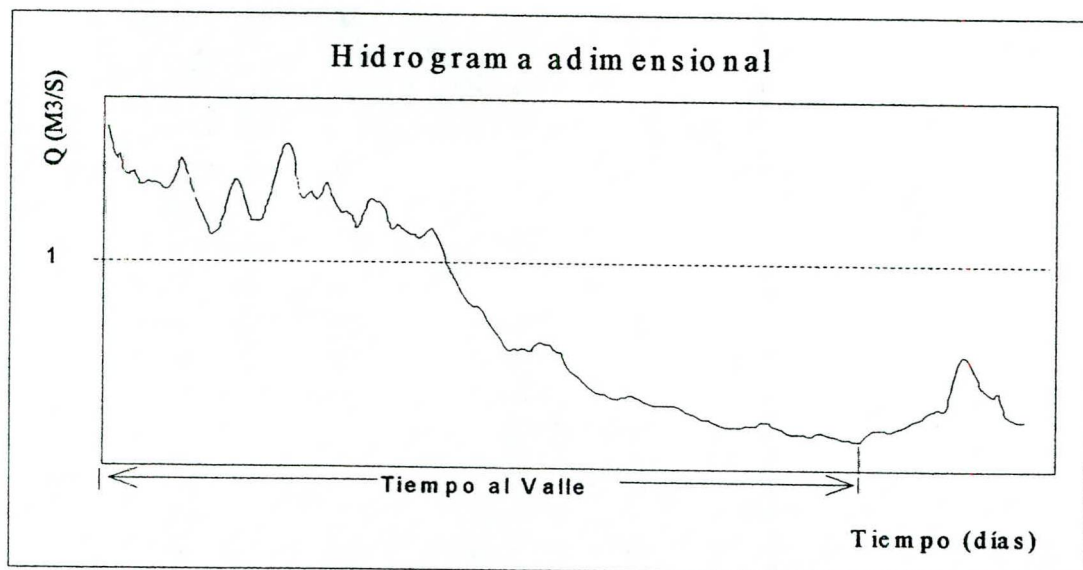


Figura N° 8b

Figura N° 8a 8b. Hidrograma Observado e Hidrograma adimensional.

De cada uno de estos hidrogramas se obtiene el día en que ocurrió el caudal mínimo denominado tiempo al valle (T_v), contando desde el primer día del intervalo hasta el día de ocurrencia del caudal mínimo, estos tiempos al valle serán promediados para obtener el tiempo al valle promedio (T_{vp}) el cual es asignado como el tiempo en que se alcanza el mínimo en el **Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)**.

La manera de obtener el **Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio (HAVP)** consiste en solapar los hidrogramas adimensionales de los períodos "j" con probabilidad de no excedencia de 90 % haciendo coincidir los T_v de cada uno con el T_{vp} calculado y luego promediar las ordenadas (Q_j / \bar{Q}_n). Figuras N° 9 y 10.

Este primer hidrograma deberá ser ajustado ya que en los extremos se produce una disminución de datos producto del solapamiento y además hay que hacer un ajuste que permita que el hidrograma adimensional definitivo tenga media igual a uno (1).

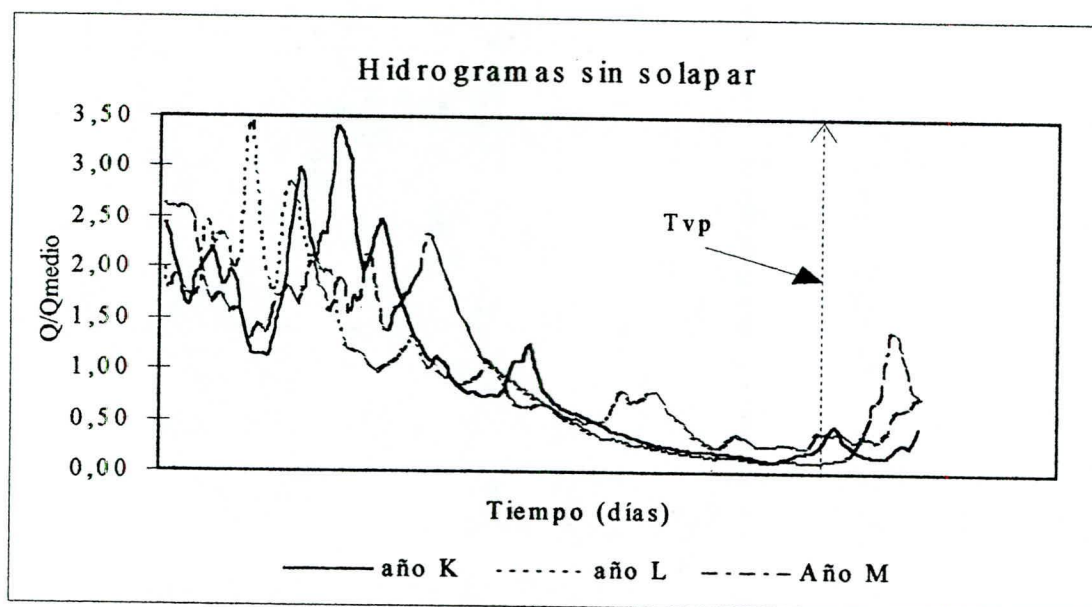


Figura N° 9. hidrograma sin solapar.

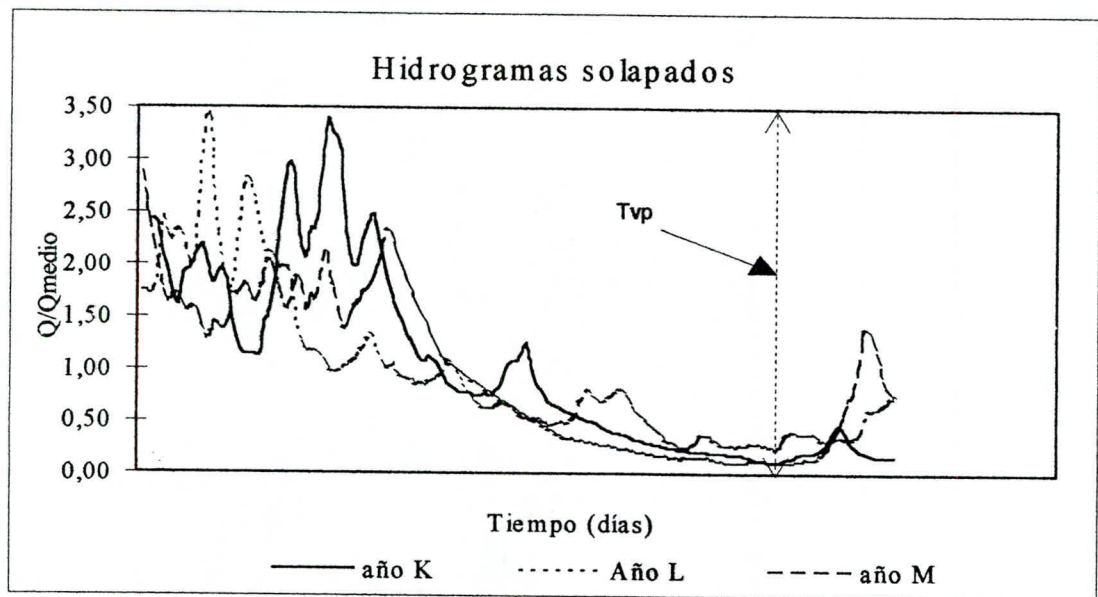


Figura N° 10. Solapamiento de los hidrogramas.

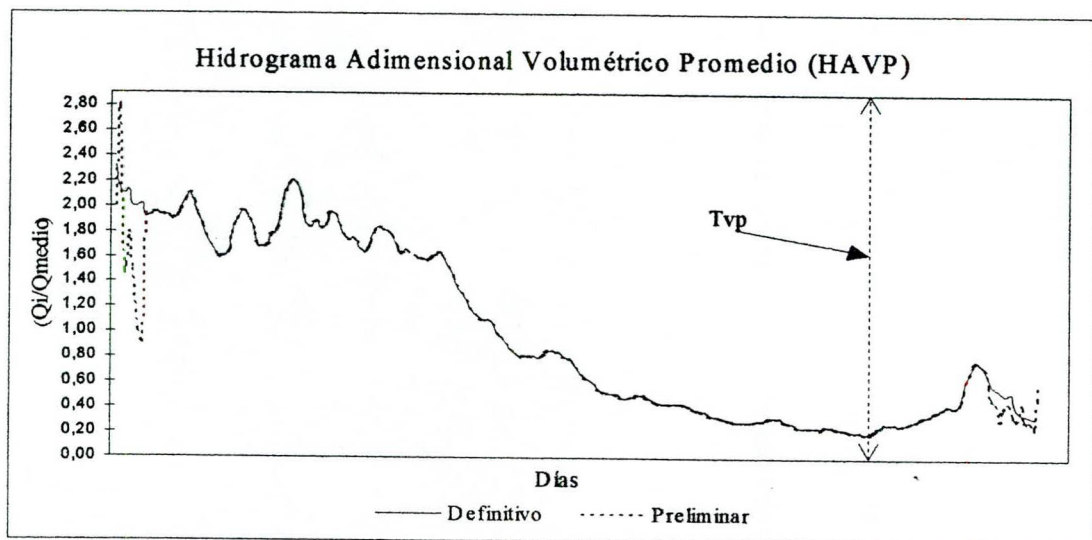


Figura N° 11. Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.

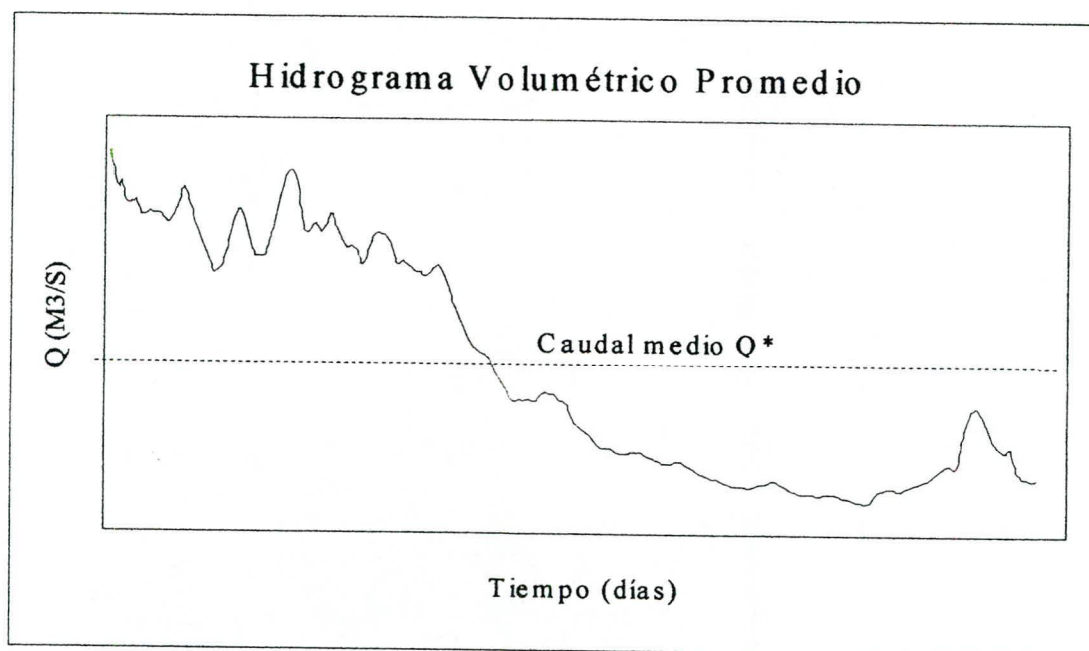


Figura N° 12. Hidrograma Volumétrico Promedio.

Al volumen V^* se le asocia un caudal equivalente Q^* el cual queda definido como :

$$Q^* = V^* / n \quad 2.4.$$

El **Hidrograma Volumétrico promedio** para un período de retorno definido será el resultado de multiplicar las ordenadas del **HAVP** por Q^* . Figuras N° 11 y 12.

2.2.2.- Hidrograma de Extremos Volumétrico (HEV).

Este tipo de hidrograma proporciona los volúmenes de escurrimiento para un período de retorno de diseño, mediante la obtención de volúmenes mínimos acumulados durante intervalos de tiempo variables de una determinada serie histórica, a la vez que permite observar la distribución temporal del escurrimiento y el caudal mínimo de la parte recesiva del hidrograma correspondiente al período de

retorno de diseño.

El primer paso consiste en determinar la variación del intervalo de períodos consecutivos (Delta n) de incremento que se va a utilizar para el desarrollo del hidrograma. Este incremento Delta n va a depender de las características de la cuenca como el tamaño y los volúmenes almacenados, los cuales constituyen los aportes al río durante los períodos de estiaje. La selección adecuada de este incremento evitará el exceso de iteraciones y de trabajo innecesario durante el desarrollo del hidrograma.

En el caso de cuencas de gran tamaño es recomendable una selección de "Delta n" que permita observar las variaciones de los volúmenes de una forma discreta, es decir, que no sea muy grande, ya que se corre el riesgo de "ocultar" elementos importantes del hidrograma como picos o valles, con lo que se caería en un déficit de iteraciones.

El siguiente paso es la determinación del volumen mínimo acumulado VMA_{jp} que está definido por la función objetivo que minimiza a todos los volúmenes acumulados de todos los posibles intervalos de períodos "p" de días consecutivos que resultan del incremento "Delta n" para cada intervalo "j" (V_{anj}).

Tabla 1.

$$VMA_{jp} = \min (V_{apj}) \quad 2.5.$$

para p = 1 hasta w - n.

$$\therefore V_{Apj} = \Sigma(Q_{kj}) \quad 2.6$$

desde k = p hasta p + n.

Donde

V_{Apj} volumen acumulado desde el período “p”,
intervalo j.

Q_{kj} caudal en el período k, intervalo “j”.

n = intervalos de períodos “p” consecutivos ($n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$).

$n_1 = \Delta n, n_2 = n_1 + \Delta n, n_3 = n_2 + \Delta n, n_{m+1} = n_m + \Delta n$.

w = número de períodos “p” en el intervalo “j”.

Para cada valor de los períodos “p” de los “j” intervalos observados se realiza un análisis de frecuencia para obtener los volúmenes de diseño ($V_{p1}, V_{p2}, V_{p3}, \dots, V_{pm}$) para cada período “p” y el período de retorno de diseño seleccionado, así como también el incremento de volumen por cada incremento “delta p”. ($DV_{p1} = V_{p1}, DV_{p2} = V_{p1} - V_{p2}, DV_{p3} = V_{p2} - V_{p3}, DV_m = V_{pm} - V_{pm+1}$). Figura N° 13.

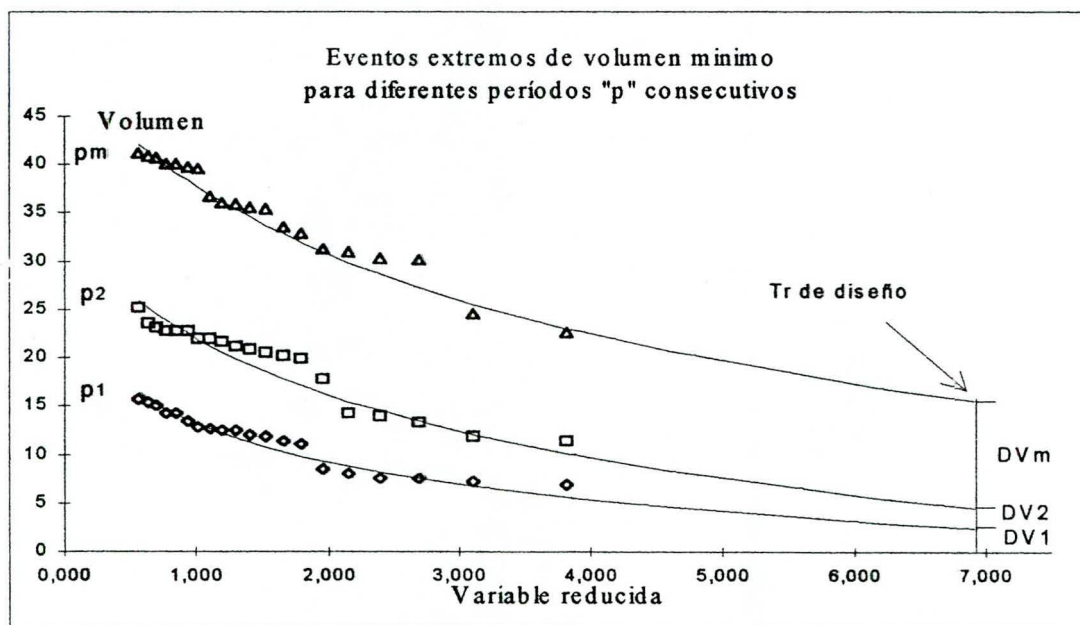


Figura N° 13 Distribución de eventos extremos mínimos para diferentes períodos “p” consecutivos.

A cada incremento de volumen DV se le asocia un caudal equivalente (Q_p) dividiéndolo entre el incremento de tiempo “Delta n” correspondiente $Q_p = DV_p /$

Delta n.

En cada período existe un instante en el que ocurre el mínimo de aportes el cual definiremos como Tiempo al Valle (T_v). Cada uno de estos T_v obtenidos serán promediados para definir el Tiempo al Valle promedio (T_{vp}) del **HEV**. Cada caudal equivalente Q_p irá formando parte del **HEV**, haciendo coincidir el respectivo T_v con el T_{vp} , de esta manera se irán superponiendo los Q_p de cada intervalo para obtener el **HEV** que finalmente será ajustado para llegar al **HEV** definitivo. Figura N° 14 .

Tabla N° 1

Volumen mínimo de aportes para diferentes períodos consecutivos.

Intervalo	Período "p"			
	p_1	p_2	p_3	p_m
1	<div style="border: 1px solid black; padding: 20px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> VMA_jp </div>			
2				
.				
.				
j				

Análisis de Extremos Volumétrico para el período de retorno de diseño

Períodos consecutivos "p"	Volumen Mínimo	Incremento de volumen Mínimo	Caudal equivalente al incremento de volumen	Tiempo al valle
p ₁	V _{p1}	DV _{p1} =V _{p1}	Q _{p1} =DV _{p1} /Delta p ₁	T _{v1}
p ₂	V _{p2}	DV _{p2} =V _{p1} -V _{p2}	Q _{p2} =DV _{p2} /Delta p ₂	T _{v2}
p ₃	V _{p3}	DV _{p3} =V _{p3} -V _{p2}	Q _{p3} =DV _{p3} /Delta p ₃	T _{v3}
.	.		.	.
.	.		.	.
.	.		.	.
p _m	V _{p_m}	DV _{p_m} =V _{p_m} -V _{p_{m-1}}	Q _{p_m} =DV _{p_m} /Delta p _m	T _{p_m}

2.3-. Desarrollo de las Curvas de Masa Nivel, Duración y Frecuencia (NDF)

Estas curvas han sido creadas para definir los rangos de energía generable en Guri con un criterio hidrológico de diseño expresados en variaciones del nivel diario del embalse durante un período de tiempo, son el resultado de una serie de transformaciones realizadas a los HVP, de los cuales provienen, y que han sido necesarias para ajustarlas a las características del embalse, que en este caso provienen de las curvas de Area - Altura - Capacidad del embalse Guri.

El método utilizado para el desarrollo de estas curvas es presentado a continuación:

El primer paso consiste en establecer el nivel final N_r del embalse, al que se quiere llegar en un intervalo "n", que coincide con el mismo intervalo de duración

del Hidrograma Volumétrico Promedio (**HVP**). En nuestro caso se considera como nivel mínimo a aquel que correspondiente al volumen disponible igual a cero (V_r) en el embalse y que representa la condición mas desfavorable.

Seguidamente es necesario realizar la conversión del caudal Q_i del **HVP** a su volumen equivalente V_i . Figura N° 15. Esto permite trabajar con las curvas de Area - Altura - Capacidad del embalse para establecer la relación Nivel - Duración de las curvas de Nivel, Duración y Frecuencia.

$$V_i = Q_i \times t_i \quad 2.7.$$

Donde:

V_i es el volumen del período i .

Q_i caudal del período i .

t_i tiempo de duración del período "i", referido a las mismas unidades de tiempo Q_i .

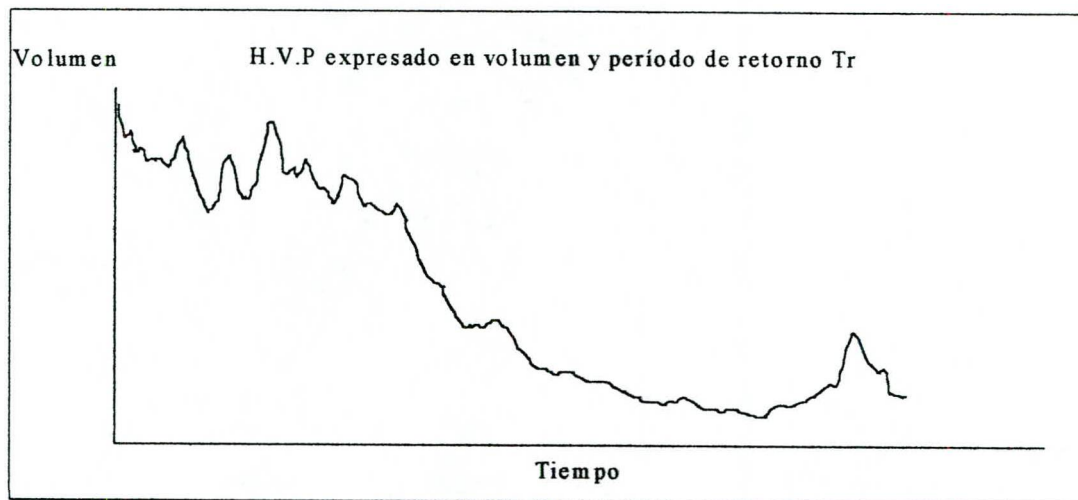


Figura N° 15 Hidrograma volumétrico promedio expresado en volumen.

Una vez realizada la conversión de caudal a volumen se procede a acumular de manera regresiva los volúmenes desde el último período ($i = m$) hasta el inicial ($i = 1$), partiendo del volumen final o volumen disponible igual a cero (V_f) con lo que se obtiene la curva de masa. El procedimiento queda expresado de la siguiente manera:

$$V_{am} = V_f + V_m \quad 2.8.$$

$$V_{ai} = V_{a(i+1)} + V_i \quad 2.9.$$

Donde:

V_{am} volumen acumulado hasta período m del intervalo comprendido desde $i = m$ hasta 1.

V_f volumen final o volumen disponible igual a cero.

V_m volumen en el período m .

V_{ai} es el volumen acumulado en el período i .

$V_{a(i+1)}$ es el volumen acumulado en el período $i+1$.

V_i volúmen correspondiente al período i .

Esta curva de masa representa la variación de los aportes en términos de volumen con respecto al tiempo. Figura N° 16. Es necesario por lo tanto realizar otra conversión de tal forma que la variación temporal de los aportes quede expresada en términos de nivel en función del tiempo. Figura N° 17. Esto se logra a través de las curvas de Area - Altura - Capacidad del embalse con lo que el volumen final V_f le corresponde un nivel final N_f .

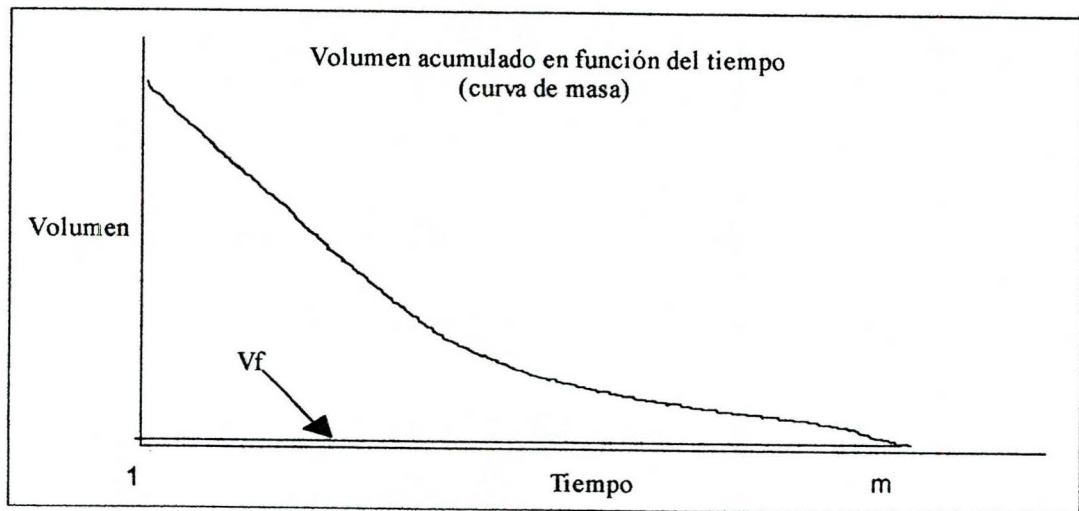


Figura N° 16. Curva de masa volumen en función del tiempo.

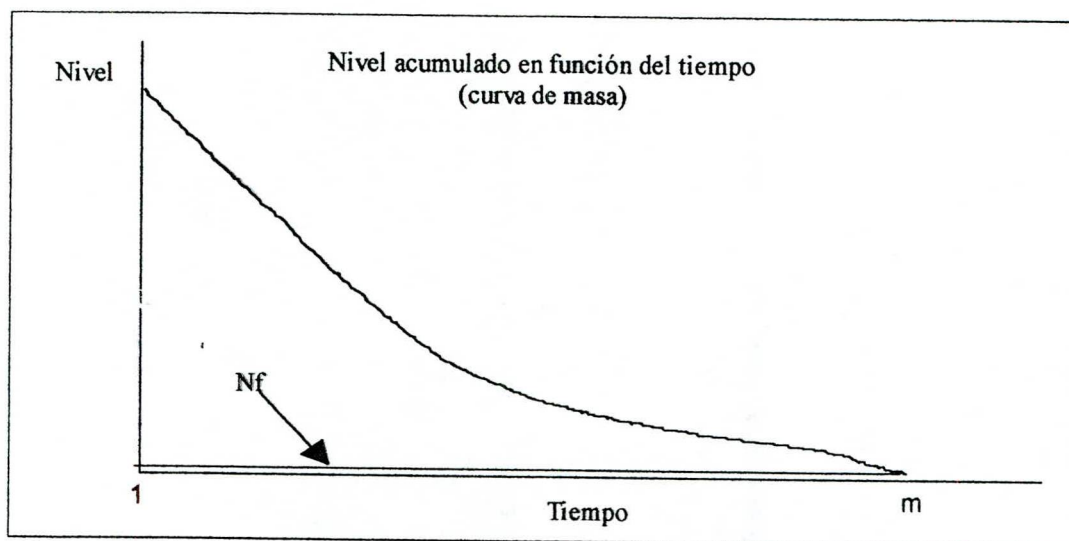


Figura N° 17. Curva de masa nivel en función del tiempo.

El resultado final es por lo tanto una curva de masa que representa la relación del nivel en función del tiempo durante el intervalo "n" en el embalse y con un período de retorno definido.

La curva de masa obtenida de esta manera no abarca la parte correspondiente al inicio de los aportes al embalse durante el resto del año, por lo tanto para garantizar la continuidad durante una serie consecutiva de años se deben completar.

La interpolación lineal es el método mas sencillo y directo para abarcar lo que resta del año, tomando como puntos extremos el nivel mas bajo ($i = m$), y el nivel inicial ($i = 1$).Figura N° 18.

La utilidad de este tipo de curva está en que permite comparar el nivel de diseño para el período de retorno correspondiente con las fluctuaciones del nivel del embalse cuando se producen o cesan los aportes mínimos, a la vez que establecen límites o bandas de energía generable durante un determinado tiempo.

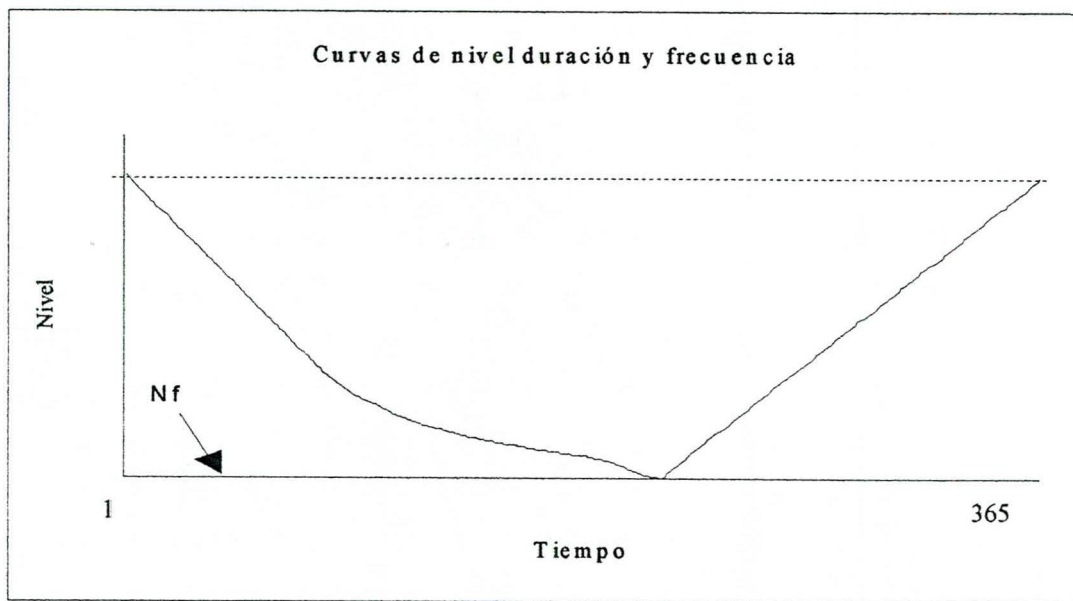


Figura N° 18. Curva de masa NDF.

2.4.- Operación del embalse

2.4.1.- Tránsito de caudales.

Se puede definir el **tránsito de un caudal** como el procedimiento mediante el cual se puede seguir y conocer las características de un caudal descargado en un **sistema hidrológico**, cuando ocurre una entrada. Existen los llamados tránsitos en sistemas agregados en los que el caudal se calcula en función del tiempo y en un lugar determinado, y el tránsito en sistemas distribuidos en el cual el caudal se calcula en función del tiempo y el espacio a través del sistema.

Un embalse se puede considerar como un sistema agregado en el que los aportes son representados como $I(t)$, las salidas $O(t)$ y el almacenamiento $S(t)$. La relación entre los aportes, las salidas y el almacenamiento queda expresada por la ecuación de continuidad

$$dS / dt = I(t) - O(t). \quad 2.10.$$

Para resolver esta ecuación es necesario conocer el modo en que se producen las salidas ya que los aportes son conocidos. $O(t)$ depende de una serie de factores inherentes a las características del embalse y el tipo de uso, por lo que es necesario definir bajo que condiciones se generan estas salidas.

2.4.1.1- Condiciones de generación de energía y caudal turbinado (salidas).

En embalses hidroeléctricos la generación de energía puede realizarse de dos maneras diferentes, dependiendo de como se quiera administrar el agua almacenada.

La primera consiste en generar energía en una magnitud constante o promedio, por lo que el volumen disponible en el embalse varía dependiendo de los aportes, produciendo descensos en el nivel del embalse durante los períodos secos y ascensos durante los períodos lluviosos o de máximos aportes al embalse. La otra manera consiste en mantener el volumen disponible en una cantidad constante y variar la cantidad de energía que se espera generar.

La primera modalidad de operación se puede apreciar en la figura N° 19, en donde se observa en el tramo A como el volumen entregado o turbinado es inferior a la demanda debido a que el volumen disponible se encuentra por debajo de los requerimientos para satisfacer esta demanda. En esta condición es necesario disminuir la demanda y buscar otras fuentes alternas de energía y esperar a que el embalse se recupere hasta perder cubrir la totalidad de la demanda.

En el tramo B se observa que la demanda puede ser totalmente cubierta debido a que el volumen disponible está dentro del rango comprendido entre el volumen disponible igual a cero y el máximo volumen almacenable. Bajo esta condición se puede aplicar la primera modalidad en la que el volumen disponible varía dependiendo de los aportes al embalse mientras se mantiene la demanda.

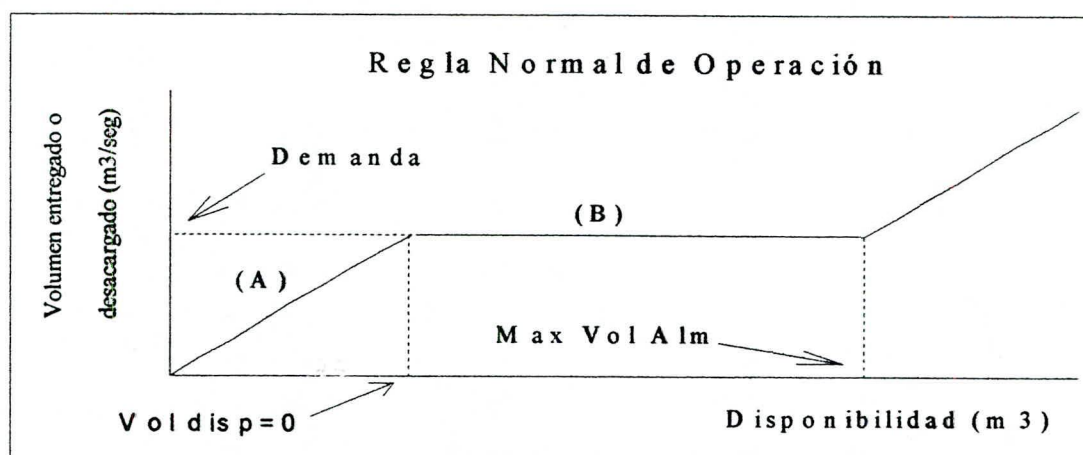


Figura N° 19. Regla normal de operación utilizada en el embalse Guri.

La segunda modalidad de operación se puede expresar mediante la ecuación que relaciona la carga hidráulica con la energía generable.

$$E = g \times h_i \times Q \times t \times e \quad 2.11.$$

Donde:

E es la energía turbinada.

g es la aceleración de la gravedad.

Q es el caudal turbinado.

t es el intervalo de tiempo de turbinación.

e es la eficiencia del sistema de turbinas.

h_i es la caída neta.

En este caso la ecuación 2.11 **h_i** permanece constante por lo que la ecuación puede expresarse de la siguiente forma:

$$E = K \times Q \quad 2.12.$$

Donde **K** es una constante e igual a producto **e**, **t**, y **h_i**.

En donde se aprecia que la energía generable a un volumen de embalse constante es directamente proporcional al caudal aportado al embalse.

De estas dos opciones la segunda no resulta práctica ya que implica que deben existir otras alternativas de generación de energía al no poder ser satisfechas las demandas energéticas. La primera opción es válida cuando la demanda puede satisfacerse sin mayores dificultades.

Sin embargo puede darse otra tercera modalidad y es aquella en que dadas las

condiciones establecidas para la operación del embalse, se produzcan cambios en la cantidad de energía que se desea generar durante un determinado período cuando ocurren variaciones en el volumen disponible del embalse.

En el caso en que se esté generando la máxima cantidad de energía y las variaciones en el volumen disponible en el embalse se consideren críticas o cercanas a las cotas inferiores pudiera producirse esta tercera condición esto se puede apreciar en la figura N° 19, en el tramo A.

Definiéndose como condición o situación crítica a aquella situación en la que no hay un volumen disponible en el embalse por lo que la generación de energía se ve seriamente comprometida.

Esta tercera condición es el fundamento en el cual nos basaremos para establecer los criterios de generación de energía y operación del embalse.

2.4.1.2- Cambios en la cantidad de energía entre las curvas NDF.

En el aparte 2.3.- Vimos como se desarrollaron las curvas de masa NDF. Figura N° 18. Estas curvas de masa son las que permitirán definir que cantidad de energía debe generarse en los diferentes períodos del intervalo "n" y en el intervalo donde se considera que comienzan los aportes al embalse. Por lo tanto deben existir tantas curvas de (NDF) como períodos de retorno estén involucrados. Figura N° 20.

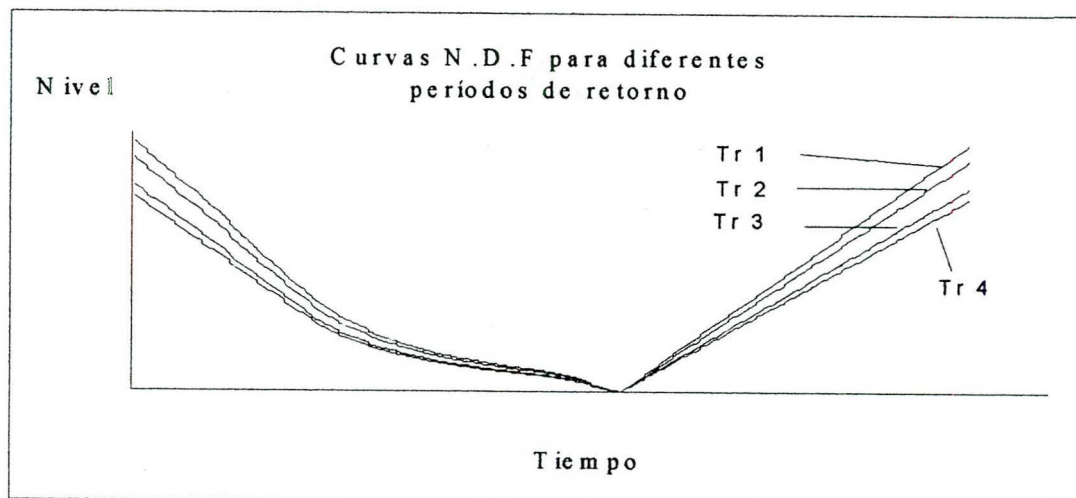


Figura N° 20. Curvas NDF para diferentes períodos de retorno.

Cada curva NDF representa el límite a partir del cual se define el tipo de energía que se quiere generar teniendo como condiciones extremas cuando se alcanza el volumen máximo posible en el embalse, cuando es preciso aliviar y mínimo, cuando se alcanza la cota inferior o volumen disponible igual a cero. Figura N° 20.

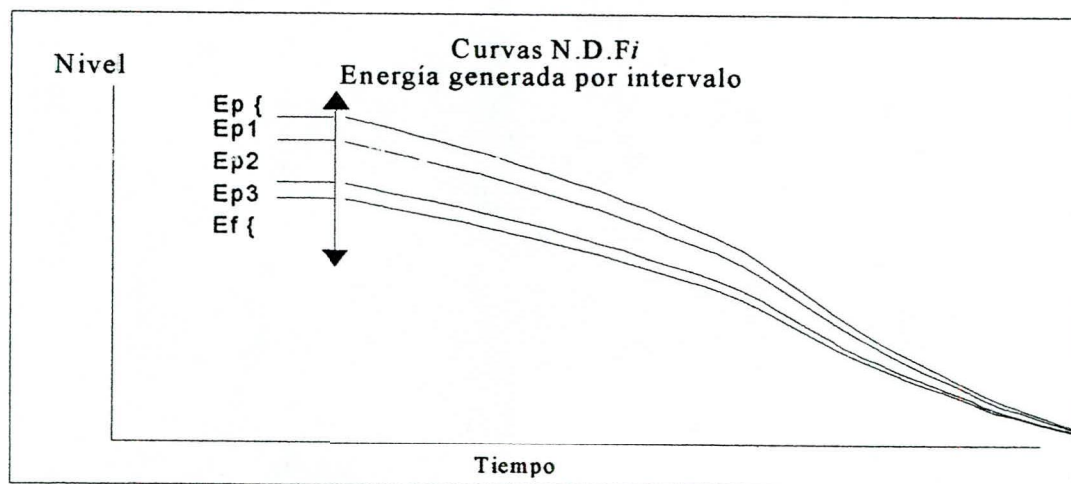


Figura N° 21. Energía generada entre cada par de curvas NDF.

Se debe considerar cual es el rango en el que fluctúa la energía generada, es decir, una energía máxima o promedio (EP) y una mínima o firme (Ef), esta banda

queda definida como la diferencia (D_r) entre la EP y la EF . Para saber que cantidad de energía se debe generar entre cada curva NDF simplemente se divide la diferencia resultante D_r entre el número de curvas NDF mas uno (n_c), y se incrementa en este valor (DP) la cantidad de energía partiendo de la EF .

Figura N° 21.

$$D_r = EP - EF \quad 2.13.$$

$$DP = D_r / n_c \quad 2.14.$$

$$E_{Pi} = EF + i \times DP \quad 2.15.$$

Donde

E_{Pi} es la energía que se debe generar entre cada par de curvas NDF .

2.4.1.3- Carga hidráulica y energía.

Para el funcionamiento de una o mas turbinas en un embalse es necesario crear una carga hidráulica o altura H_i , esta altura está dada por la diferencia de cota entre el nivel del embalse y el nivel del río aguas abajo. Las turbinas extraen energía con lo cual se produce una pérdida de carga hidráulica h_i que representa la diferencia de altura entre el nivel del embalse y la carga hidráulica luego de ser extraída la energía. La ecuación que relaciona la pérdida de carga con la energía generada es la siguiente:

$$H_1 = H_2 + h_i + h_{f1} + h_{f2} \quad 2.16.$$

Donde

H_1 es el nivel del embalse referido a un Dátum.

H_2 es el nivel del río aguas abajo del embalse con la misma referencia de H_1 .

h_i representa la caída neta.

$h_f + h_r$ son las pérdidas por fricción en las tuberías.

$E = g \times h_i \times Q \times t \times e$ o de otra forma

$$V = E / (g \times h_i \times e) \quad 2.17.$$

Donde

E es la energía turbinada.

g es la aceleración de la gravedad.

Q es el caudal turbinado.

t es el intervalo de tiempo de turbinación.

e es la eficiencia del sistema de turbinas.

V es el volumen turbinado.

Para que estas igualdades se mantengan es necesario que la relación entre Q y h_i o V y h_i varíen de modo inverso es decir, el caudal o volumen turbinado durante cualquier período va a depender de la pérdida de carga h_i y la energía que se puede generar. Si la caída neta es elevada entonces el volumen turbinado disminuye y viceversa.

2.4.2.- Operación del embalse.

Generalmente el tránsito por un embalse se expresa en términos de caudales, comparando los hidrogramas de entrada y de salida al embalse. Se puede interpretar

también el tránsito analizando como son las variaciones del nivel en el embalse cuando se producen aportes y cuando se turbinan un determinado caudal, de esta manera la ecuación de continuidad no se define en unidades de caudal o volumen sino en unidades de nivel. Esto permite relacionar la energía generada con los aportes al embalse.

Una diferencia importante es que no se busca obtener una creciente de diseño para conocer alguna característica de la represa o los diques. No se analizan las condiciones para que ocurra el desborde del embalse, la ruptura de cualquiera de los componentes de la represa o para algún diseño estructural. El fin que se persigue es conocer la capacidad de generar energía dadas unas condiciones iniciales de nivel, generación y aportes.

De esta manera la ecuación de continuidad queda expresada de la siguiente manera:

$$n_{i+1} = n_i - h_{i+1} \quad 2.18.$$

Donde

n_{i+1} representa el nivel al final del período $i+1$.

n_i representa el nivel al final del período i .

h_{i+1} representa la pérdida de carga durante el período $i+1$.

Se puede expresar la ecuación anterior en términos de volumen quedando definida de la siguiente forma:

$$V_{i+1} = (V_i + V_{a(i+1)}) - V_{t(i+1)} \quad 2.19.$$

Donde

V_{i+1} representa el volumen al final del período $i+1$.

V_i representa el volumen al final del período i .

$V_{a(i+1)}$ representa el volumen aportado al embalse durante el período $i+1$.

$V_{t(i+1)}$ representa el volumen turbinado durante el período $i+1$.

De esta forma se puede apreciar cual es la variación del nivel del embalse a medida que se producen los aportes y las salidas turbinadas de cada período durante un intervalo de tiempo. Figura N° 22.

Los tramos ascendentes corresponden a la situación en que los aportes al embalse superan a las salidas o volúmenes turbinados, la condición de exceso indica que los aportes superan a las salidas en el embalse y se alcanza el nivel máximo permitido por lo tanto es necesario descargar un volumen determinado para mantener el nivel a la cota máxima permitida. Los tramos descendentes corresponden a la situación en que los aportes son inferiores a los volúmenes turbinados.

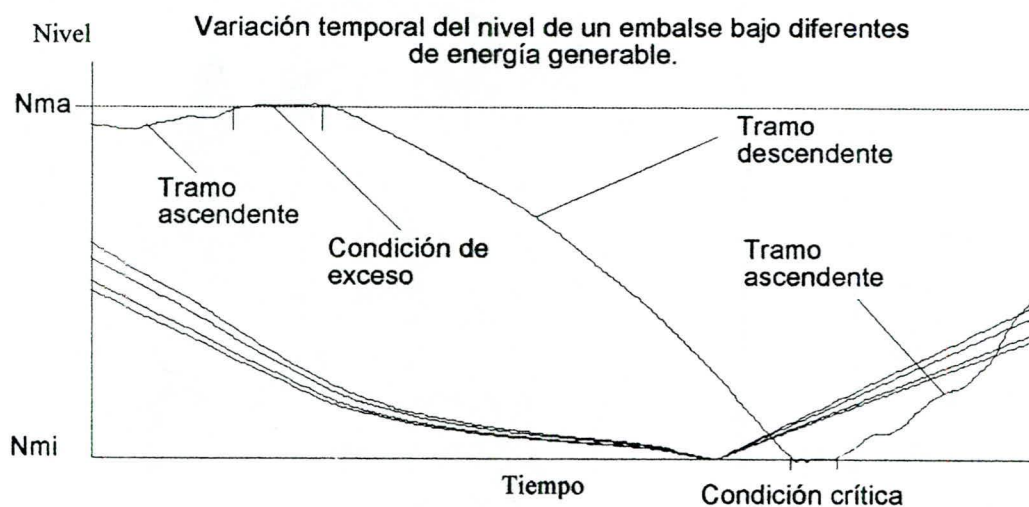


Figura N° 22. Fluctuación del nivel del embalse bajo diferentes condiciones de energía generable.

La **condición crítica** sucede cuando los aportes son inferiores al los volúmenes turbinados y el nivel del embalse desciende hasta la cota mínima o de volumen útil igual a cero. Bajo esta condición en el embalse solo se puede generar energía con los aportes hasta que nuevamente éstos superen al volumen turbinado.

3. INFORMACIÓN BÁSICA RECOLECTADA.

En esta parte se presenta la información que es necesaria para el desarrollo de este trabajo, haciendo una descripción de la geografía de la zona de estudio, la ubicación del grupo de estaciones pluviométricas e hidrométricas mediante el uso de mapas y gráficos, y una descripción del embalse de Guri.

3.1.- Aspectos geográficos y ubicación de la zona de estudio.

La represa Raúl Leoni se encuentra ubicada al nordeste del Estado Bolívar Mapa N° 1, cerca de los principales centros urbanos e industriales del estado como los son Ciudad Bolívar y Ciudad Guayana, esta represa embalsa las aguas del río Caroní y su principal tributario el río Paragua. Mapa N° 2. El área de la cuenca aguas arriba del sitio de presa es aproximadamente igual 80.000 kilómetros cuadrados Mapa N° 3, con una precipitación media anual estimada en unos 2800 mm distribuidos heterogéneamente sobre toda la cuenca y un caudal promedio anual de 4.800 metros cúbicos por segundo, por lo que anualmente circula en promedio un total de 151.000.000.000 de metros cúbicos por el embalse.

La capacidad instalada en la presa es de diez mil (10.000) MW generando actualmente 50.000 GWh.

3.2.- Información hidrométrica y pluviométrica.

La información es obtenida de la Base de Datos Hidrometeorológicos de EDELCA en Caracas y corresponde a la información histórica de las siguientes estaciones pluviométricas e hidrométricas:

Cuenca del río Cuyuní

1. **El Manteco.** Período 1.958 / 1.970.

Serial: 4947 Elevación: 305 msnm Lat: 07° 22' 13'' N. Long: 62° 31' 54'' W.

Tipo de dato: Prec MENSUAL.

2. **Tumeremo F.A.V.** Período 1.958 / 1.970.

Serial: 4974 Elevación: 180 msnm Lat: 17° 15' 25'' N. Long: 61° 31' 15'' W.

Tipo de dato: Prec MENSUAL.

Cuencas varias al sur del río Orinoco

1. **Orinoco en Palua.** Período 1.950 / 1.995.

Serial: 181 Tipo de dato: lectura de mira MENSUAL

Cuenca del río Caroní

1. **Macagua.** Período 1.958 / 1.970.

Serial: 6 Elevación: 79 msnm Lat: 08° 17' 29'' N. Long: 62° 39' 21'' W.

Tipo de dato: Prec MENSUAL.

2. **Guri estimado.** Período 1.950 / 1.995.

Serial: 9 Elevación: 271 msnm Lat 07° 51' 00'' N. Long: 63° 02' 20'' W.

Tipo de dato: Gast MENSUAL y DIARIO.

Este término Guri estimado representa el registro pseudo - histórico de caudal del río Caroní en el sitio de presa durante el período 1.950 - 1.996. Este registro

Tablas de Altura - Area - Capacidad del embalse de Guri. Tabla N° 5.

Tabla N° 5.

**Curvas de Area - Altura - Capacidad.
Embalse Guri.**

Altura (msnm)	Area (Km2)	Volumen Millones de m3
240	1756,78	26383,8
245	2036,42	35866,79
250	2316,05	46747,96
255	2644,69	59149,81
258	2841,87	67379,66
260	2973,33	73194,86
261	3059,33	76211,19
262	3145,32	79313,51
263	3231,32	82501,83
264	3317,31	85776,15
265	3403,31	89136,46
266	3489,3	92582,76
267	3575,3	96115,06
268	3661,29	99733,36
269	3747,29	103437,65
270	3833,28	107227,6
271	3916,27	111104,21

Serie histórica de eventos EL NIÑO y LA NIÑA periodo 1900/1995. Tabla N° 6.

Tabla N° 6.

Cronología de eventos el niño y la niña según.

Años EL NIÑO	Años LA NIÑA
1900 - 1991	1903 - 1904
1902 - 0993	1906 - 1907
1905 - 1906	1908 - 1909
1911 - 1912	1916 - 1917
1914 - 1915	1920 - 1921
1918 - 1919	1924 - 1925
1923 - 1924	1928 - 1929
1925 - 1926	1931 - 1932
1930 - 1931	1938 - 1939
1932 - 1933	1942 - 1943
1939 - 1940	1949 - 1950
1941 - 1942	1954 - 1955
1946 - 1947	1964 - 1965
1951 - 1952	1970 - 1971
1953 - 1954	1973 - 1974
1957 - 1958	1975 - 1976
1963 - 1964	1988 - 1989
1965 - 1966	
1969 - 1970	
1972 - 1973	
1976 - 1977	
1977 - 1978	
1982 - 1983	
1986 - 1987	
1991 - 1992	
1993 - 1994	
1995 ?	

4. METODOLOGÍA

A continuación se presentan las sucesivas etapas que sirvieron para el desarrollo de este trabajo y que están divididas en tres fases. La primera se refiere a la metodología utilizada para la validación de los datos de caudal en Guri estimado, la segunda abarca todo lo referente al análisis estadístico que condujo a la obtención de los volúmenes de diseño para el desarrollo de las curvas de NDF y finalmente se explican todos los aspectos relacionados con la operación del embalse.

4.1.- Metodología de la validación de los datos de caudal en Guri estimado.

Debido a que frecuentemente en la información disponible puede haber datos dudosos o inconsistentes, es necesario verificar la calidad de los mismos. En este caso se pretende comprobar que los caudales mínimos históricos de una serie de 47 años de registros realmente tuvieron esa magnitud. De esta manera se verifica que estos registros históricos de caudal no fueron distorsionados por una extrapolación indebida de la curva de gastos o por una mala apreciación del observador.

En aquellos casos donde existe información faltante o englobada se determinaron por los métodos comúnmente usados. Los datos faltantes de precipitación mensual se calcularon aplicando el método de la razón de los valores normales y los desenglobes por medio de una distribución porcentual obtenida a partir de una estación patrón.

Los datos faltantes de nivel mensual del río Orinoco se determinaron interpolando linealmente. Asumiendo que un río con un caudal tan elevado las

variaciones del nivel no son violentas durante períodos de tiempo relativamente cortos, por lo tanto el nivel calculado por este método se aproxima bastante bien a la realidad.

Para verificar los registros de caudal del río Caroní se utilizó la correlación lineal simple con los datos de nivel mensual del río Orinoco en Palua y con los datos de precipitación media mensual de las estaciones Tumeremo, El Manteco y Macagua las cuales son climatológicamente homogéneas y son las únicas que contienen la información más completa de precipitación durante el período entre 1.958 hasta 1.970 que corresponde con el intervalo donde ocurrieron los mínimos históricos de caudal del río Caroní.

La ecuación utilizada para determinar el coeficiente de correlación en las relaciones caudal del Caroní Vs nivel del Orinoco y caudal del Caroní Vs Precipitación promedio del grupo de estaciones fue la siguiente:

$$r = (\sum x_i y_i - \bar{x} \bar{y}) / n S_x S_y \quad 4.1$$

Donde:

r es el coeficiente de correlación lineal simple.

x_i - cimo elemento de la muestra x .

y_i - cimo elemento de la muestra y .

\bar{x} media dela muestra x .

\bar{y} media dela muestra y .

S_x es la desviación típica de la muestra x .

S_y es la desviación típica de la muestra y .

Esto motivó a seleccionar este período para realizar la correlación entre la precipitación promedio anual del grupo de estaciones con el caudal del río Caroní.

Para correlacionar caudal del río Caroní Vs nivel del río Orinoco se usó la serie estandarizada de sus valores observados desde 1.950 hasta 1.995. En este caso se tomó la serie completa para observar el nivel de correlación entre estos dos ríos.

Posteriormente se redujo la longitud de la serie de años para mejorar la correlación durante los años de interés, para correlacionar el caudal del Caroní Vs nivel del río Orinoco la serie abarca los años desde 1.960 hasta 1.970. Para correlacionar el Caudal del río Caroní Vs la precipitación media anual del grupo de estaciones se utilizó una serie que abarca los años desde 1.958 hasta 1.966. La reducción de la longitud de debe a que es preferible concentrar la investigación en el intervalo de tiempo que solo cubre los años en donde ocurrieron los mínimos históricos de caudal en la cuenca del río Caroní, esto con el fin de eliminar distorsiones por eventos con otras características como por ejemplos crecientes.

Esta comparación se basa en que las sequías abarcan grandes extensiones de área, perturbando regiones hidrológicamente separadas, por lo que eventos aparentemente independientes deben seguir una misma tendencia.

Con fines de determinar como fue la distribución temporal de estos eventos secos durante los años 1.964 y 1.965 (los años más secos observados), se compararon con el promedio histórico de la serie de caudales, para evaluar si durante estos años la estación lluviosa fue pobre o la estación seca prolongada.

4.2.- Metodología del análisis estadístico para la obtención del los volúmenes de diseño.

Una vez verificada la información se realizó el análisis estadístico de los caudales diarios de la serie de cuarenta y siete (47) años que contiene todos los años

donde ocurrieron los caudales medios anuales mínimos, para la obtención de los volúmenes de diseño. Como lo que se buscó fue analizar el período de aportes mínimos al embalse, el intervalo de estudio comprende todos los meses en los cuales los aportes son inferiores al caudal promedio histórico (Octubre/ Abril) y que en total son doscientos trece (213) días consecutivos.

Es importante destacar que el período comprendido entre Octubre de 1.951 a Abril de 1.952 no fue incluido debido a que los caudales diarios registrados durante los primeros días del mes de Abril de 1.952 resultaron ser en extremos bajos (46 m³/seg) lo que hizo dudar de la veracidad de este registro si se compara con el siguiente período en orden de magnitud que es el comprendido entre Octubre de 1.963 hasta Abril de 1.964 con un caudal mínimo de 182 m³/seg, por lo tanto se consideró que incluir este dato traería como consecuencia una distorsión en el análisis de extremos de los distintos hidrogramas. La eliminación de este período tampoco interfiere con el análisis de extremos debido a que los eventos son independientes y ocurren de forma aleatoria sin importar cuando ocurrieron.

Para el análisis estadístico se utilizó una distribución de eventos extremos de Gumbel, tanto para la determinación de los volúmenes de diseño del Hidrograma Volumétrico Promedio como para el Hidrograma de Extremos Volumétrico.

Figura N° 27.

Para lograr que la distribución teórica se ajuste lo más precisa posible se hicieron ajustes en los parámetros de cada ecuación de función de distribución de probabilidad y se aplicó un test de bondad de ajuste para comprobar la aproximación entre la distribución observada y la teórica. Ver Anexo .

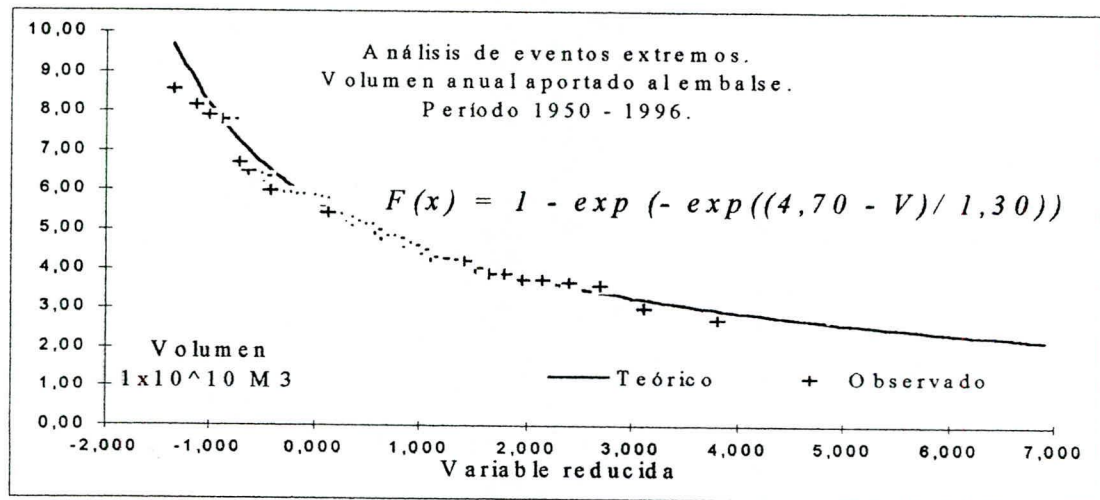


Figura N° 27. Análisis de eventos extremos. Volumen mínimo aportado al embalse.

Seguidamente se determinaron los volúmenes de diseño por cada período de retorno para después obtener los respectivos hidrogramas. Luego se hizo un análisis que permitió decidir que tipo de Hidrograma es más representativo, esto se consiguió determinando cual de los dos tipos de hidrogramas (**HVP** ó **HEV**) se adapta mejor a las condiciones observadas, tomando aquel tipo de Hidrograma que guarde una proporción respecto a la información analizada. En este caso resultaron elegidos los **HVP**.

4.3.- Metodología del desarrollo de las curvas NDF

Estas curvas se desarrollaron con la intención de establecer los cambios de energía generable en el embalse con un criterio de diseño basado en el análisis de frecuencia proveniente de los **HVP**, con el fin de que estos cambios de energía estén asociados a un período de retorno y a su vez a la información histórica de caudal, y especialmente a la ocurrencia de los eventos mínimos de caudal en el embalse durante el período de estudio.

Cada Hidrograma asociado a un período de retorno fue transformado en una curva de masa que representa la variación temporal en el intervalo de doscientos trece (213) días, en términos de nivel de los aportes al embalse a partir del nivel que corresponde al volumen útil igual a cero.

Para garantizar una continuidad a lo largo de los trescientos sesenta y cinco días de cada año, fue necesario extender las curvas de masa anteriormente desarrolladas en los restantes ciento cincuenta y dos días equivalentes al período entre los meses de Mayo a Septiembre en que se producen los mayores aportes.

Para hacer esto se interpoló linealmente en el intervalo Mayo - Septiembre teniendo como límites superior e inferior los mismos de las curvas de masa **NDF**.

Estas curvas desarrolladas para los 365 días del año fueron unidas en pares de años consecutivos de esta forma se evita caer en errores debido a el gran volumen de información que se analiza. Figura N° 28. Cada banda o zona entre curvas de diferentes períodos de retorno representa la banda en la cual se genera una determinada cantidad de energía o demanda que se puede cubrir.

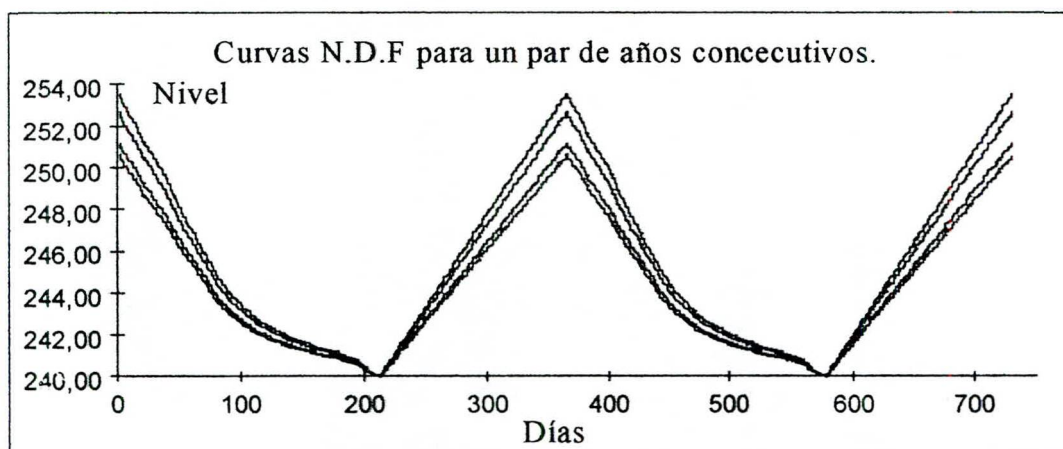


Figura N° 28. Curvas **NDF** para diferentes períodos de retorno.

4.4.- Metodología de la operación del embalse de Guri.

Debido a que en este trabajo se buscó determinar el comportamiento que tienen los volúmenes de embalse en períodos secos, se operó el embalse durante los años que abarcan los períodos de aportes mínimos en la serie histórica el cual es de veintiún años, desde el primero de Octubre de 1.958 hasta el treinta de Abril de 1978.

Para iniciar el tránsito se consideró que el embalse se encuentra en su capacidad máxima, esto con fines de poner al embalse en las condiciones más favorables.

Para facilitar el desarrollo de la operación del embalse se utilizó una hoja de calculo en Exel que permitió realizar, mediante la creación de un algoritmo, todos los cálculos necesarios. Debido a que el volumen de información fue muy elevado (mas de 7.000 datos diarios de caudal), se decidió trabajar con pares de años consecutivos lo que permitió guardar toda la operación en diez (10) documentos en discos de 3,5" de 1,44 MB.

De esta forma se creó un programa matriz que contiene todos los algoritmos y la solución gráfica para la realización del tránsito y seguir las fluctuaciones del nivel en el embalse.

A este programa matriz se le hizo una copia a la que se le insertó la información de caudales diarios correspondientes a cada par de años consecutivos y el nivel inicial, que para el primer año es la cota máxima y para los restantes años la condición final del año anterior.

4.4.1.- Modo de operación del programa

Este programa selecciona la cantidad de energía generable dependiendo del nivel que tenga el embalse durante un determinado día y con las curvas **NDF**, las cuales fueron diseñadas de tal forma que la energía generable es inversamente proporcional al período de retorno que define a cada curva (50, 100, 500 y 1.000 años), de esta manera se tiene que la cantidad de energía generable disminuye a medida que el nivel del embalse hacia las curvas **NDF** de mayor período de retorno.

La primera rutina que realiza el programa es determinar la energía que se debe generar, esto lo hace comparando el nivel al comienzo del día que tiene el embalse con el nivel de las curvas **NDF** correspondiente para ese día. Si el nivel actual del embalse se encuentra por encima de la curva de período de retorno de 50 años el programa seleccionará una energía E, de esta forma el programa determinará los sucesivos cambios en la cantidad de energía a medida que el nivel del embalse fluctúa dependiendo de los aportes y del caudal turbinado. En la Tabla N° 7 se aprecian las diferentes cantidades de energía generable entre cada curva **NDF**, de esta forma la energía generable para un determinado día dependerá de la cota que tenga el embalse respecto a las curvas **NDF**.

Cuando el nivel en el embalse desciende hasta la cota de 240 metros entonces el programa calcula la energía que se puede generar a esa cota con los aportes de ese día.

Tabla N° 7.
Cantidad de Energía generable
entre cada curva **NDF**.

Denominación	Energía 1 x 10 ⁶ GW/día	Rango entre curvas Tr de mínimos
Promedio E	125,0	< 50 años
Energía E1	120,5	50 y 100
Energía E2	116,0	100 y 500
Energía E3	111,5	500 y 1000
Energía firme Ef	107,0	1000 años <

Si el nivel en el embalse asciende hasta 271 metros el programa elimina los excesos y considerará como volumen el correspondiente a la cota anteriormente mencionada.

La segunda rutina consiste en determinar el volumen que tiene el embalse al final del día agregando al volumen final del día anterior los nuevos aportes y restando el volumen que deberá ser turbinado. En esta rutina el programa realiza todas las conversiones necesarias para expresar el resultado en unidades de volumen lo que facilita el proceso de la tercera y última rutina del programa.

La tercera rutina consiste en realizar la conversión de volumen final obtenido al final del día a unidades de nivel lo que permitirá comenzar nuevamente con las rutinas del programa a medida que pasan los días.

Todo el análisis lleva a una solución gráfica que permite observar el movimiento del embalse a lo largo de los diecinueve años de estudio y todos aquellos años en los que ocurrieron períodos críticos. Figura N° 29.

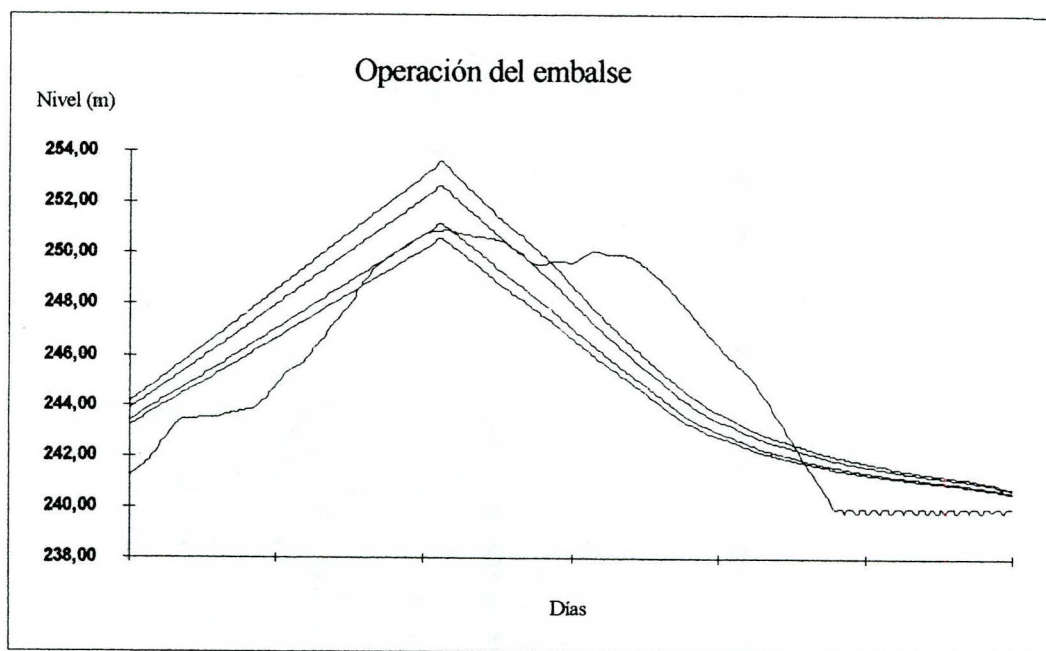


Figura N° 29. Fluctuación del nivel del embalse durante un período de días consecutivos.

5. RESULTADOS

En primer lugar se presentan los resultados obtenidos en la validación de los caudales mínimos históricos del río Caroní en el sitio de presa, en segundo lugar los resultados obtenidos del análisis comparativo entre la ocurrencia de eventos EL NIÑO y la ocurrencia de caudales por debajo del promedio de los meses comprendidos entre Octubre y Abril y en tercer lugar se presentan los resultados del tránsito de los caudales diarios por el embalse de Guri.

5.1.- Validación de los caudales mínimos históricos del río Caroní en el sitio de presa.

Al correlacionar el caudal del río Caroní con el nivel del río Orinoco durante el período comprendido entre 1.950 hasta 1995, Figura N° 26, se encontró que el índice de correlación obtenido es 0,67 lo que indica que hubo años en los que el comportamiento de cada río fue diferente. Esto pudo observarse durante los años 1.951, 1.969, 1.984 y 1.987. Figura N° 27. Nótese que en ninguno de estos años se produjo un mínimo histórico por lo que se redujo la serie a los años comprendidos entre 1.952 y 1.977 que también abarca a los años donde se produjeron los mínimos históricos. Se comparó nuevamente y se obtuvo un índice de correlación igual a 0,82. Gráfico N° 28.

También se observó la similitud que tienen los comportamientos de ambos ríos, especialmente en el período comprendido entre 1.958 y 1.970. Esta gráfica es bastante explicativa puesto que refleja de manera precisa la ocurrencia de los caudales mínimos en la cuenca del río Caroní.

Caudal medio anual en Guri.
Período 1.950 - 1.995

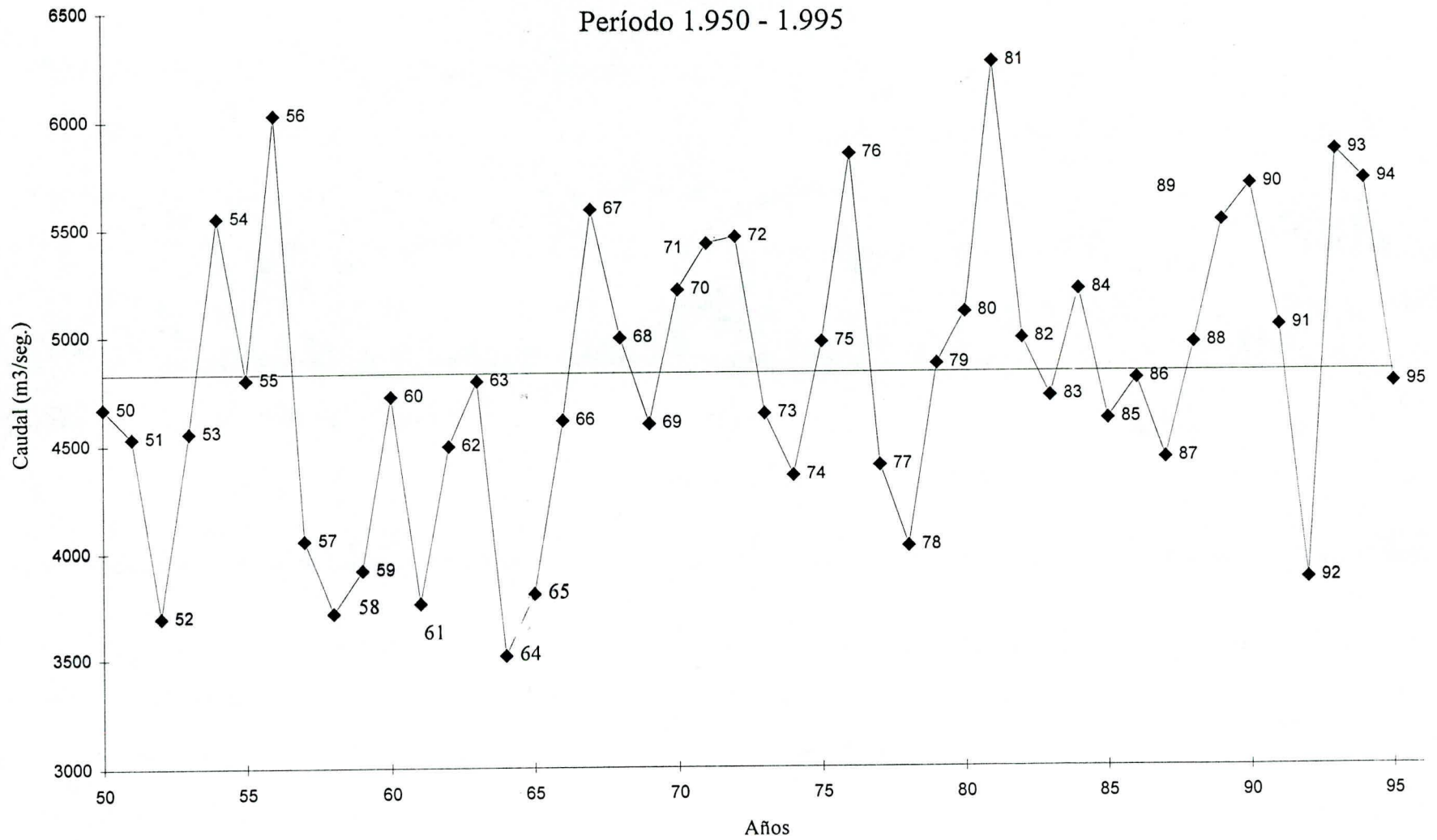


Figura N° 26

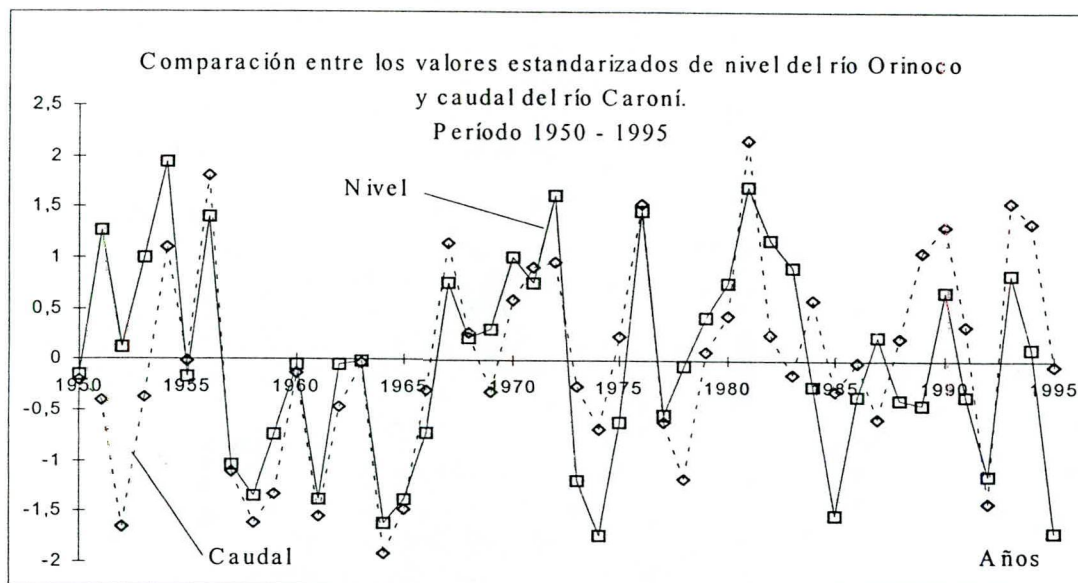


Figura N° 27. Comportamiento del nivel del río Orinoco y el caudal del río Caroní.
Período 1.950 - 1995.

En la Figura N° 28. se observó que ambos ríos siguen una misma tendencia, solo durante los años 1.962 y 1.969 hubo leves diferencias que no alteraron significativamente el resultado.

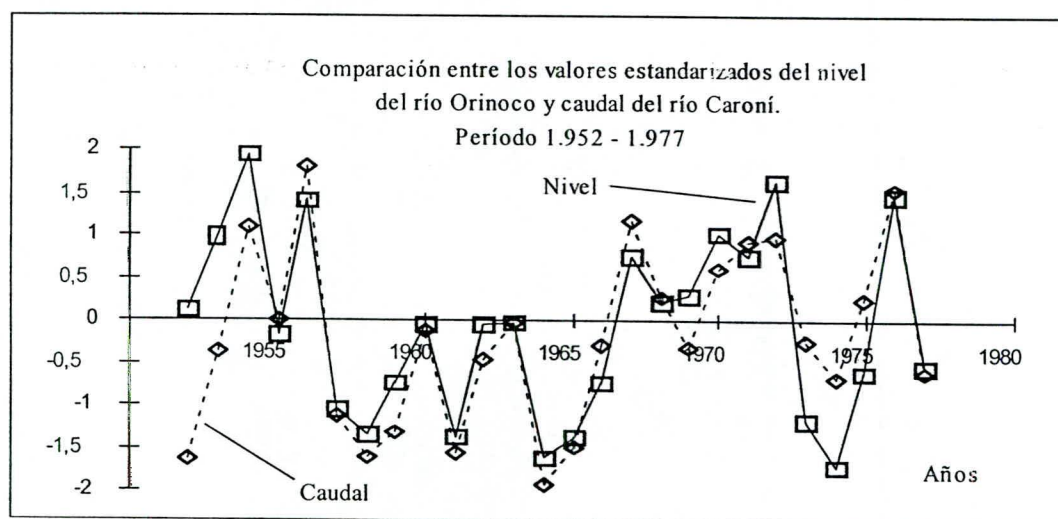


Figura N° 28. Comportamiento del nivel del río Orinoco y el caudal del río Caroní.
Período 1.952 - 1.977.

Por otro lado, al correlacionar el caudal del río Caroní con la precipitación media anual del grupo de estaciones durante el período 1.958 y 1.970 se encontró que la precipitación promedio y el caudal no siguieron una misma tendencia por lo que el coeficiente de correlación resultó ser igual a 0,60. En la Figura N° 29. se observó que existen diferencias en los años 1.959, 1.962 y 1.967. Es importante indicar que estas estaciones solo son representativas de la región del bajo Caroní., no así del resto de la cuenca.

En este caso también se redujo la serie a los años comprendidos entre 1.958 y 1966. Figura N° 30. El coeficiente de correlación mejoró llegando a ser igual a 0,70, aunque no fue una mejora significativa si se determinó que el caudal del río Caroní y la precipitación media anual del grupo de estaciones siguen una tendencia bastante parecida durante los años en que ocurrieron los caudales mínimos históricos.

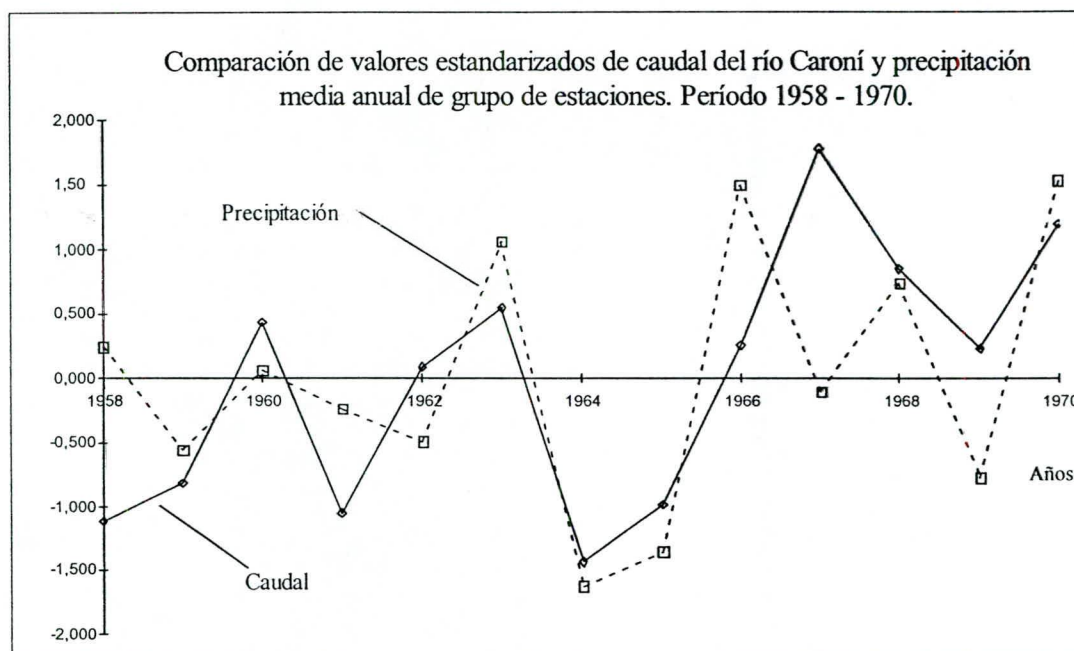


Figura N° 29. Comportamiento de la precipitación promedio del grupo de estaciones y el caudal del río Caroní. Período 1.958 - 1.970.

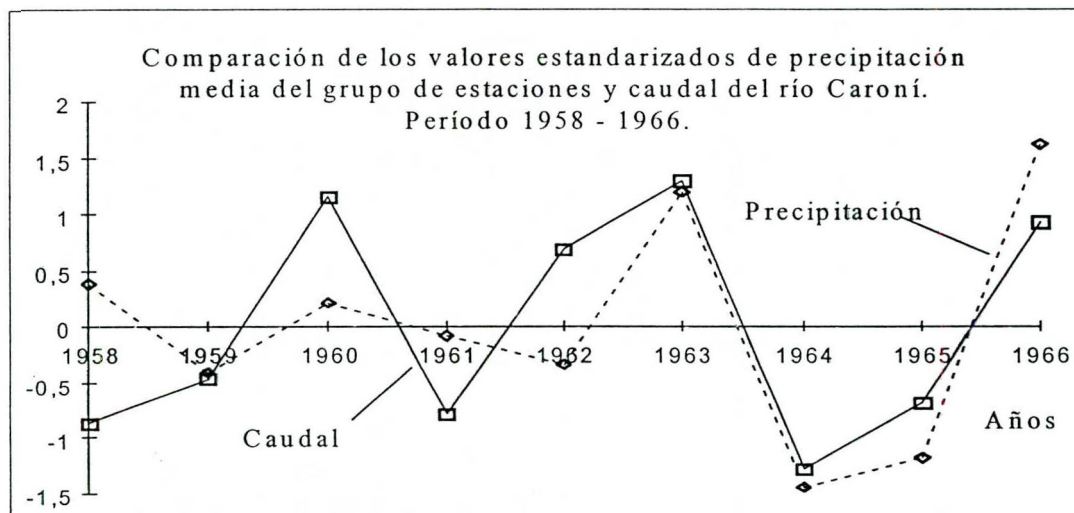


Figura N° 30. Comportamiento de la precipitación promedio del grupo de estaciones y el caudal del río Caroní. Período 1.958 - 1.966.

Finalmente se graficó el caudal medio mensual de los años 1.964 y 1.965 y el caudal promedio mensual de la serie que va desde 1.950 hasta 1.996. En la Figura N° 31. se observó que durante los años 1.964 y 1.965 el caudal estuvo durante todo el año por debajo del promedio lo que es indicativo de una situación de sequía severa y estaciones lluviosas pobres en precipitación ocurridas durante estos años, solo durante el mes de Noviembre del año 1.965 el caudal superó de forma leve al valor promedio para luego caer nuevamente.

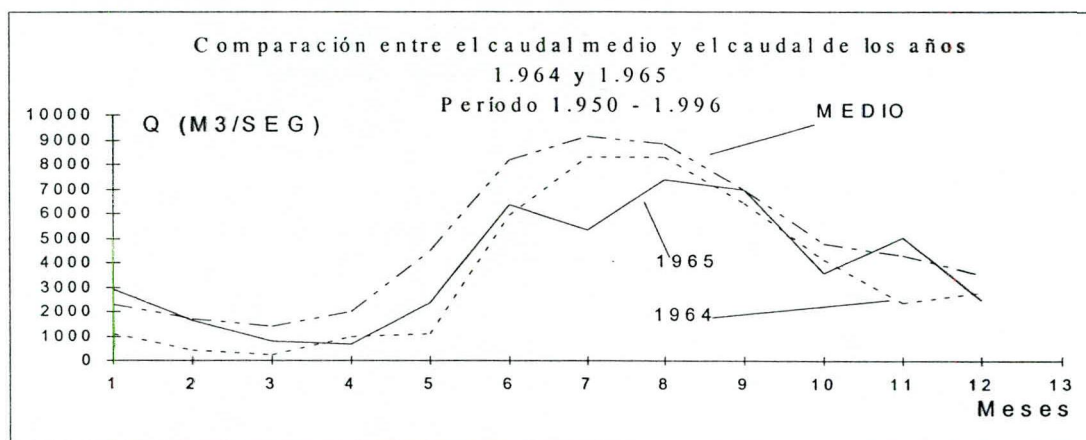


Figura N° 31. Comparación entre los caudales de los años 1.964 y 1.965 con el caudal medio mensual del período 1.950 - 1.996.

5.2.- Relación entre eventos EL NIÑO y la ocurrencia de los caudales mínimos históricos en el río Caroní.

En la tabla N° 8. puede verse la coincidencia que existe entre eventos EL NIÑO y la ocurrencia de los caudales por debajo del promedio mensual de los meses comprendidos entre Octubre y Abril. En la serie de años entre 1.950 hasta 1.996 hubo un total de 25 años con caudales por debajo del promedio y 14 episodios EL NIÑO de los cuales 12 coinciden con años con caudales por debajo del promedio lo que indica que existe una alta tasa de coincidencia que debe ser tomada en cuenta.

Es importante indicar que en los intervalos 1.951 - 1.952 y el período comprendido entre los años 1.957 hasta 1.966 ocurrieron los caudales mínimos históricos y también 4 eventos EL NIÑO; por otra parte en los intervalos 1.986 - 1.987 y 1.995 - 1.996 en los que hubo eventos EL NIÑO los caudales solo superaron al valor promedio en un 10 %, porcentaje que es bajo si se compara con otros intervalos en los que hubo caudales por encima del promedio con porcentajes comparativamente elevados.

Tabla N° 8
Relación entre períodos secos en la cuenca del río Caroní y el fenómeno EL NIÑO
Período 1950/1996.

CAUDALES EN M3/SEG.

Intervalo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Promedio	%	EL NIÑO	LA NIÑA
50-51	3296	3057	2312	2795	4393	2428	1727	2930	2.8		
51-52	3419	2182	1438	1145	997	285	382	1407	-50.7	*	
52-53	4059	2798	2359	2059	3895	2533	3221	2989	4.8		
53-54	2970	2729	3072	3230	1398	1378	3755	2647	-7.1	*	
54-55	5681	4744	5101	2765	1063	2059	2891	3472	21.8		*
55-56	5503	4302	4427	3466	2157	2880	1760	3499	22.7		
56-57	7619	4557	3896	3079	1500	880	799	3190	11.9		
57-58	2571	2962	2504	1554	1254	1075	2346	2038	-28.5	*	
58-59	3231	2629	1111	912	908	425	657	1468	-48.5		
59-60	3698	3963	4450	2055	1317	890	1296	2524	-11.5		
60-61	4778	5657	3668	1202	1125	561	457	2493	-12.6		
61-62	4941	5631	3548	1530	1037	1070	1176	2705	-5.1		
62-63	4227	3143	2083	1510	1978	1596	1803	2334	-18.1		
63-64	3080	2912	2692	1069	397	216	985	1622	-43.1	*	
64-65	4134	2371	2762	2908	1629	790	696	2184	-23.4		*
65-66	3581	5016	2491	1571	603	338	548	2021	-29.1	*	
66-67	4184	5118	5813	4350	1813	1463	2788	3647	27.9		
67-68	4689	3146	2916	1658	1918	1281	3904	2787	-2.2		
68-69	4865	4443	3377	2281	3583	1768	2628	3278	15.0		
69-70	4391	2369	2391	2970	1915	1633	2503	2596	-8.9	*	
70-71	4189	4640	3714	2897	1974	1755	2864	3148	10.4		*
71-72	5505	5596	4925	4636	2890	3299	4073	4418	55.0		
72-73	3430	5186	2290	1064	733	499	674	1982	-30.5	*	
73-74	7224	7127	6085	3904	2621	1457	4151	4653	63.2		*
74-75	5429	6014	3116	2630	1218	1220	929	2937	3.0		
75-76	4606	3377	5973	3253	2339	3480	6519	4221	48.1		*
76-77	3611	2222	3479	1469	791	789	1287	1950	-31.6	*	
77-78	5814	4308	1543	815	631	356	1201	2095	-26.5	*	
78-79	4751	3749	2307	1058	649	1044	2569	2304	-19.2		

CAUDALES EN M3/SEG.

Tabla N° 8
Relación entre períodos secos en la cuenca del río Caroní y el fenómeno EL NIÑO
Período 1950/1996.

Intervalo	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Promedio	%	EL NIÑO	LA NIÑA
79-80	6017	4205	3477	2019	939	502	1257	2631	-7.7		
80-81	4584	4812	3950	2548	2005	2136	4167	3457	21.3		
81-82	5156	2998	3085	1819	2457	2655	4128	3185	11.7		
82-83	4106	3040	2442	2375	766	794	2862	2341	-17.9	*	
83-84	3821	2541	2951	2175	2682	978	865	2288	-19.8		
84-85	5694	5925	3875	2632	929	770	649	2925	2.6		
85-86	5373	6222	4651	1627	1397	1966	1394	3233	-13.4		
86-87	5773	6853	5135	1774	1238	906	897	3225	13.1	*	
87-88	5051	3475	2228	1485	1291	616	693	2120	-25.6		
88-89	5950	6390	5799	4406	2541	2154	2855	4299	50.8		*
89-90	6987	7509	3760	2378	2962	1998	4119	4245	48.9		
90-91	5620	4576	4600	3438	1317	1566	1496	3230	13.3		
91-92	4983	3229	3564	2082	927	948	1245	2425	-14.9	*	
92-93	3231	3244	3840	2039	1376	2873	2866	2781	-2.4		
93-94	5462	6036	4607	2005	1643	1033	1738	3218	12.9	*	
94-95	7476	4335	3572	1393	705	1271	970	2817	-1.2		
95-96	4553	5549	3903	2111	2561	2098	1526	3186	11.7	*	

Promedio **2851**

Relación **0.857 %**

N° de Períodos Secos por debajo del promedio **25**

Episodios EL NIÑO **14**

Períodos secos con períodos ENSO **12**

5.3.- Desarrollo de los hidrogramas HAVP, HEV y curvas NDF.

Se pudo observar que los **HAVP** y los **HEV** son aplicables para la obtención de volúmenes mínimos de diseño ya que los fundamentos teóricos y la metodología utilizada para el desarrollo de estos tipos de hidrogramas se adaptan bastante bien en el estudio de eventos mínimos. Es importante indicar que la distribución de extremos de Gumbel aplicada para la obtención de los volúmenes mínimos de diseño no se comporta de igual forma que cuando se aplica para la obtención de volúmenes máximos de diseño, debido a que en el caso de los volúmenes extremos mínimos a la distribución observada no se le pudo ajustar una ecuación lineal sino una curva de tipo exponencial producto de ajustes que se le hizo a la ecuación lineal original, para lograr el mejor acoplamiento posible entre la distribución observada y la distribución teórica.

En el caso de las curva **NDF** se observó que su uso fue efectivo durante el período comprendido entre octubre de 1.960 hasta septiembre de 1.966, período en el cual hubo sucesivos cambios en la cantidad de energía generable atribuidos a estas curvas y al descenso de los aportes al embalse.

5.4.- Operación del embalse de Guri.

Al transitar el caudal diario estimado del río Caroní en el sitio de presa, bajo las consideraciones de generación de energía establecidas, se encontró que hubo cinco años en los que las condiciones para generar energía firme fueron críticas en donde solo se pudo generar la energía equivalente al aporte diario a la cota mínima posible (240 m).

Los cambios en la cantidad de energía generable aunque estuvieron regidos por las curvas diseñadas mediante el análisis de frecuencia no lograron evitar el descenso drástico del nivel del embalse.

En la tabla N° 9. se aprecian los años críticos en los que los volúmenes de embalse y la generación de energía hidroeléctrica se encontraron en una situación comprometida. También se pudo apreciar que los años con sequías más severas (1.962, 1.965 y 1.966) son precedidos por años secos, especialmente durante el trienio 1.964, 1.965 y 1.966 en los que se notó un empeoramiento de la situación.

Tabla N° 9.

Períodos de días críticos

Año	Desde	Hasta	N° de días críticos	Meses críticos
1961	148	162	15	Mayo y Junio.
1962	73	159	87	Marzo, Abril, Mayo y Junio.
1964	100	159	60	Abril, Mayo y Junio.
1965	58	149	100	Marzo, Abril y Mayo.
1966	43	151	109	Febrero, Marzo, Abril y Mayo.

También pudo notarse que la situación crítica abarcó períodos largos de tiempo de intervalos de más de dos meses consecutivos en cuatro de los cinco años observados mientras que los períodos de tiempo anteriores y posteriores a los intervalos de días críticos en los que se podía generar 107 millones GW por hora, abarcan intervalos de entre seis y once días consecutivos antes de la situación crítica e intervalos de tiempo mucho más prolongados de diecisiete a noventa y ocho días consecutivos posteriores a la situación crítica. Este comportamiento muestra la dificultad que tiene el embalse de recuperarse después de los períodos de sequía prolongada en la región.

Un aspecto interesante tiene que ver con el día en que finaliza el período crítico, en la tabla N° 9. se observó que en los cinco años, el final del intervalo crítico está a finales del mes de Mayo y principio del mes de Junio, lo que puede ser mera casualidad pero no deja de ser interesante.

Finalmente se debe mencionar que los restantes años analizados no ocurrieron descensos significativos por lo que la generación de energía no se vio comprometida. Durante el período 1.972 - 1.973 el caudal promedio de los meses comprendidos entre Octubre y Abril estuvo un 30 % por debajo del promedio de la serie histórica, sin embargo el descenso de los niveles del embalse no fue lo suficientemente amplio como para que se hicieran cambios en la cantidad de energía generable debido a que durante el período anterior los aportes superaron el promedio en un 55 %. Lo mismo se observó durante el período 1.976 - 1.977 en el que los aportes estuvieron un 31 % por debajo del promedio y los aportes en el período anterior superaron el promedio en un 48 %.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como era de esperar, el caudal del río Caroní estimado en el sitio de presa fue afectado, al igual que el nivel del río Orinoco en Palua y el patrón de precipitación en la región nor - este del Estado Bolívar, por una **sequía severa** que alteró el comportamiento de la precipitación de manera drástica, abarcando grandes extensiones del territorio nacional al sur y al sur - este de del río Orinoco durante los años 1.951, 1.952 y durante el período que abarca los años 1.958 hasta 1.966. Por otra parte la ocurrencia de eventos EL NIÑO pudiera estar causando algún efecto sobre la región ubicada al sur del río Orinoco alterando el ciclo estacional de la precipitación y reduciendo los aportes al embalse durante los meses comprendidos entre Octubre y Abril cuando la temperatura en la superficie del mar en las costas del Perú y del Ecuador alcanza los valores máximos.

Siendo EL NIÑO un fenómeno que ocurre relativamente cerca de nuestro país y que afecta regiones tan remotas como la India y el sur de Africa, es de esperar que algún efecto se deje sentir en nuestro territorio, con especial influencia en las regiones del país anteriormente mencionadas.

Los hidrogramas **HAVP** y **HEV** son aplicables para el estudio de aportes mínimos durante los meses en los que los aportes al embalse están por debajo del promedio histórico en el hidrograma medio mensual. Los volúmenes de diseño que derivan del desarrollo de estos hidrogramas son proporcionales a la información histórica manejada ya que provienen de un análisis estadístico confiable como lo es la aplicación de una distribución de eventos extremos de Gumbel.

La ocurrencia de no solo **sequías severas** sino también de estaciones lluviosas pobres en precipitación durante los años anteriormente mencionados y en forma seguida evitaron la recuperación del embalse en la simulación y en consecuencia se produjo un marcado descenso del nivel del mismo comprometiendo seriamente la generación de energía. Durante los años 1.961 y 1.962 y los años 1.964, 1.965 y 1.966 se apreció claramente lo anteriormente mencionado. Las condiciones empeoran cuando en el año precedente ha ocurrido una sequía que deja al embalse en cotas bajas, por lo tanto para que los niveles del embalse desciendan hasta las cotas mínimas debe existir una condición antecedente que afecte los aportes al embalse.

Durante el período comprendido entre el mes de octubre de 1.972 hasta abril de 1.973 el descenso del embalse durante la simulación no fue drástico debido a que hubo aportes importantes al embalse que impidieron el descenso a niveles críticos con una posterior recuperación.

La variación de la cantidad de energía generable por bandas o sectores no logró evitar el descenso del nivel del embalse hasta las cotas mínimas, dado que las condiciones existentes durante los años críticos impidieron la recuperación adecuada del embalse. También se observó que la cota máxima del embalse previa a la ocurrencia de estos períodos críticos no excedió en ninguno de los casos de 265 m.s.n.m.

Las curvas **NDF** en su tramo descendente contribuyeron a la mayor generación de energía posible durante los períodos de recesión de los aportes al embalse, lo que no resulta del todo óptimo ya que el descenso del nivel del embalse se produjo de manera drástica, a medida que el nivel desciende también lo hacen las curvas **NDF** y como consecuencia el cambio a una banda o sector de energía de menor magnitud se ve retrasada.

El número de días en los que se genera 107 millones GW por hora previo a los períodos críticos es relativamente muy corto si se compara con el número de días posteriores al período crítico cuando las curvas ascienden y si favorece la recuperación del embalse, ya que el cambio a una banda o sector de energía de mayor magnitud se ve retrasada. Por lo tanto el nivel del embalse y el tramo ascendente de las curvas **NDF** tardan en encontrarse.

7.- CONCLUSIONES.

Del análisis realizado para determinar las variaciones que tienen los volúmenes de embalse requeridos para la adecuada operación del embalse de Guri, en períodos de sequía prolongada se concluye:

.- El método utilizado para efectuar la operación del embalse variando la cantidad de energía generable, es adecuado para la administración del embalse. Los cambios de la cantidad de energía basados en el análisis de extremos (mínimos) se ajusta a la información histórica de caudal aportado, lo que permite el manejo del embalse con un criterio más hidrológico. Por otra parte el programa utilizado es de fácil uso lo que permite introducir nuevas variables para la operación del embalse.

.- Los volúmenes de embalse son seriamente afectados durante la ocurrencia de sequías prolongadas. Cuando estos eventos secos ocurren en forma consecutiva dejan al embalse en condiciones críticas por períodos de tiempo mayores a dos meses. Estas condiciones críticas se inician durante el mes de Febrero y finalizan, a más tardar, en los últimos días del mes de Mayo o principios del mes de Junio.

Si el embalse no se recupera de tal forma que supere la cota 265 m.s.n.m antes de que comience el período recesivo en los aportes al embalse, es de esperarse que ocurra un período crítico.

.- La anomalía oceánica denominada EL NIÑO puede estar causando algún tipo de efecto sobre la cuenca del río Caroní. Es posible que este efecto derive de las perturbaciones que EL NIÑO causa en la circulación general atmosférica

(OSCILACIÓN SUR), probablemente por la alteración del patrón estacional de lluvias que es gobernado por los desplazamientos de la ITZC en las regiones tropicales.

.- Las cuencas de los ríos Orinoco y Caroní tienen un comportamiento similar durante la ocurrencia de sequías al sur de Venezuela, lo que indica que cuando han ocurrido estos eventos la superficie aquejada abarcó grandes extensiones.

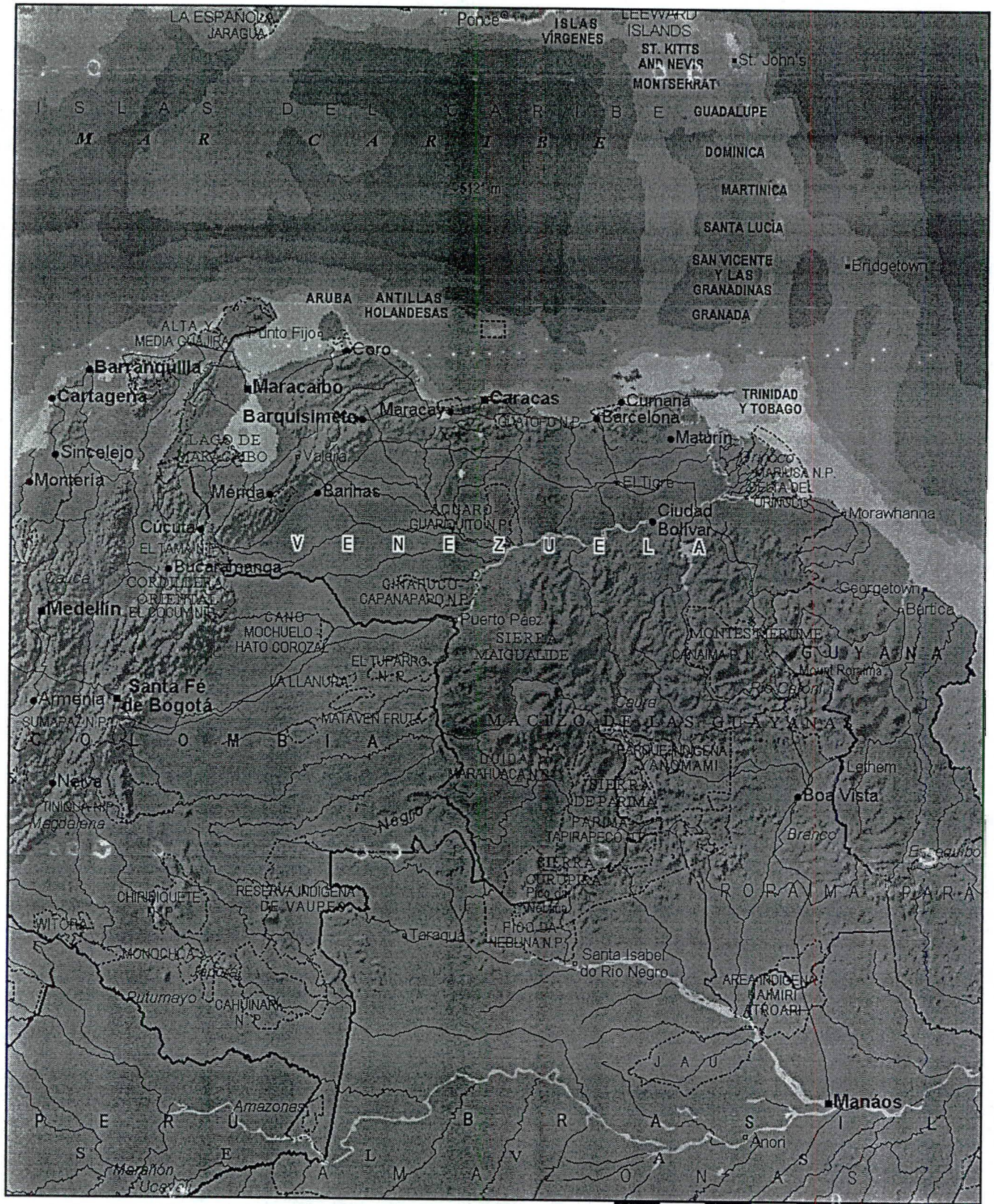
8.- RECOMENDACIONES.

- Debe probarse la aplicación del método de operación de embalses desarrollado en este trabajo en el embalse de Guri, para determinar con anticipación las condiciones en que pueda ocurrir un evento crítico en el futuro.
- Mejoramiento de las curvas de Nivel - Duración - Frecuencia para optimizar aún más la generación de energía en el embalse de Guri.
- Introducir en el programa diseñado para la operación del embalse nuevos elementos que permitan precisar más la variación temporal del nivel en el embalse en términos de la energía generable.
- Realizar mas investigaciones del fenómeno oceánico EL NIÑO para establecer la posible influencia que pueda tener esta anomalía sobre la cuenca del río Caroní y el territorio nacional y tambien de otras anomalías relacionadas con EL NIÑO, como la OSCILACIÓN SUR. De tal forma que se pueda demostrar la relación existente entre eventos EL NIÑO y la ocurrencia de caudales por debajo del promedio durante la estación seca en la cuenca.
- El seguimiento constante de los cambios en el régimen estacional de la precipitación en la cuenca del río Caroní para el pronóstico de eventos secos en la región.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

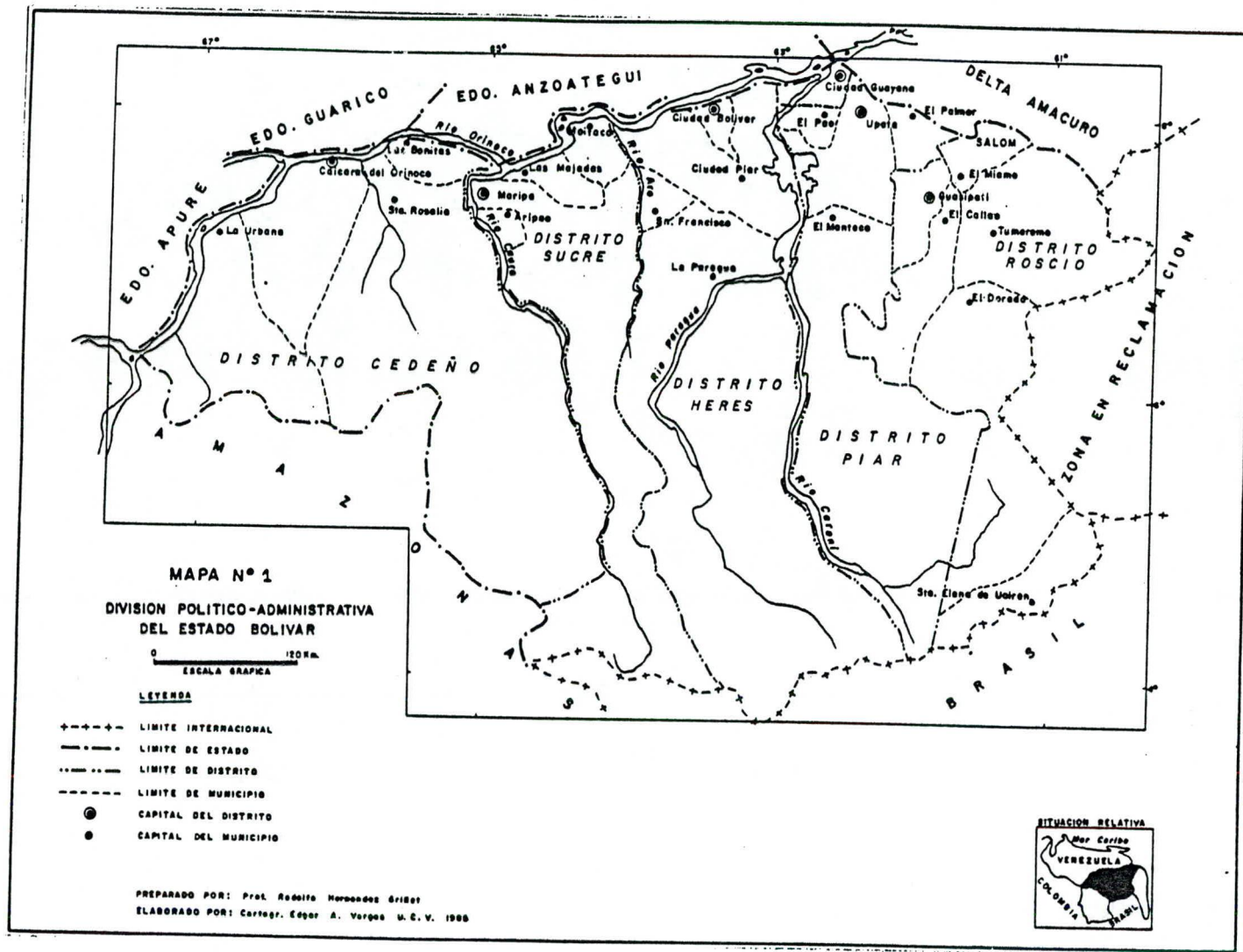
- ACEITUNO, P. On the functioning of the southern oscillation in de South American Sector. Part I: Surface Climate. Monthly Weather Review, Vol.116 , N°3, March 1.988.
- ANDRADE, V. Desarrollo de hidrogramas volumétricos. Caracas, 1.995.
- BAYONA ANTEZANA, R. El fenómeno de EL NIÑO. Aspectos Meteorológicos y Oceanográficos. Dirección de hidrografía y Navegación. Marina de Guerra del Perú.
- BOWKER, A. Estadística para ingenieros. Inglaterra Prince Hall INC. 1.959.
- CAVE CHANE. The EL NIÑO Phenomenon and the Planet's Climate, Vol. 3, N° 6, 1.991.
- CHOW, V. Hidrología aplicada. Colombia, Mc Graw-Hill, 1.994
- GARCÍA, Luis F y Martiena, Edgar. EL NIÑO OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO), MARNR, 1.992.
- GARDNER, D. Manual de operación del embalse Guri. C.V.G - EDELCA
- GUILARTE, J. Hidrología básica. Caracas. Universidad Central de Venezuela, 1.978.
- HERNANDEZ, R. Geografía del estado Bolívar. C.V.G. 1.987, SIDERÚRGICA DEL ORINOCO, Venezuela.
- SHEN, H. Stochastic approaches to water resourses. Colorado, Colorado University, 1.976.
- SMITH, R y Amisial, R. Estimación del potencial hidroeléctrico. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). 1.987.
- TAMAYO, M. El proceso de la investigación científica. Mexico, Editorial Limusa, 1.996.
- VILA, M. Las sequías en Venezuela. Venezuela. Fondo Editorial común. 1.975.

ANEXO A



ATLAS MUNDIAL
ENCARTA
 Venezuela
 América del Sur

Copyright (C) 1988-1996, Microsoft Corporation y sus proveedores. Reservados todos los derechos.



Cuenca del río Caroní



Mapa N° 3

ANEXO B

GASTO ESTIMADO MEDIO MENSUAL EN GURI
PERÍODO 1950 - 1996

CAUDAL EN M3/SEG

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1950	4193	3372	1403	1078	4649	8915	7975	10066	5212	3296	3057	2812	4669
1951	2795	4393	2428	1727	5470	5675	10491	7701	6594	3419	2182	1438	4533
1952	1145	997	285	382	2558	6522	7875	9915	5307	4059	2798	2359	3697
1953	2059	3895	2533	3221	6671	9308	8395	6173	3602	2970	2729	3072	4556
1954	3230	1398	1378	3755	6231	8527	10436	9625	6131	5681	4744	5101	5551
1955	2765	1063	2059	2891	4369	8514	7662	7539	6212	5503	4302	4427	4798
1956	3466	2157	2880	1760	5439	11386	9912	10655	8408	7619	4557	3896	6027
1957	3079	1500	880	799	3409	7247	10559	7605	5296	2571	2962	2504	4055
1958	1554	1254	1075	2346	5817	6736	7025	7272	3929	3231	2629	1511	3716
1959	912	908	425	657	1575	6162	9186	6770	8088	3698	3963	4450	3915
1960	2055	1317	890	1296	4648	9348	8181	7755	7045	4778	5657	3668	4720
1961	1202	1125	561	457	530	4950	7008	9349	5611	4941	5631	3548	3760
1962	1530	1037	1070	1176	2282	7683	10561	11256	7571	4227	3143	2083	4492
1963	1510	1978	1596	1803	5817	10919	9427	9512	6048	3080	2912	2692	4790
1964	1069	397	216	985	1110	5927	8318	8312	6426	4134	2371	2762	3514
1965	2908	1629	790	696	2380	6386	5310	7399	6973	3581	5016	2491	3804
1966	1571	603	338	548	1209	7805	10011	9468	8340	4184	5118	5813	4607
1967	4350	1813	1463	2788	6567	12552	9979	9347	7160	4689	3146	2916	5586
1968	1658	1918	1281	3904	5448	8254	10353	7708	6638	4865	4443	3377	4987
1969	2281	3583	1768	2628	4665	8674	7406	8277	6625	4391	2369	2391	4591
1970	2970	1915	1633	2503	4801	7211	9992	10294	8395	4189	4640	3714	5210
1971	2897	1974	1755	2864	5486	7746	10366	9008	6680	5505	5596	4925	5425
1972	4636	2890	3299	4073	9878	8648	8770	6387	5877	3430	5186	2290	5455
1973	1064	733	499	674	1451	5754	7355	6616	10857	7224	7127	6085	4636
1974	3904	2621	1457	4151	2507	2209	5318	7545	7868	5429	6014	3116	4351
1975	2630	1218	1220	929	2949	6793	9701	10846	8989	4606	3377	5973	4966
1976	3253	2339	3480	6519	9038	11706	12771	7607	3871	3611	2222	3479	5841
1977	1469	791	789	1287	2453	8401	8699	10886	6058	5814	4308	1543	4397
1978	815	631	356	1201	3180	9415	6793	8552	6343	4751	3749	2307	4023
1979	1058	649	1044	2569	3795	11088	10081	7248	6882	6017	4205	3477	4863
1980	2019	939	502	1257	6867	9397	9576	8998	8170	4584	4812	3950	5103
1981	2548	2005	2136	4167	8613	11725	12300	10487	9601	5156	2998	3085	6260
1982	1819	2457	2655	4128	7626	10600	8543	7328	4856	4106	3040	2442	4980
1983	2375	766	794	2852	9058	9370	7036	8810	5850	3821	2541	2951	4713
1984	2175	2682	978	865	3052	7813	9088	10756	9519	5694	5925	3875	5207
1985	2632	929	770	649	2747	7211	6033	9585	8253	5373	6222	4651	4607
1986	1627	1397	1966	1394	2763	9109	8787	6908	5591	5773	6853	5135	4792
1987	1774	1238	906	857	5481	6275	9870	8305	7316	5051	3475	2228	4426
1988	1485	1291	616	693	1319	5149	8785	10690	11302	5950	6390	5799	4956
1989	4406	2541	2154	2855	3802	6797	9375	8980	6904	6987	7509	3760	5525
1990	2378	2962	1998	4119	7605	7511	9220	9996	7505	5620	4576	4600	5694
1991	3438	1317	1566	1496	3360	8497	11255	10217	7131	4983	3229	3564	5034
1992	2082	927	948	1245	3898	6978	7309	7411	5109	3231	3244	3840	3865
1993	2039	1376	2873	2866	7401	9521	11804	9158	6684	5462	6036	4607	5850
1994	2005	1643	1033	1738	5029	9062	12245	10692	9410	7476	4335	3572	5715
1995	1393	705	1271	970	1513	9352	10662	10224	6864	4553	5549	3903	4770
1996	2111	2561	2098	1526	5270	10142	11754	9853	8961	5399	4899	4254	5746
MED	2305	1699	1407	2030	4509	8191	9140	8832	6980	4781	4293	3541	4825

Nivel mensual del río Orinoco en Palua.
Período 1.943 - 1.995.

Nivel en metros

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1943	3.27	2.40	1.72	2.53	6.06	9.07	10.64	12.06	11.39	8.74	4.94	3.19	6.36
1944	2.08	1.33	1.10	1.61	4.67	9.06	10.57	10.88	10.92	8.92	5.88	4.57	5.98
1945	2.17	1.46	1.13	1.53	4.32	8.07	10.35	11.46	10.83	7.82	5.22	3.78	5.70
1946	1.94	1.23	0.89	2.34	6.21	8.64	10.27	11.50	11.30	9.07	5.88	3.71	6.11
1947	2.30	1.26	0.81	0.79	1.84	5.86	9.10	10.70	10.02	8.63	6.31	3.30	5.10
1948	1.28	0.97	0.78	2.08	4.74	7.87	10.09	10.75	9.32	7.01	6.05	4.25	5.45
1949	1.60	0.97	0.96	1.28	3.82	6.66	9.06	10.56	10.85	9.25	7.22	5.17	5.65
1950	3.10	2.21	1.62	1.47	3.51	7.52	9.55	11.12	10.26	7.76	5.20	3.76	5.61
1951	2.87	2.75	2.76	1.97	5.07	7.28	10.48	11.82	11.35	9.03	6.07	4.17	6.33
1952	2.54	1.46	0.95	1.14	4.54	7.33	9.79	11.17	10.72	8.97	6.17	4.02	5.75
1953	2.52	2.87	1.95	2.62	5.65	8.58	10.51	11.31	10.48	7.84	5.36	4.39	6.19
1954	2.88	1.76	1.43	2.27	5.67	7.92	10.67	11.71	11.24	9.88	8.40	5.83	6.67
1955	3.44	1.84	1.86	2.49	3.91	7.02	8.76	10.00	9.12	7.42	6.03	4.99	5.60
1956	2.87	2.22	2.15	2.05	3.92	8.12	10.40	11.36	11.10	10.02	8.13	4.36	6.40
1957	2.63	1.40	1.13	1.11	3.44	6.60	9.20	10.36	9.90	6.68	5.15	4.03	5.16
1958	2.26	1.33	1.22	2.02	4.54	6.78	9.03	9.70	9.23	5.96	4.98	2.75	5.01
1959	1.25	0.78	0.64	1.05	2.79	6.42	9.30	10.57	10.55	8.45	6.75	4.83	5.31
1960	3.10	1.66	1.28	1.15	3.46	7.41	9.27	10.58	10.48	8.41	6.29	4.71	5.66
1961	2.34	1.32	0.85	1.07	1.57	4.51	8.20	10.36	9.49	7.25	7.09	5.61	4.99
1962	2.36	1.30	1.15	1.53	3.11	7.38	10.22	11.59	11.05	8.27	5.81	3.79	5.66
1963	1.80	1.39	1.36	1.55	4.02	8.80	10.50	11.29	10.56	7.76	5.04	3.79	5.68
1964	1.75	0.90	0.84	1.05	2.04	5.57	8.65	10.17	9.94	8.77	5.29	3.24	4.87
1965	2.16	1.49	1.01	1.06	2.29	6.34	7.91	9.49	9.78	7.63	6.05	4.43	4.99
1966	2.23	1.45	0.84	1.17	2.27	6.25	8.85	10.19	10.32	8.72	6.10	5.22	5.32
1967	3.62	1.96	1.21	1.49	4.79	8.25	10.36	11.74	11.33	9.00	5.53	3.29	6.07
1968	1.75	1.43	0.95	1.96	4.25	7.05	9.76	10.90	10.67	9.74	7.12	3.87	5.80
1969	2.11	1.99	1.52	1.67	4.68	7.71	9.61	10.43	10.43	8.73	6.40	4.47	5.84
1970	3.35	2.20	1.66	2.27	4.62	7.11	9.67	11.05	10.98	9.81	7.33	4.06	6.20
1971	2.77	1.65	1.70	1.89	4.05	7.57	9.99	10.96	10.75	9.10	6.99	5.08	6.07
1972	4.13	2.84	1.71	2.60	7.39	9.04	10.22	10.84	10.06	8.31	6.71	4.13	6.51
1973	2.01	1.11	0.82	0.93	2.06	4.77	7.51	8.69	10.20	9.74	7.65	5.29	5.09
1974	2.80	1.57	1.09	1.49	2.49	3.64	6.13	8.93	9.54	8.78	6.99	4.17	4.82
1975	1.89	1.21	1.02	1.22	2.42	5.99	8.86	10.29	10.60	8.87	6.47	5.38	5.38
1976	3.17	1.76	2.05	3.27	6.53	9.21	11.44	12.24	10.95	8.04	4.91	3.38	6.43
1977	1.77	0.98	0.94	1.24	1.90	6.52	9.61	11.15	10.52	8.97	7.21	3.90	5.42
1978	1.60	1.11	0.93	1.75	4.24	7.73	9.90	10.68	10.24	8.39	6.54	4.44	5.66
1979	2.05	1.10	0.93	1.62	4.24	7.81	10.81	10.84	10.20	8.47	7.15	5.21	5.90
1980	2.84	1.40	0.90	1.09	3.95	7.97	10.58	11.44	11.28	9.36	7.32	4.48	6.07
1981	2.21	1.31	1.99	2.22	6.69	9.56	11.42	11.87	11.40	9.56	6.13	3.79	6.55
1982	2.48	1.53	1.71	2.71	6.56	9.45	10.47	11.13	10.59	8.69	5.87	3.90	6.29
1983	2.47	1.36	1.29	1.59	5.92	8.84	9.99	10.95	10.81	9.32	6.55	4.32	6.15

Nivel mensual del río Orinoco en Palua.
Período 1.943 - 1.995.

Nivel en metros

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1984	2.78	2.53	1.83	1.38	2.44	6.03	8.74	10.29	10.61	9.15	6.54	4.31	5.56
1985	1.95	0.90	0.74	0.59	2.93	5.28	7.70	9.25	10.03	8.46	6.38	4.76	4.91
1986	1.57	1.01	1.01	1.19	2.61	5.63	8.11	10.59	9.96	8.90	8.68	6.88	5.51
1987	3.02	1.90	1.69	1.87	4.17	6.39	8.50	10.61	10.77	9.50	6.87	4.44	5.81
1988	3.25	1.61	1.19	1.19	1.96	4.61	8.00	10.22	10.63	9.19	7.97	6.32	5.51
1989	3.51	2.66	1.86	1.78	3.39	6.86	8.65	9.68	8.38	7.55	6.76	4.55	5.47
1990	3.37	2.19	1.80	2.46	5.63	8.22	10.02	11.01	9.96	7.44	5.36	5.01	6.04
1991	3.49	1.65	1.66	1.72	3.68	5.73	8.10	10.48	10.92	8.44	6.05	4.19	5.51
1992	2.32	1.57	1.48	1.55	2.95	5.18	7.95	10.27	10.14	8.04	5.37	4.46	5.12
1993	2.43	1.82	1.70	2.66	4.96	7.41	9.97	11.04	10.14	8.72	7.16	5.12	6.12
1994	2.05	1.25	1.10	1.81	4.17	6.69	9.01	10.57	10.68	9.54	6.92	4.90	5.75
1995	2.28	1.33	1.04	1.15	2.92	5.87	8.49	9.96	9.18	6.49	5.40	3.69	4.84

Precipitación media mensual.
Estación Macagua.
Período 1.958 - 1.970

PRECIPITACIÓN EN mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1958	46,4	23,9	1,9	51,1	183	238,8	372	210	76,2	38,2	39,4	19,7	1300,6
1959	24,2	17,6	8,7	4,3	87,5	215,4	157,5	130,3	77,9	107,8	36,5	72,7	940,4
1960	24,9	0	1,4	56,2	92,8	167	237,4	112,5	44,6	88,6	48,1	14,2	887,7
1961	31,6	5,9	0,2	0	49,8	174,3	143,7	195,3	166,3	85,2	134,2	43,4	1029,9
1962	25,2	3,4	11	1,3	108	200,2	156	130,5	90,8	48,7	36,6	70,1	881,8
1963	21,1	17,4	15,7	44	111,7	213,8	139,5	154,5	54,6	83,1	78,6	46,9	980,9
1964	4,7	1,9	0	34,9	33,5	250,3	172,1	114,9	57	28,1	30,4	25,5	753,3
1965	37,2	45,6	4,3	17,8	104,7	167,8	99,1	169,1	33,6	62,7	89,6	32,9	864,4
1966	3,7	2	4	41,2	50,2	131,4	203,8	112,6	99,8	65,9	151,5	129,7	995,8
1967	53,5	7,1	10,4	42,2	141,8	139,6	322,4	131,7	37,8	14,6	44,8	55,8	1001,7
1968	16,7	20,5	6,9	48,1	89,1	169,2	316,5	203	56,2	69	35,1	110,8	1141,1
1969	22,7	23,5	4,5	15,4	71,3	118,1	136,4	212,2	45,7	188	109,9	74	1021,7
1970	104,2	15	25,7	8	139	181	261,4	232,5	76	40,5	22,2	54,2	1159,7

Precipitación media mensual.
Estación Tumeremo F.A.V.
Período 1.958 - 1.970

PRECIPITACIÓN EN mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1958	43,3	101,0	32,9	126,5	197,2	168,1	63,1	113,6	32,5	75,4	25,6	51,1	1030,3
1959	103,0	57,9	54,1	63,9	72,8	297,2	97,6	133,2	83,7	87,6	26,0	141,2	1218,2
1960	74,7	73,3	8,5	33,1	151,9	148,8	159,4	102,1	77,0	29,3	105,5	72,2	1035,8
1961	55,6	74,3	14,9	0,5	75,0	213,8	119,2	89,0	73,8	22,5	133,0	85,8	957,4
1962	80,0	19,2	20,2	60,6	105,6	172,2	143,5	167,2	98,3	89,9	46,0	75,3	1078,0
1963	42,6	85,7	61,0	56,6	218,3	150,9	145,1	52,3	24,1	51,9	164,8	46,3	1099,6
1964	22,3	29,4	17,4	74,8	95,8	238,0	152,7	73,9	19,8	84,7	48,5	96,5	953,8
1965	83,4	77,2	64,6	23,8	166,5	169,8	134,1	117,1	137,0	20,5	58,0	54,2	1106,2
1966	65,0	15,9	76,4	13,2	59,1	300,8	281,4	161,9	71,5	23,3	32,0	140,4	1240,9
1967	149,8	34,1	44,0	78,2	159,5	174,3	199,0	143,3	89,2	31,8	156,3	12,6	1272,1
1968	90,1	43,1	17,1	149,7	60,6	207,3	150,0	102,4	39,3	95,3	112,1	170,5	1237,5
1969	91,7	95,1	16,9	46,2	80,6	180,8	83,6	163,9	9,4	48,0	75,5	44,8	936,5
1970	157,5	67,1	65,3	115,1	110,7	208,4	233,2	153,9	137,4	17,9	95,0	119,5	1481,0

Precipitación media mensual.

Estación El Manteco.

Período 1.958 - 1.970

PRECIPITACIÓN EN mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1958	41,9	11,1	19,1	48,7	270,7	167,7	120,8	142,4	230,2	52,2	48,8	77,3	1230,9
1959	14,6	31,5	10,5	6,4	114,6	186,5	123,4	234,7	78,7	96,5	100,5	59,9	1057,8
1960	61,3	18,7	2,2	139,5	120,7	289,7	331,6	279,2	86,4	60,7	94,4	80,3	1564,3
1961	39,4	17,1	1,5	0,0	7,7	191,2	339,5	232,7	316,5	100,1	73,6	48,9	1368,2
1962	54,0	8,9	4,1	3,9	61,0	282,6	287,0	258,9	77,4	93,6	104,4	48,1	1283,9
1963	25,3	42,3	35,2	86,0	325,8	366,8	334,1	123,1	174,4	161,9	139,1	22,7	1836,7
1964	8,0	0,0	5,7	40,0	69,1	218,1	277,3	115,6	103,1	72,8	64,7	78,5	1052,9
1965	71,5	34,2	2,2	26,8	170,1	143,1	57,6	178,8	46,0	49,2	84,8	38,0	902,3
1966	70,2	0,0	7,6	15,3	139,9	280,9	487,7	139,5	67,7	146,2	300,3	210,8	1866,1
1967	81,2	1,6	26,0	125,4	193,1	169,8	187,0	68,6	111,4	39,5	33,2	15,6	1052,4
1968	104,9	51,8	37,6	203,8	145,8	228,8	72,8	123,2	100,5	115,9	114,8	99,2	1399,1
1969	28,5	26,3	21,8	1,7	20,2	171,4	213,1	301,6	235,6	75,9	27,2	41,8	1165,1
1970	83,5	38,7	35,9	33,8	164,2	133,1	363,9	210,0	91,3	104,2	136,5	84,1	1479,2

ANEXO C

**Correlación entre el caudal del río Caroní Vs el nivel del río Orinoco.
Período 1.950 - 1.995**

AÑOS	Caudal (m3/seg)	Nivel (m)
1949	0,8	5,65
1950	4985	5,61
1951	4533	6,33
1952	3697	5,75
1953	4556	6,19
1954	5551	6,67
1955	4798	5,60
1956	6027	6,40
1957	4055	5,16
1958	3716	5,01
1959	3915	5,31
1960	4446	5,66
1961	3760	4,99
1962	4492	5,66
1963	4790	5,68
1964	3514	4,87
1965	3804	4,99
1966	4607	5,32
1967	5586	6,07
1968	4847	5,80
1969	4591	5,84
1970	5210	6,20
1971	5425	6,07
1972	5455	6,51
1973	4636	5,09
1974	4351	4,82
1975	4966	5,38
1976	5841	6,43
1977	4397	5,42
1978	4023	5,66
1979	4863	5,90
1980	5103	6,07
1981	6260	6,55
1982	4980	6,29
1983	4713	6,15
1984	5207	5,56

**Correlación entre el caudal del río Caroní Vs el nivel del río Orinoco.
Período 1.950 - 1.995**

AÑOS	Caudal (m3/seg)	Nivel (m)
1985	4607	4,91
1986	4792	5,51
1987	4426	5,81
1988	5347	5,51
1989	5525	5,47
1990	5694	6,04
1991	5034	5,51
1992	3865	5,12
1993	5850	6,12
1994	5715	5,75
1995	4770	4,84
1996	-	-

Correlación durante el período 1,950 - 1,995 $r = 0,69$

Correlación durante el período 1,952 - 1,977 $r = 0,82$

ANÁLISIS POR CORRELACIÓN LINEAL SIMPLE DEL CAUDAL
DEL RÍO CARONÍ VS PRECIPITACIÓN MEDIA DEL GRUPO DE
ESTACIONES
PERÍODO 1958 - 1970

AÑO	PREC. MED. ANUAL (mm)	CUADAL (M3/SEG)
1958	1187,3	3716
1959	1072,1	3915
1960	1162,6	4720
1961	1118,5	3760
1962	1081,2	4492
1963	1305,7	4790
1964	920,0	3514
1965	957,6	3804
1966	1367,6	4607
1967	1138,7	5586
1968	1259,2	4987
1969	1041,1	4591
1970	1373,3	5210

Indice de correlación período 1.958 - 1.970

$$r = 0,60$$

Indice de correlación período 1.958 - 1.966

$$r = 0,70$$

ANEXO D

Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
Río Caroní en Guri

Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,32	2,17	2,09	2,13	2,01	2,00	2,02	1,93	1,93
10	1,95	1,94	1,94	1,93	1,89	1,91	1,96	2,04	2,11	2,05
20	1,93	1,84	1,77	1,69	1,63	1,59	1,60	1,64	1,77	1,88
30	1,95	1,97	1,90	1,79	1,68	1,69	1,68	1,76	1,80	1,92
40	2,05	2,16	2,21	2,18	2,08	1,92	1,84	1,86	1,89	1,83
50	1,86	1,94	1,95	1,86	1,78	1,74	1,75	1,73	1,66	1,64
60	1,70	1,80	1,84	1,82	1,81	1,77	1,71	1,63	1,66	1,64
70	1,62	1,60	1,59	1,58	1,58	1,62	1,64	1,60	1,53	1,44
80	1,39	1,32	1,26	1,19	1,15	1,12	1,11	1,10	1,07	1,01
90	0,96	0,91	0,87	0,84	0,81	0,81	0,80	0,82	0,81	0,80
100	0,83	0,85	0,85	0,85	0,82	0,80	0,78	0,73	0,67	0,65
110	0,63	0,60	0,56	0,53	0,52	0,52	0,51	0,49	0,48	0,48
120	0,49	0,49	0,50	0,50	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,43
130	0,43	0,44	0,44	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,35	0,34
140	0,33	0,33	0,31	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30
150	0,30	0,30	0,32	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25
160	0,24	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	0,23
170	0,22	0,22	0,21	0,20	0,197	0,20	0,23	0,25	0,28	0,28
180	0,28	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,34	0,36
190	0,38	0,40	0,42	0,43	0,41	0,46	0,55	0,67	0,76	0,78
200	0,75	0,68	0,62	0,57	0,54	0,52	0,51	0,53	0,40	0,37
210	0,35	0,35	0,34	0,35	-	-	-	-	-	-

Caudales equivalentes (m3/seg)

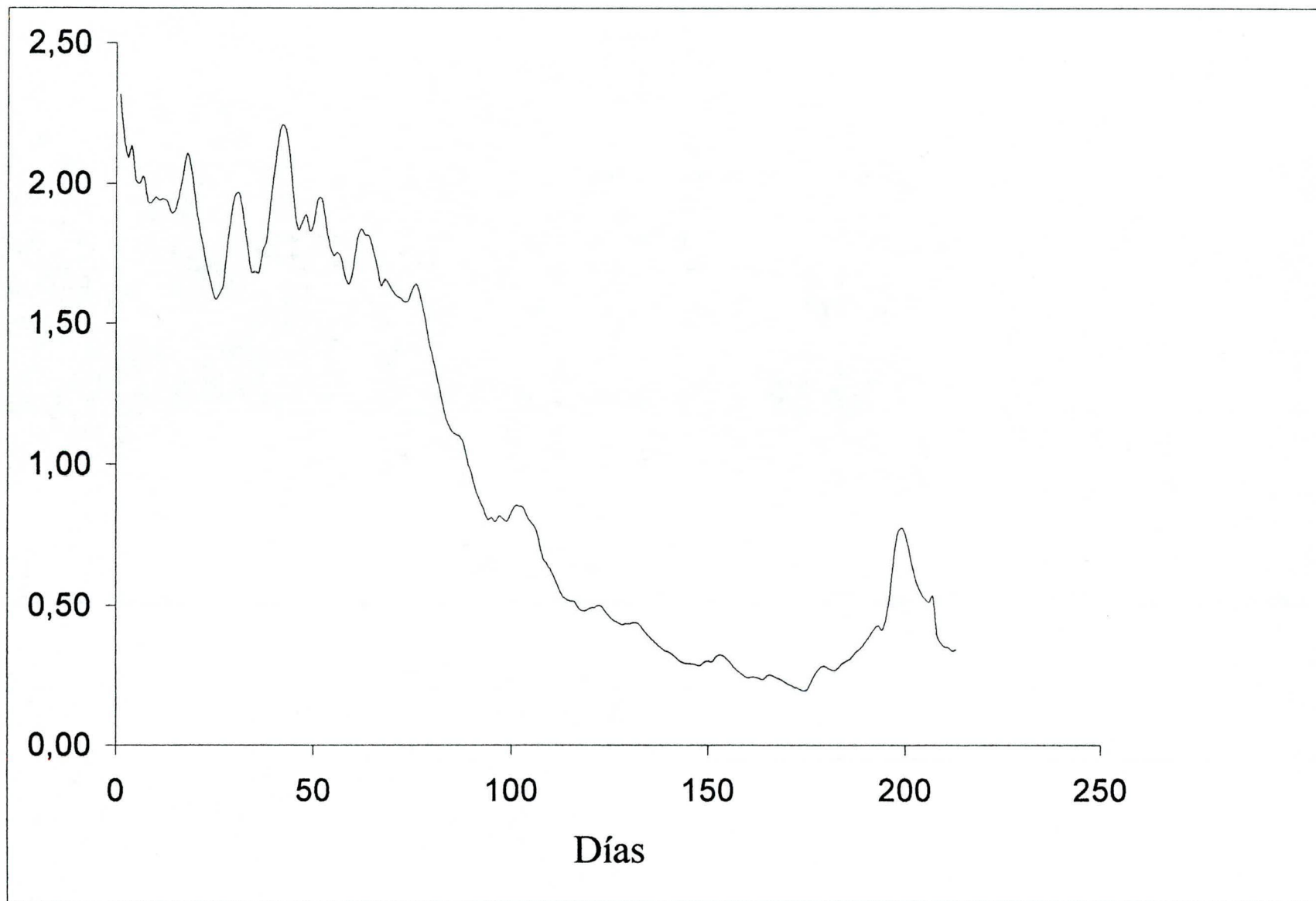
Q1000 = 1190

Q100 = 1472

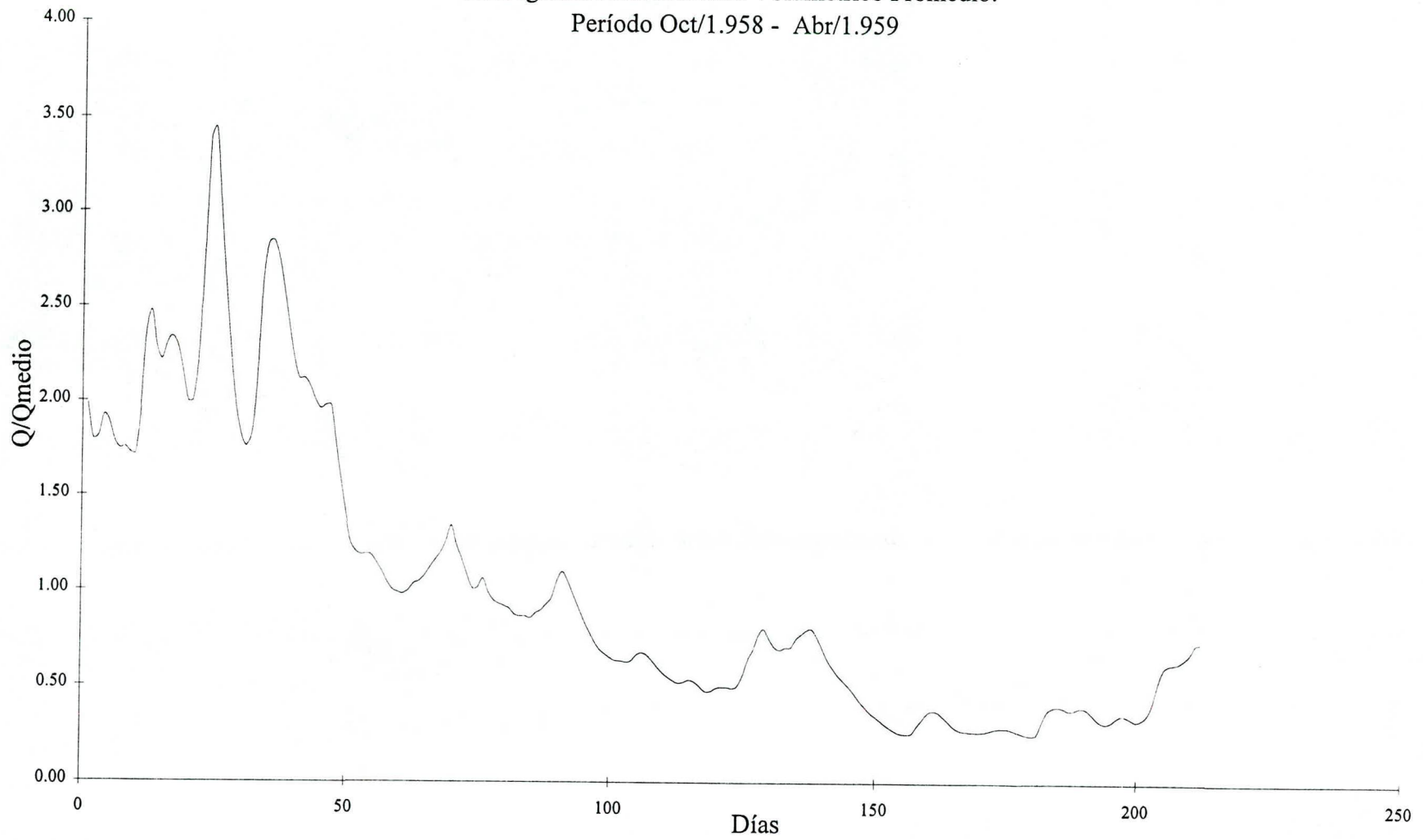
Q500 = 1266

Q50 = 1592

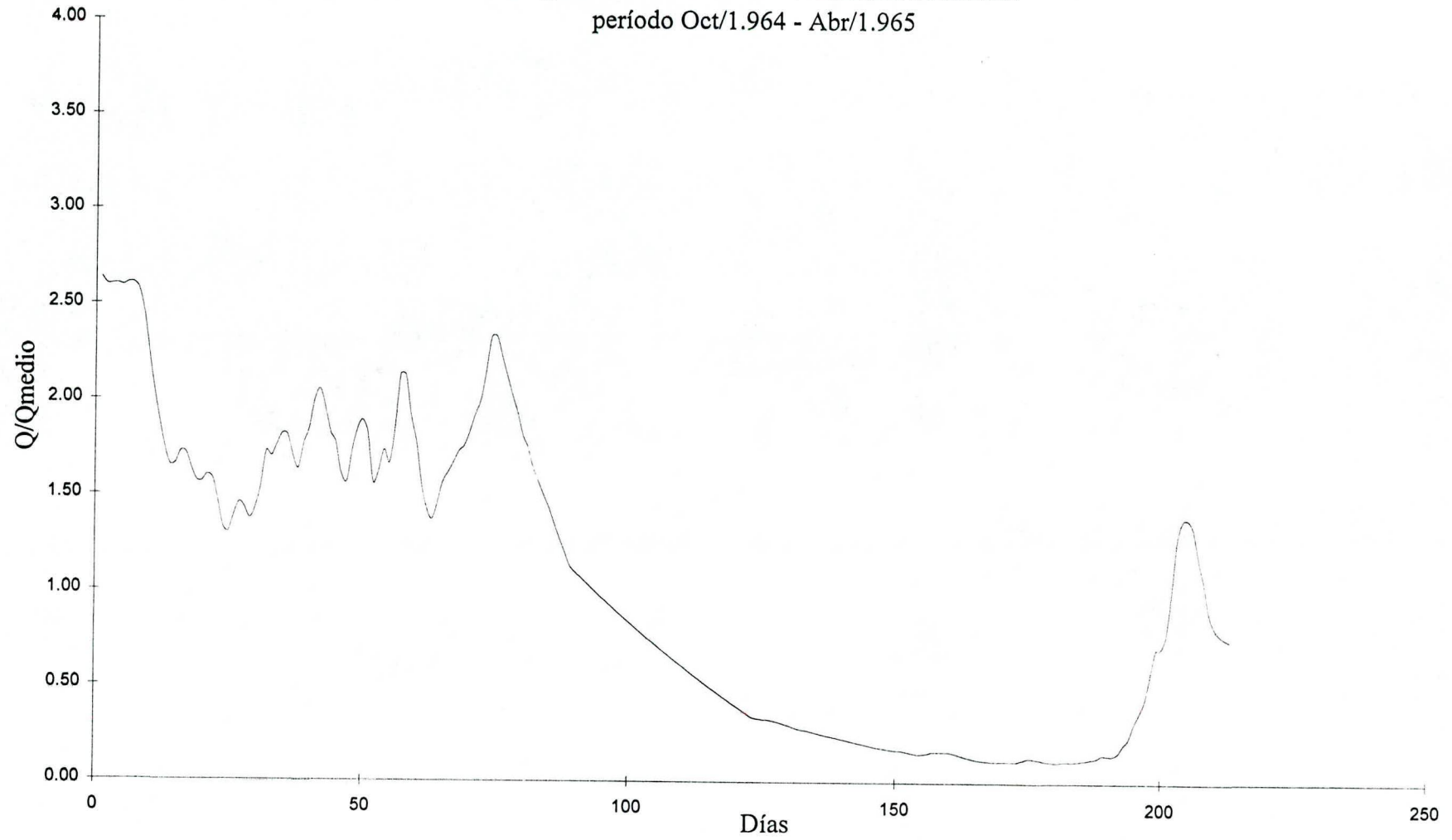
Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
Para 213 días consecutivos.
Río Caroní en Guri



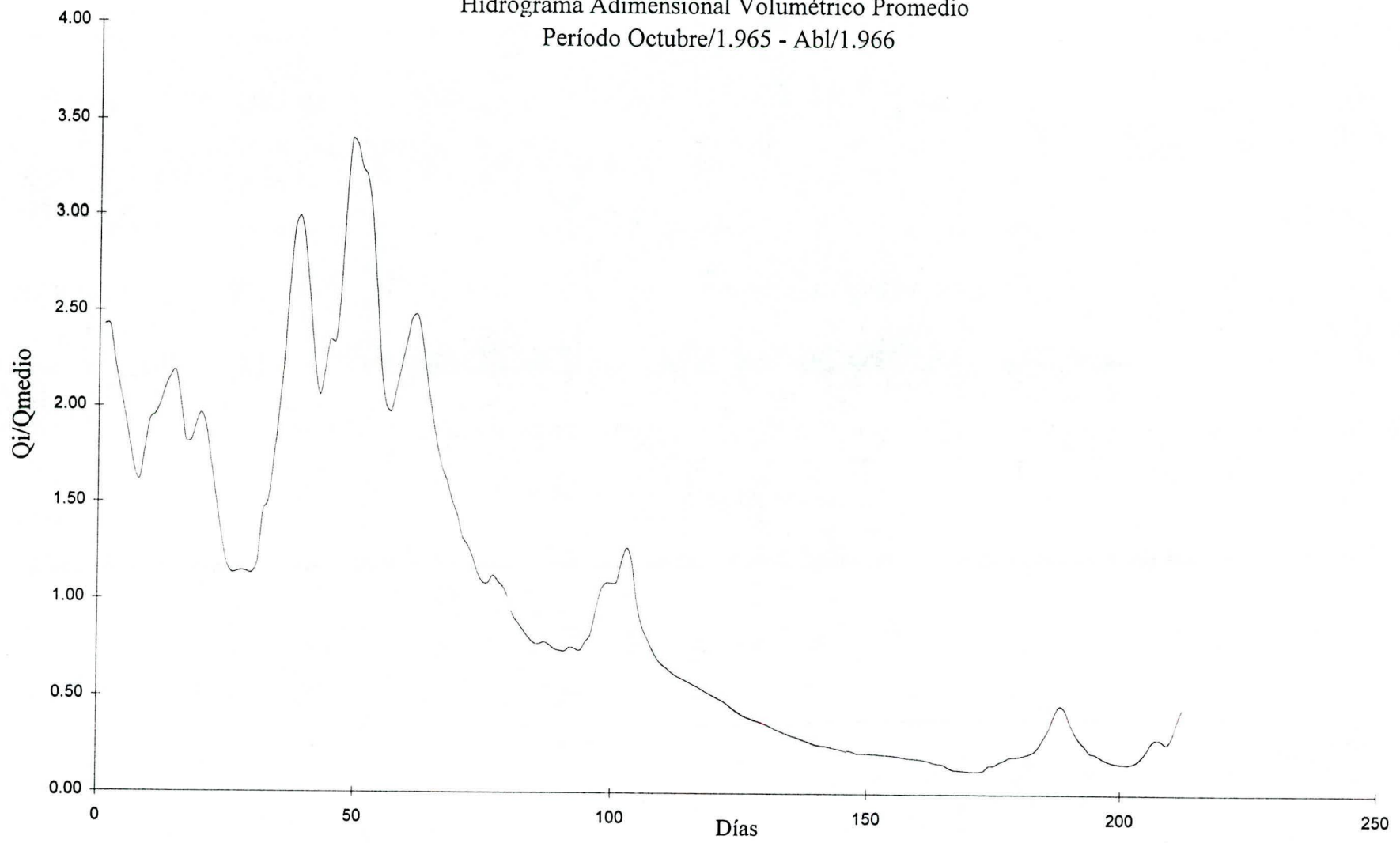
Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
Período Oct/1.958 - Abr/1.959



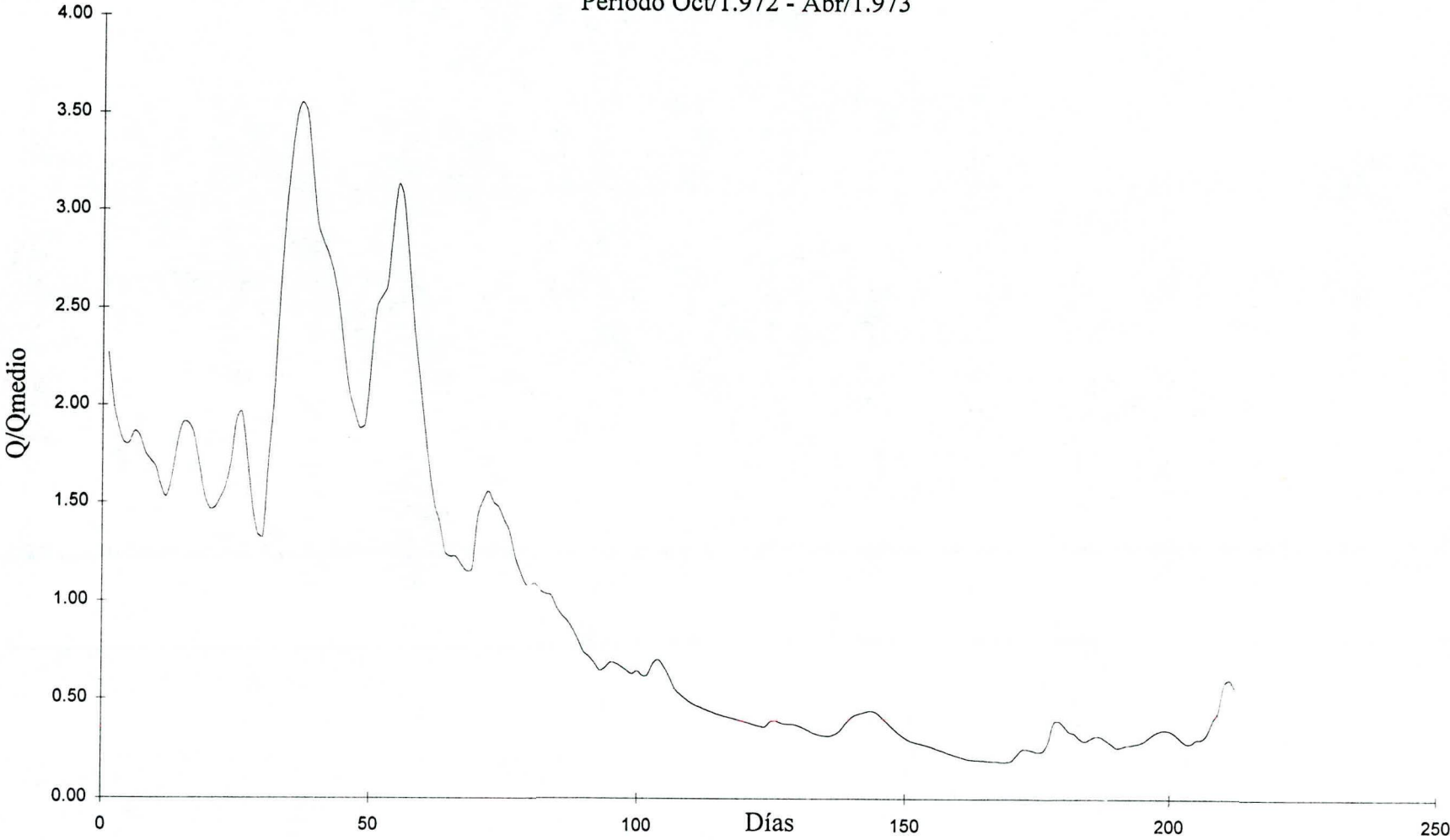
Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
período Oct/1.964 - Abr/1.965



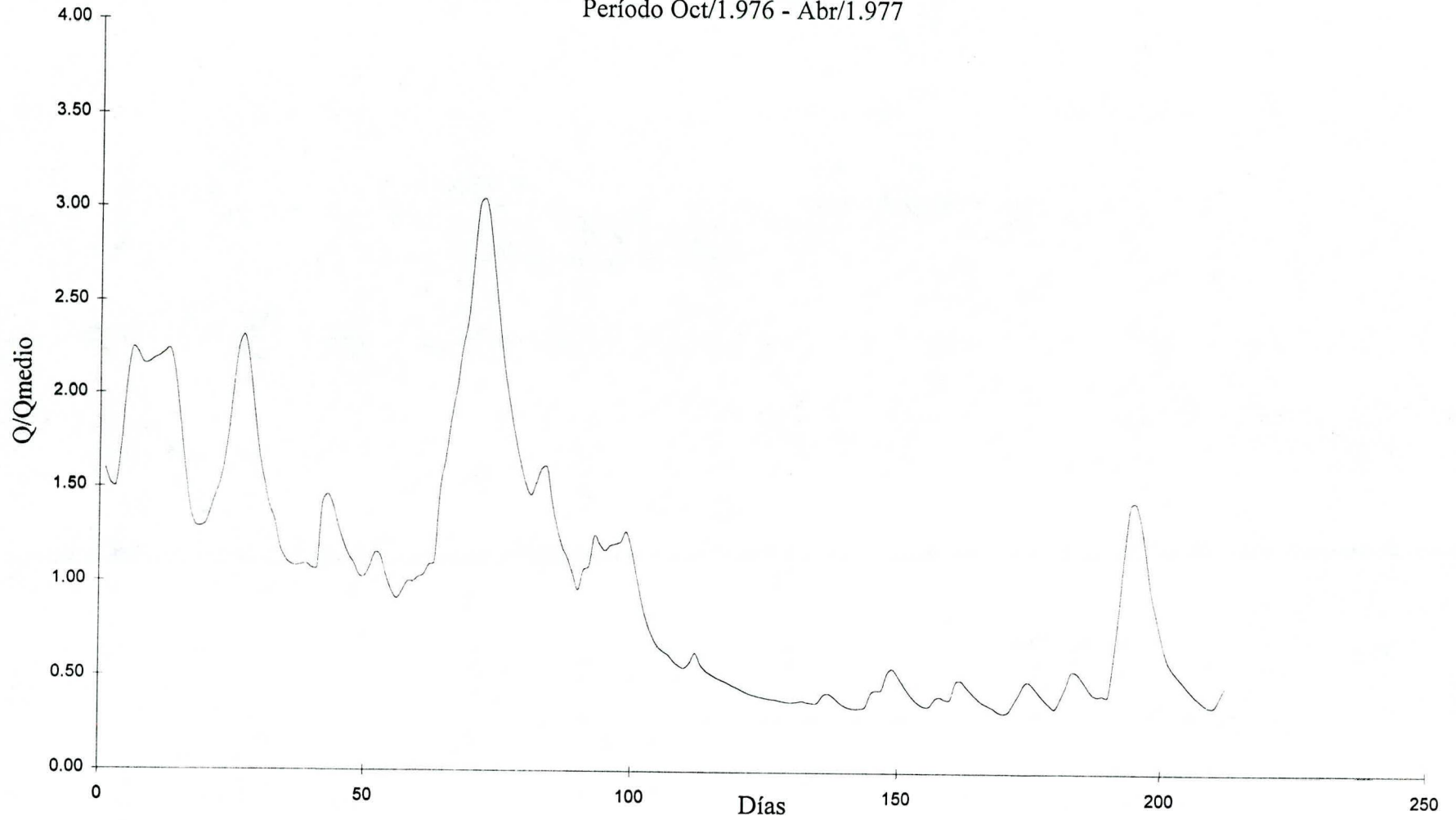
Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio
Período Octubre/1.965 - Abl/1.966



Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
Período Oct/1.972 - Abr/1.973



Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.
Período Oct/1.976 - Abr/1.977



ANEXO E

Aplicación de una distribución de eventos extremos de Gumbel a los volúmenes mensuales acumulados desde octubre hasta abril aportados al embalse Guri.

Período 1.950 - 1.995

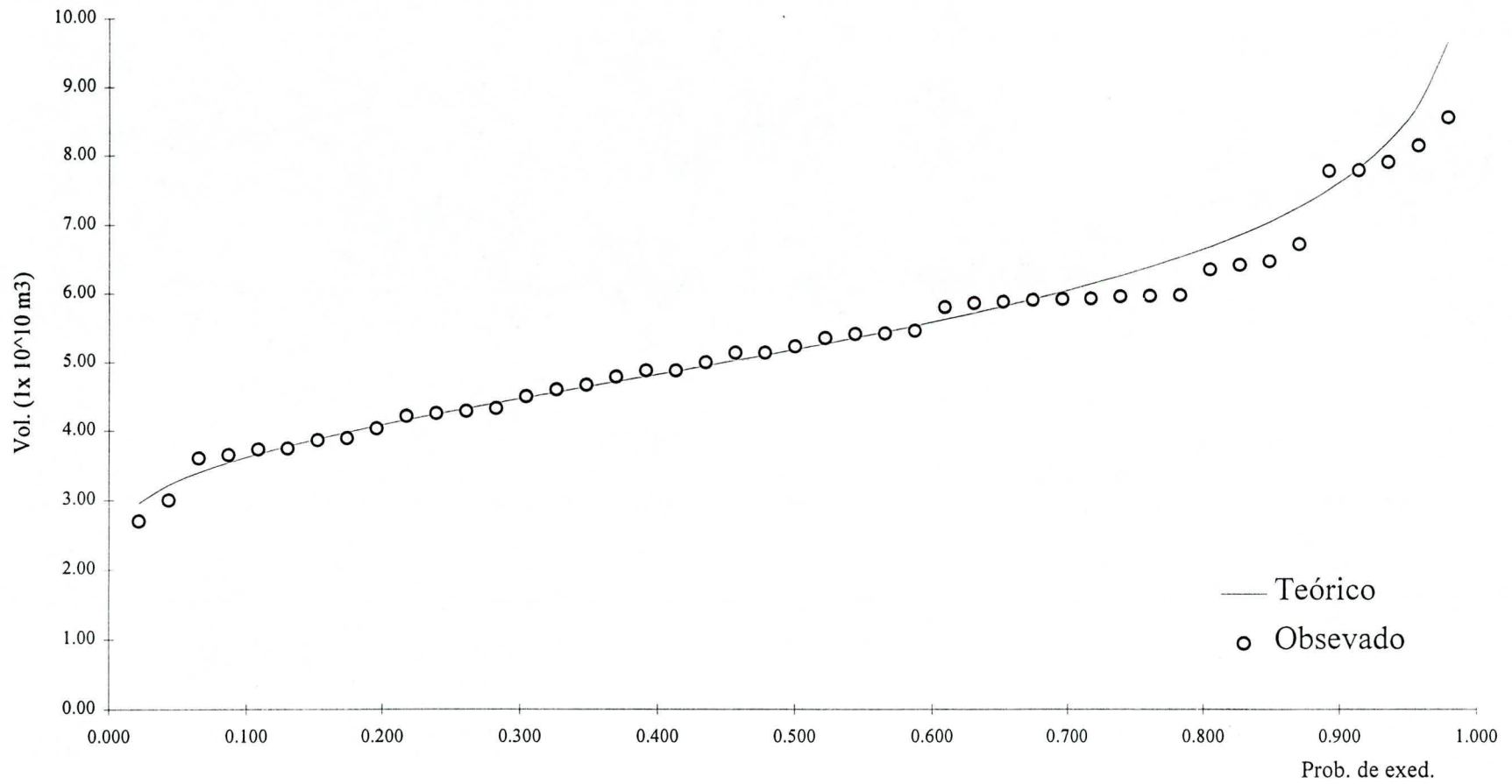
In tervalo	Observado (1 x 10 ¹⁰ M3)	Prob de exed P(X>=x _m)	Nº Orden	Probabilidad de no exedencia	Periodo de retorno Tr en años	variable reducida Y	volumen obs. (1 x 10 ¹⁰) M3
1950/ 51	5.34	0.02	1	97.8	46.00	3.843	2.70
1952/ 53	5.45	0.04	2	95.7	23.00	3.130	3.00
1953/ 54	4.87	0.07	3	93.5	15.33	2.709	3.60
1954/ 55	6.42	0.09	4	91.3	11.50	2.407	3.65
1955/ 56	6.47	0.11	5	89.1	9.20	2.170	3.73
1956/ 57	5.90	0.13	6	87.0	7.67	1.975	3.74
1957/ 58	3.74	0.15	7	84.8	6.57	1.807	3.86
1958/ 59	2.70	0.17	8	82.6	5.75	1.660	3.89
1959/ 60	4.66	0.20	9	80.4	5.11	1.529	4.03
1960/ 61	4.59	0.22	10	78.3	4.60	1.409	4.21
1961/ 62	4.99	0.24	11	76.1	4.18	1.300	4.25
1962/ 63	4.28	0.26	12	73.9	3.83	1.199	4.28
1963/ 64	3.00	0.28	13	71.7	3.54	1.104	4.32
1964/ 65	4.03	0.30	14	69.6	3.29	1.015	4.49
1965/ 66	3.73	0.33	15	67.4	3.07	0.931	4.59
1966/ 67	6.72	0.35	16	65.2	2.88	0.851	4.66
1967/ 68	5.13	0.37	17	63.0	2.71	0.775	4.78
1968/ 69	5.91	0.39	18	60.9	2.56	0.701	4.87
1969/ 70	4.78	0.41	19	58.7	2.42	0.630	4.87
1970/ 71	5.79	0.43	20	56.5	2.30	0.562	4.99
1971/ 72	8.15	0.46	21	54.3	2.19	0.495	5.13
1972/ 73	3.65	0.48	22	52.2	2.09	0.430	5.13
1973/ 74	8.56	0.50	23	50.0	2.00	0.367	5.22
1974/ 75	5.41	0.52	24	47.8	1.92	0.305	5.34
1975/ 76	7.79	0.54	25	45.7	1.84	0.243	5.40
1976/ 77	3.60	0.57	26	43.5	1.77	0.183	5.41
1977/ 78	3.86	0.59	27	41.3	1.70	0.123	5.45
1978/ 79	4.25	0.61	28	39.1	1.64	0.064	5.79
1979/ 80	4.87	0.63	29	37.0	1.59	0.005	5.85
1980/ 81	6.35	0.65	30	34.8	1.53	-0.055	5.87
1981/ 82	5.85	0.67	31	32.6	1.48	-0.114	5.90
1982/ 83	4.32	0.70	32	30.4	1.44	-0.174	5.91
1983/ 84	4.21	0.72	33	28.3	1.39	-0.234	5.92
1984/ 85	5.40	0.74	34	26.1	1.35	-0.295	5.95
1985/ 86	5.96	0.76	35	23.9	1.31	-0.358	5.96
1986/ 87	5.95	0.78	36	21.7	1.28	-0.422	5.97
1987/ 88	3.89	0.80	37	19.6	1.24	-0.489	6.35
1988/ 89	7.91	0.83	38	17.4	1.21	-0.559	6.42
1989/ 90	7.78	0.85	39	15.2	1.18	-0.632	6.47
1990/ 91	5.97	0.87	40	13.0	1.15	-0.711	6.72
1991/ 92	4.49	0.89	41	10.9	1.12	-0.796	7.78
1992/ 93	5.13	0.91	42	8.7	1.10	-0.892	7.79
1993/ 94	5.92	0.93	43	6.5	1.07	-1.003	7.91
1994/ 95	5.22	0.96	44	4.3	1.05	-1.140	8.15
1995/ 96	5.87	0.98	45	2.2	1.02	-1.339	8.56

Aplicación de una distribución de eventos extremos de Gumbel a los Volúmenes acumulados mínimos para diferentes series de días consecutivos desde Octubre hasta Abril aportados al embalse Guri.

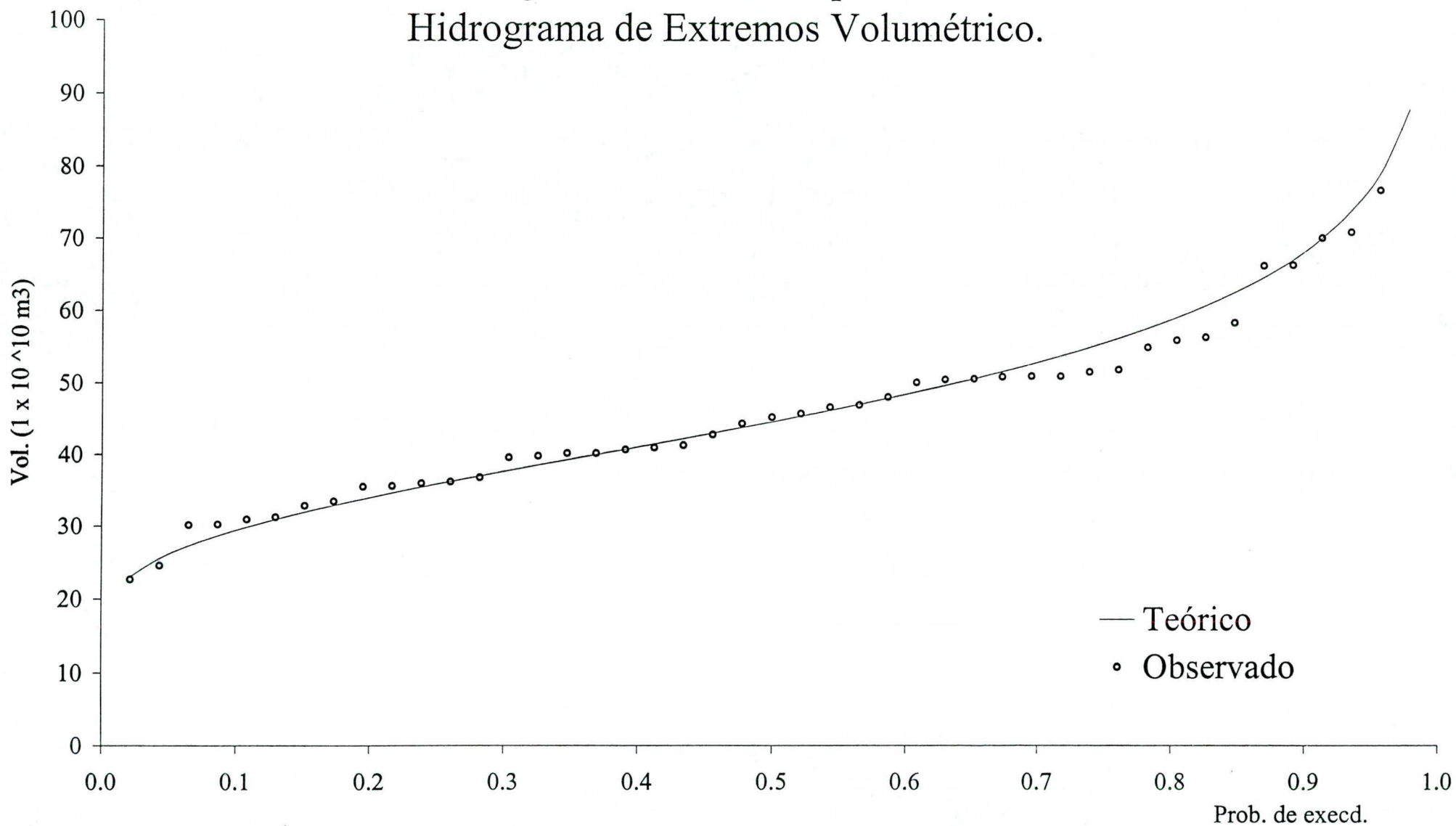
Periodo 1.950 - 1.996

Nº de orden	Periodo de retorno (años)	Variable reducida Y	Volumen (1 x 10 ¹⁰ m ³)									
			15	30	45	60	75	90	120	150	195	
1	46.00	3.818	0.20	0.50	0.87	1.34	2.00	3.00	6.90	11.40	22.60	
2	23.00	3.113	0.40	0.90	1.50	2.16	2.90	3.90	7.20	11.90	24.50	
3	15.33	2.696	0.40	0.90	1.50	2.44	3.30	4.40	7.50	13.30	30.10	
4	11.50	2.397	0.40	1.10	1.80	2.54	3.80	4.80	7.60	13.90	30.20	
5	9.20	2.162	0.50	1.20	1.80	2.62	3.80	4.90	8.00	14.20	30.90	
6	7.67	1.968	0.50	1.20	2.00	2.86	3.90	5.40	8.50	17.70	31.20	
7	6.57	1.801	0.50	1.30	2.10	3.10	4.40	6.00	11.10	19.90	32.80	
8	5.75	1.655	0.60	1.40	2.20	3.68	4.60	6.10	11.40	20.20	33.40	
9	5.11	1.525	0.60	1.40	2.50	3.74	5.10	6.90	11.80	20.50	35.40	
10	4.60	1.406	0.60	1.50	2.60	3.83	5.30	6.90	12.00	20.80	35.50	
11	4.18	1.297	0.60	1.70	2.60	3.96	5.30	7.30	12.50	21.20	35.90	
12	3.83	1.196	0.70	1.70	2.70	4.09	5.40	7.40	12.50	21.60	36.10	
13	3.54	1.102	0.80	1.70	2.90	4.14	5.80	7.60	12.70	21.90	36.70	
14	3.29	1.014	0.80	1.80	2.90	4.29	5.90	7.60	12.80	21.90	39.50	
15	3.07	0.930	0.80	1.80	2.90	4.34	6.00	7.90	13.40	22.70	39.70	
16	2.88	0.850	0.80	1.90	3.00	4.46	6.00	7.90	14.20	22.70	40.10	
17	2.71	0.774	0.90	2.00	3.10	4.48	6.10	7.90	14.20	22.80	40.10	
18	2.56	0.700	0.90	2.20	3.30	4.69	6.40	8.10	15.00	23.00	40.60	
19	2.42	0.630	1.00	2.20	3.50	4.70	7.00	8.70	15.30	23.50	40.90	
20	2.30	0.561	1.00	2.20	3.60	5.43	7.00	8.90	15.70	25.10	41.20	
21	2.19	0.495	1.00	2.30	3.70	5.55	7.40	9.30	15.80	25.60	42.70	
22	2.09	0.430	1.00	2.40	4.00	5.58	7.60	10.60	16.30	25.70	44.20	
23	2.00	0.367	1.10	2.60	4.40	6.18	8.60	11.40	16.60	25.70	45.10	
24	1.92	0.304	1.10	2.60	4.60	6.40	9.10	11.90	16.60	26.20	45.60	
25	1.84	0.243	1.20	2.60	4.60	6.53	9.20	12.10	16.80	28.40	46.50	
26	1.77	0.183	1.20	3.00	4.80	6.82	9.90	12.20	17.30	28.50	46.80	
27	1.70	0.123	1.30	3.00	5.00	7.14	9.90	12.70	20.50	28.60	47.90	
28	1.64	0.064	1.30	3.00	5.20	7.53	10.30	12.90	21.40	28.80	50.00	
29	1.59	0.005	1.33	3.20	5.30	7.78	10.40	13.70	21.40	31.50	50.40	
30	1.53	-0.055	1.34	3.40	5.60	8.35	10.70	13.70	22.20	32.40	50.50	
31	1.48	-0.114	1.39	3.40	5.70	8.95	11.30	15.00	23.00	33.50	50.80	
32	1.44	-0.174	1.40	3.40	5.80	9.06	11.90	15.60	23.80	33.70	50.90	
33	1.39	-0.234	1.40	3.60	6.00	9.25	12.10	15.70	24.20	34.30	50.90	
34	1.35	-0.295	1.50	3.60	6.20	9.37	12.20	15.80	24.50	34.30	51.50	
35	1.31	-0.358	1.50	3.60	6.40	9.73	12.50	15.80	24.60	35.80	51.80	
36	1.28	-0.423	1.50	3.80	6.40	10.20	13.70	17.70	25.60	35.90	54.90	
37	1.24	-0.489	1.50	4.00	6.60	10.50	14.00	17.80	26.50	36.00	55.90	
38	1.21	-0.559	1.50	4.00	6.80	10.50	14.30	18.10	26.60	36.30	56.30	
39	1.18	-0.633	1.60	4.10	7.00	10.70	14.70	18.80	26.80	38.20	58.30	
40	1.15	-0.711	1.70	4.50	7.30	11.00	15.80	19.30	27.70	39.10	66.20	
41	1.12	-0.797	2.00	4.60	7.80	11.50	16.20	19.80	29.00	41.00	66.30	
42	1.10	-0.893	2.20	4.90	7.80	12.10	16.90	19.90	30.70	45.60	70.00	
43	1.07	-1.004	2.20	4.90	9.00	12.20	17.70	21.50	31.50	47.40	70.80	
44	1.05	-1.143	2.50	5.50	9.50	13.80	18.20	23.40	36.00	47.80	76.60	
45	1.02	-1.343	2.50	6.00	10.00	14.10	18.70	23.70	38.20	50.30	-	

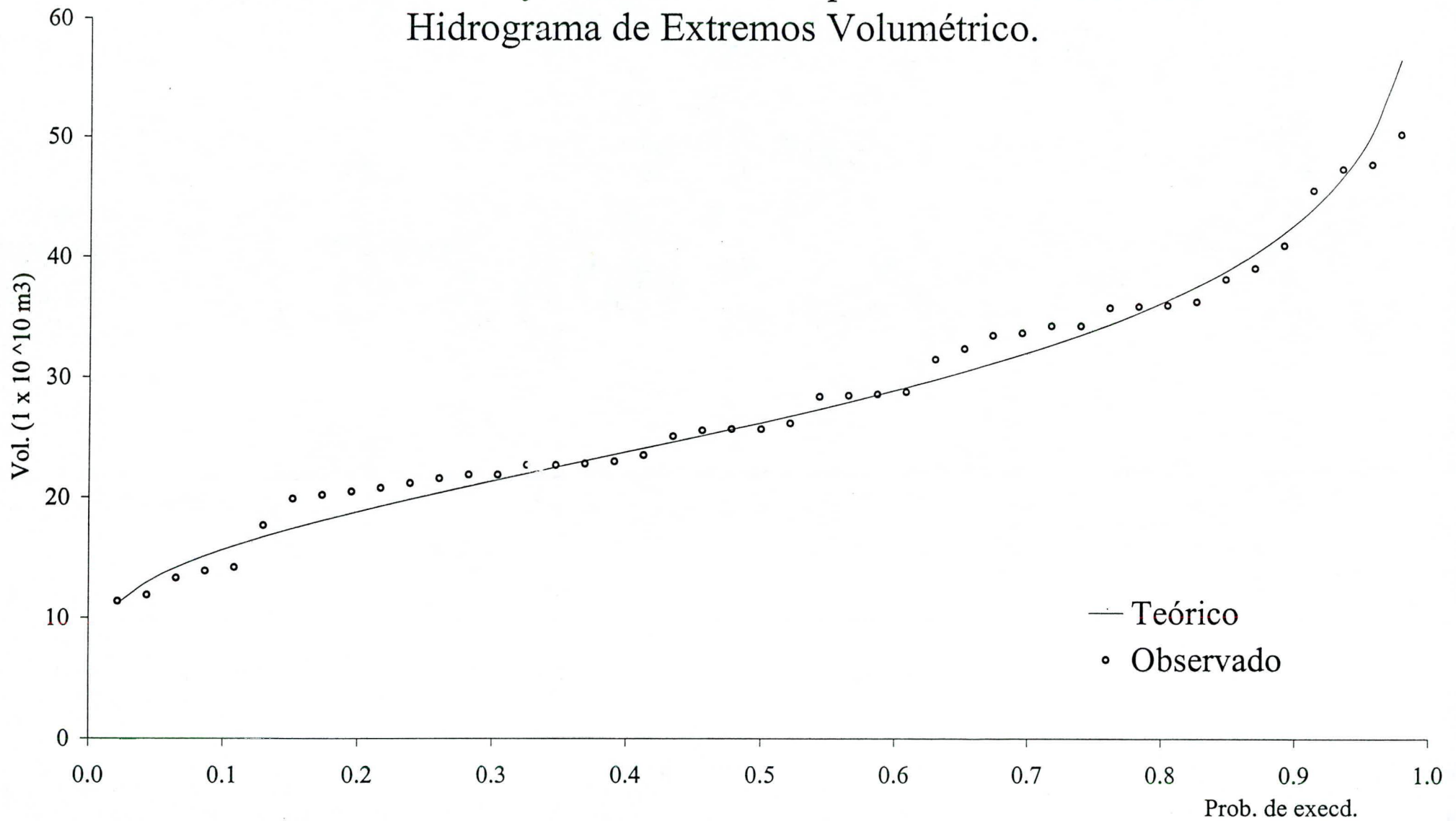
Volumen observado y volumen teórico para 213 días consecutivos.
Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio.



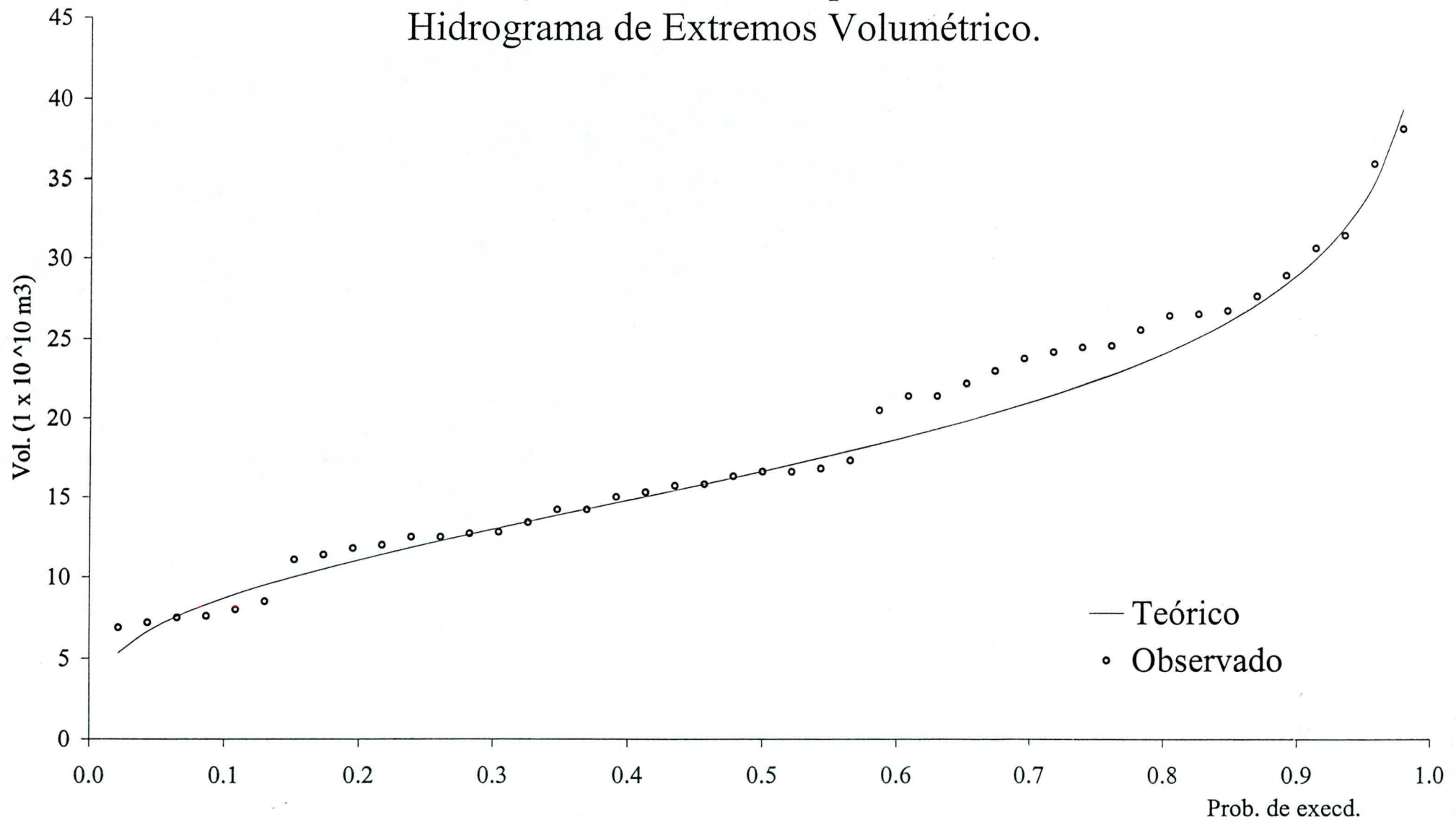
Volumen observado y volumen teórico para 195 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



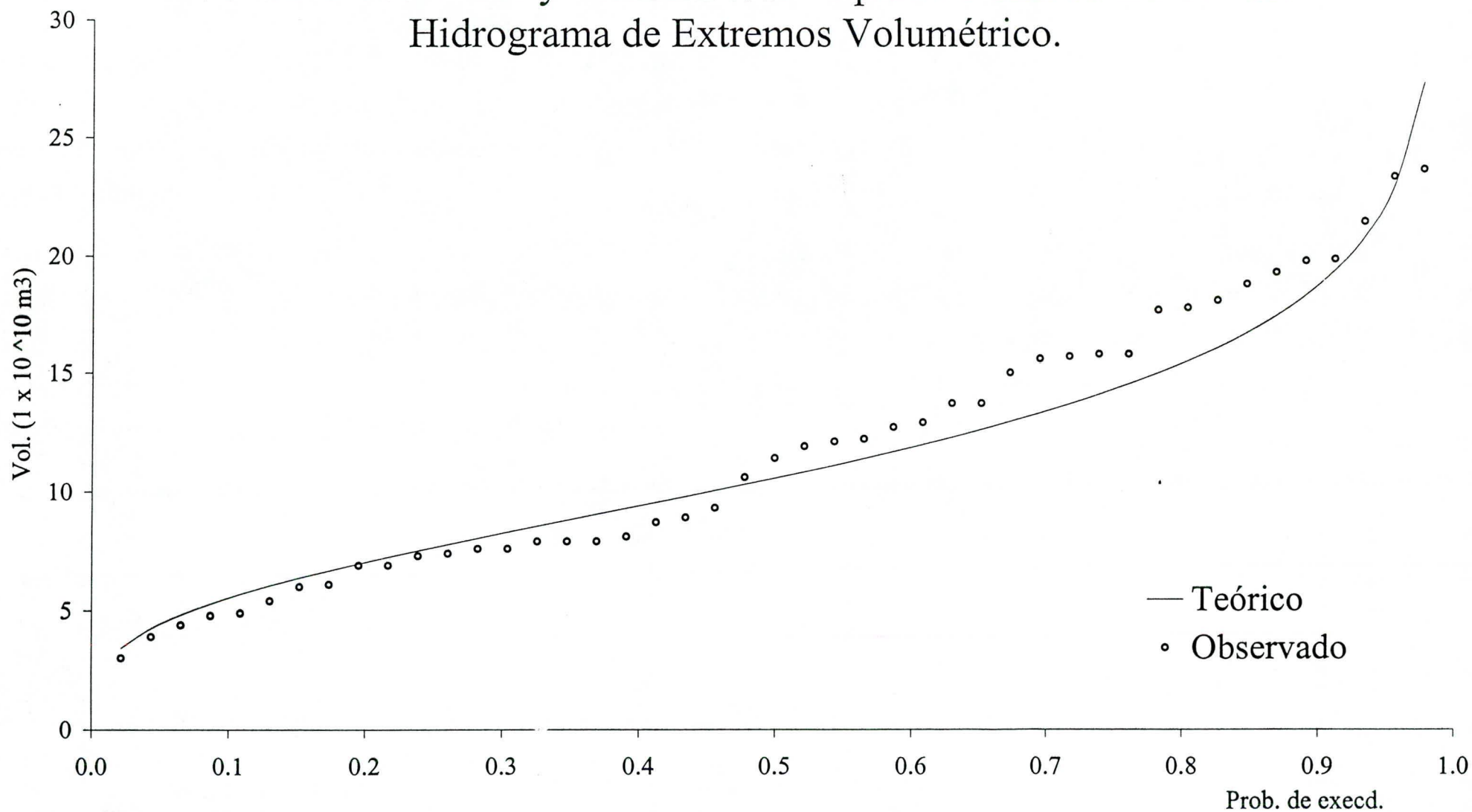
Volumen observado y volumen teórico para 150 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



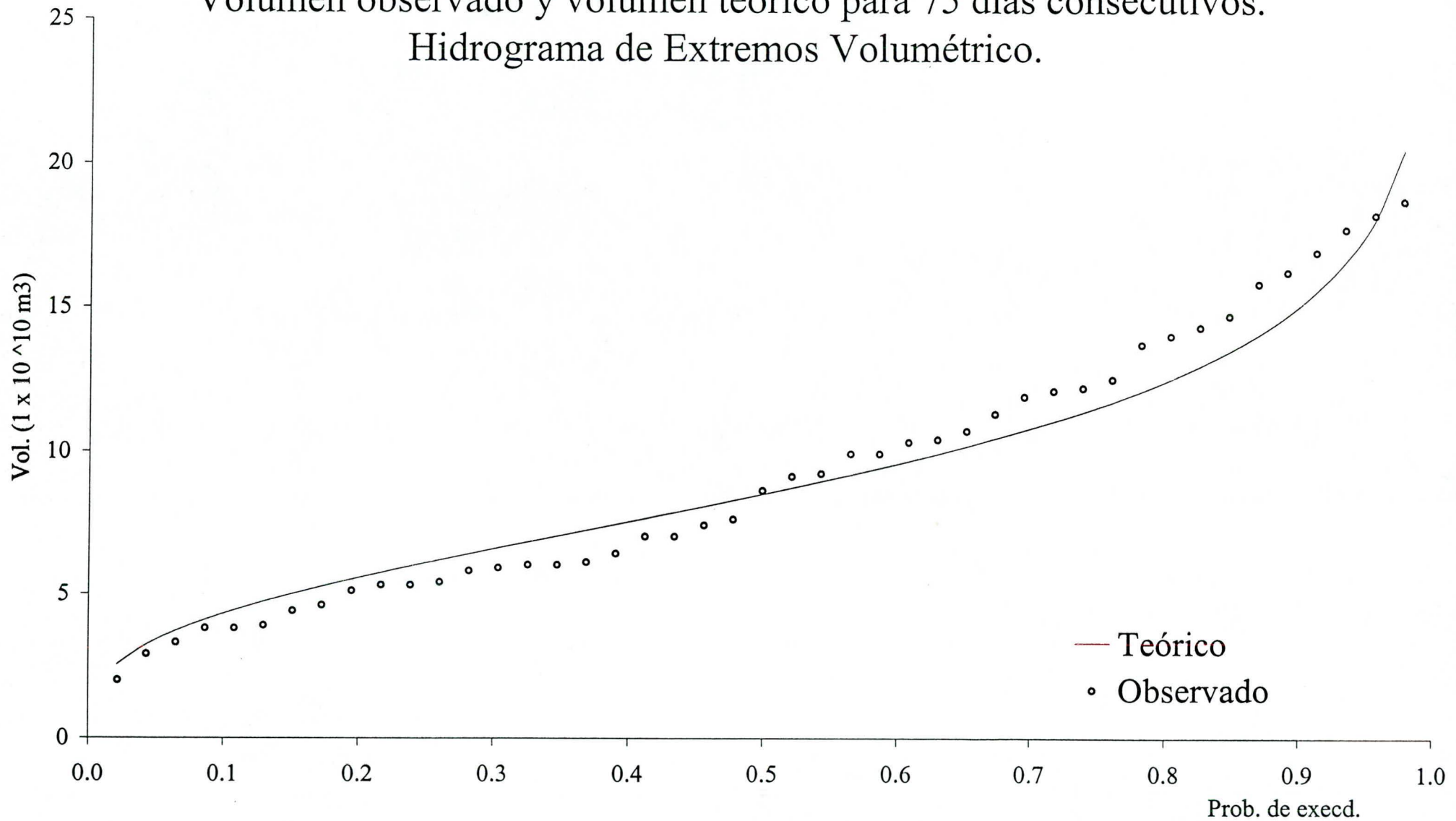
Volumen observado y volumen teórico para 120 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



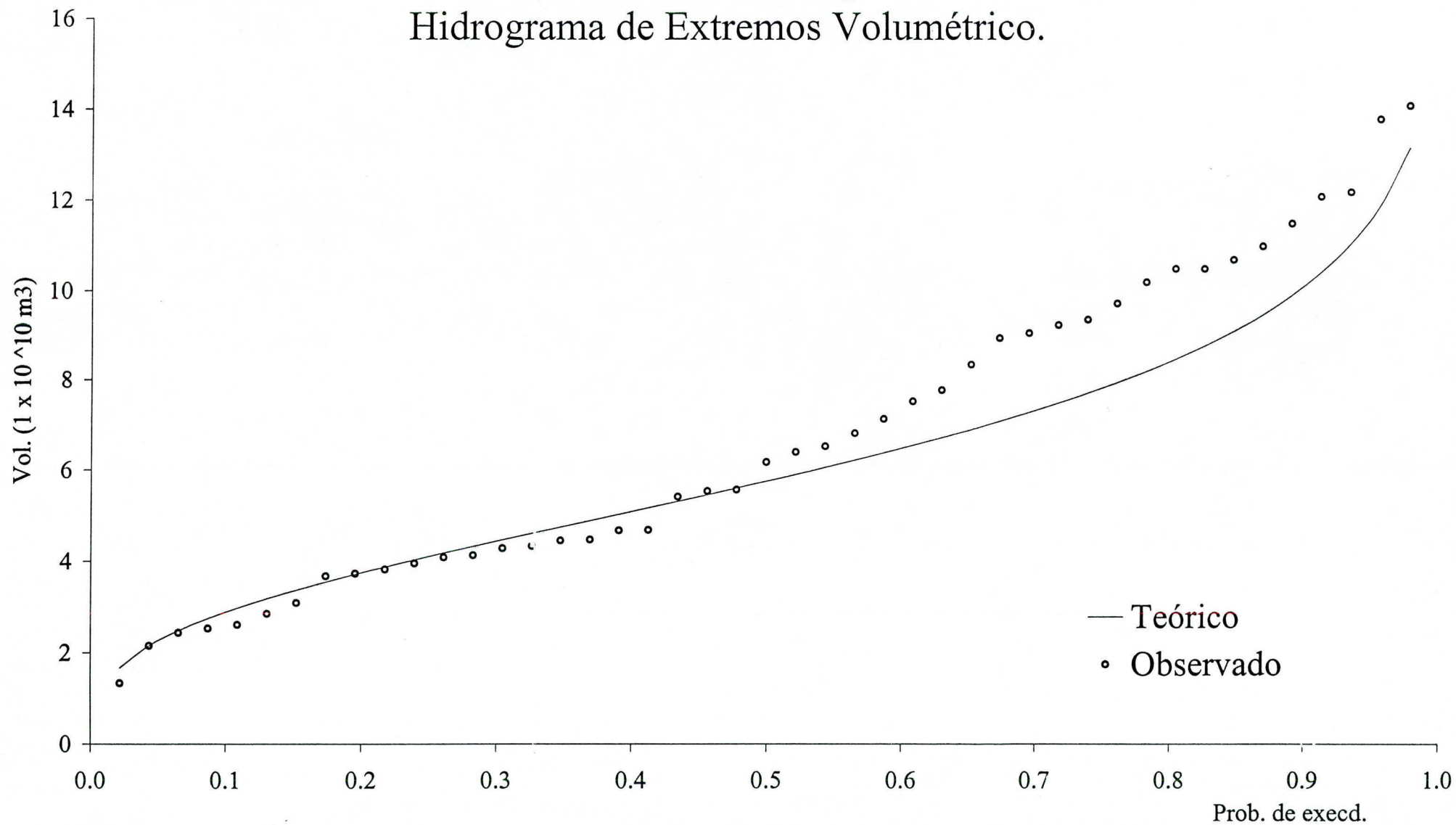
Volumen observado y volumen teórico para 90 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



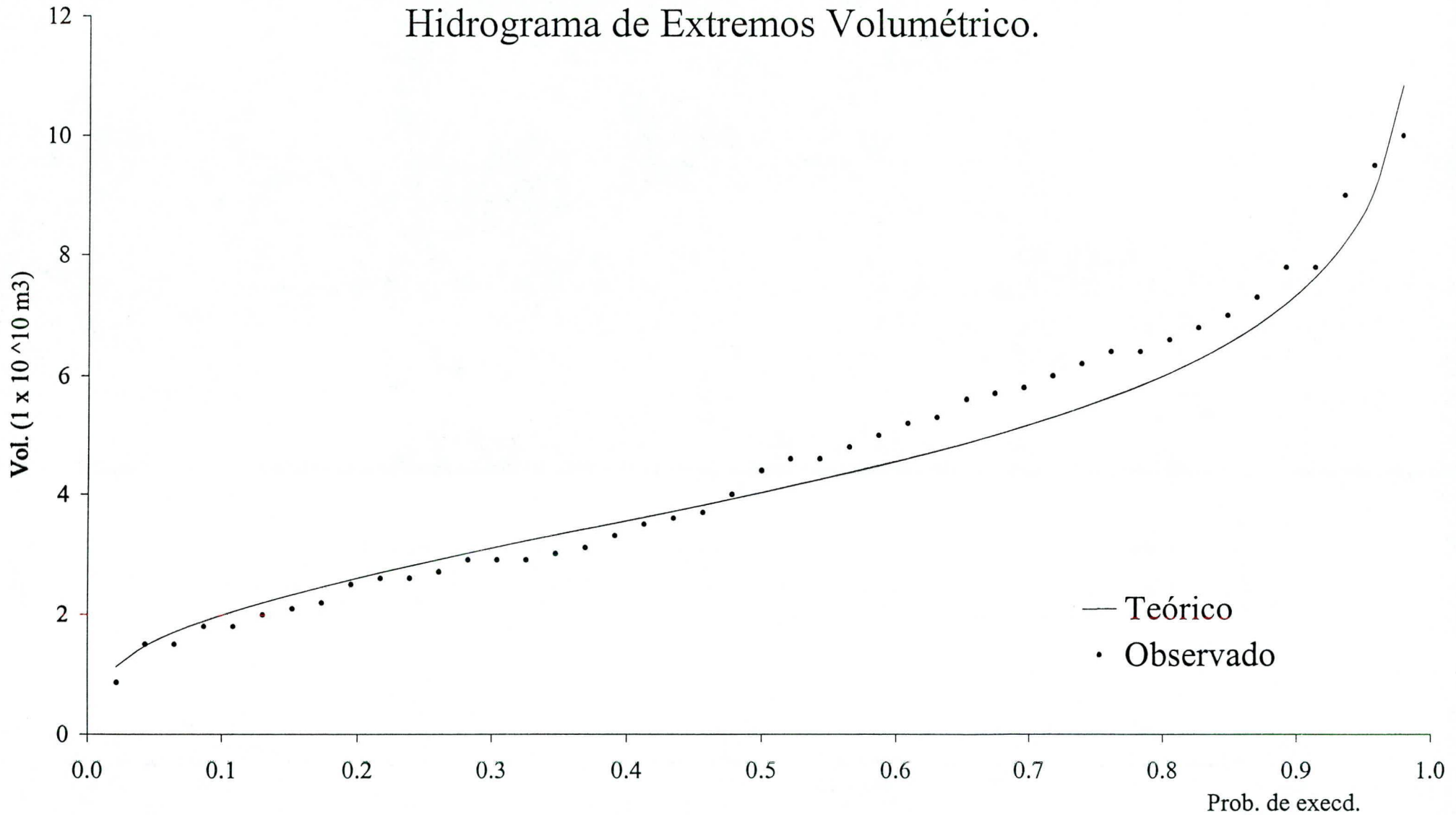
Volumen observado y volumen teórico para 75 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



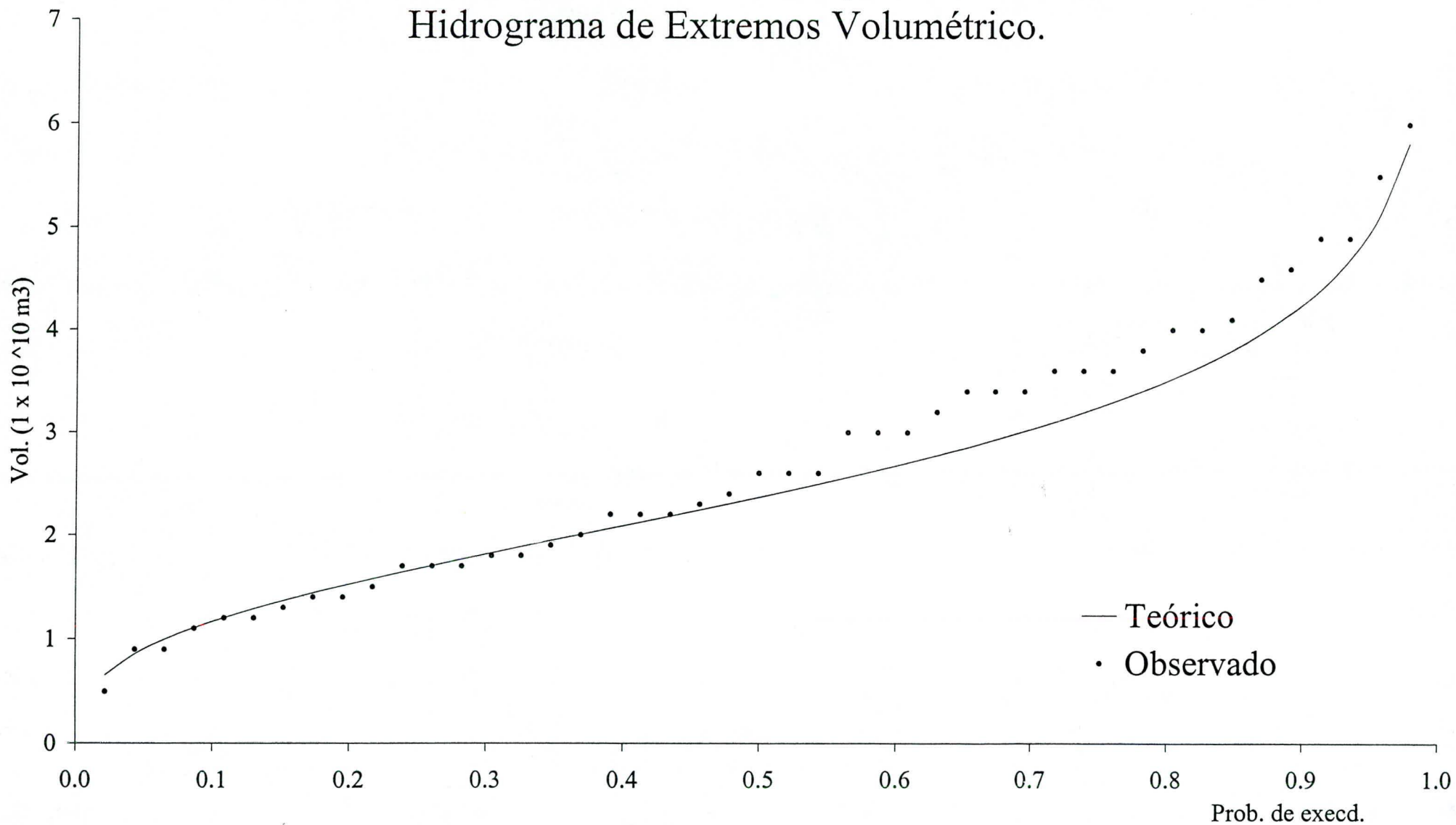
Volumen observado y volumen teórico para 60 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



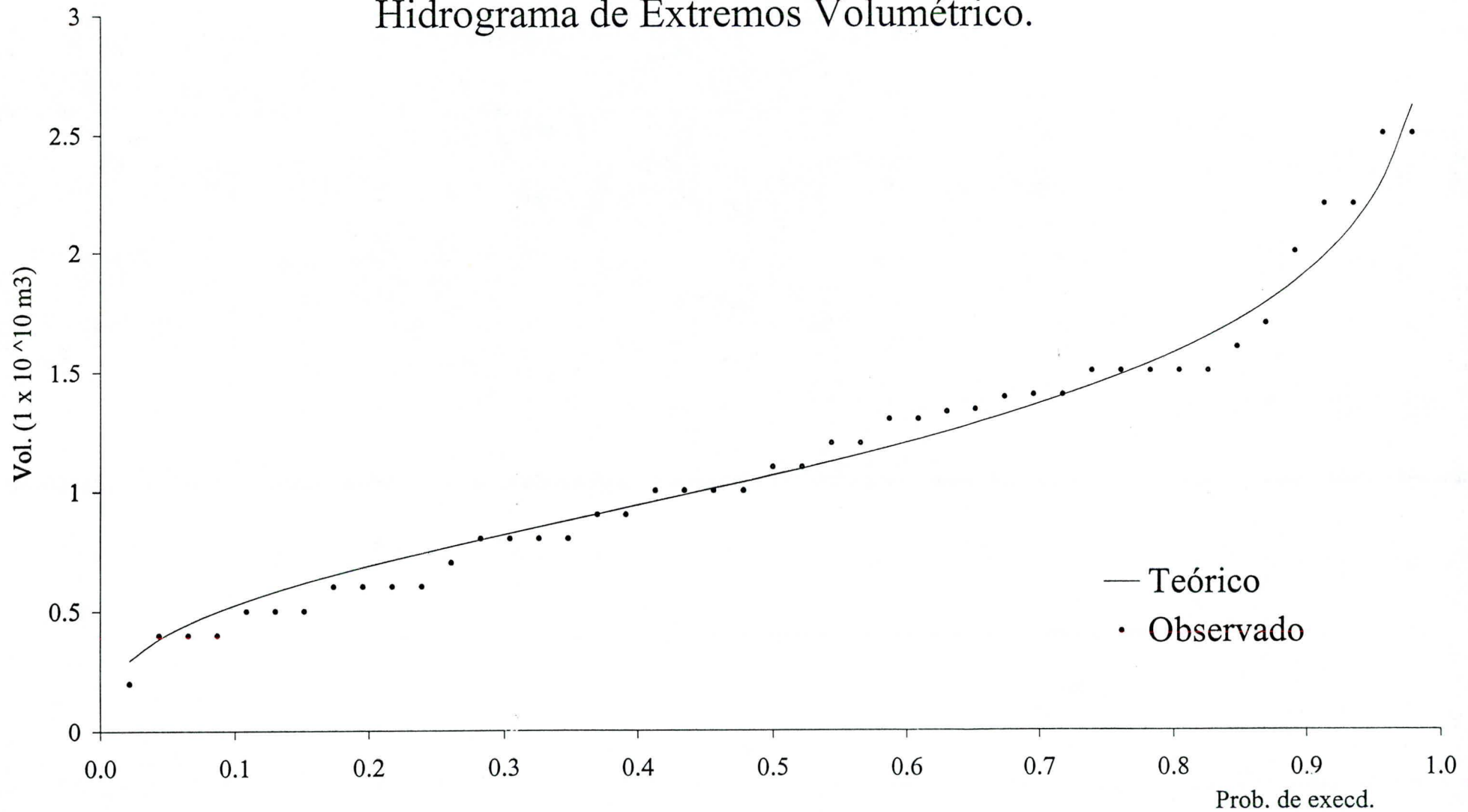
Volumen observado y volumen teórico para 45 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



Volumen observado y volumen teórico para 30 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



Volumen observado y volumen teórico para 15 días consecutivos.
Hidrograma de Extremos Volumétrico.



Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma Adimensional Volumétrico Promedio para diferentes duraciones de días consecutivos.

213 días consecutivos

Intervalo	rango		n_i	$f_s(x_i)$	F(x _i)	p(x _i)	X^2_c
1	> 8,0	8.5	1	0.022	0.05	0.05	0.78
2	8,0 - 8,5	8.0	1	0.022	0.08	0.02	0.004
3	7,5 - 8,0	7.5	3	0.067	0.11	0.03	1.46
4	7,0 - 7,5	7.0	0	0.000	0.16	0.05	2.12
5	6,5 - 7,0	6.5	1	0.022	0.22	0.06	1.26
6	6,0 - 6,5	6.0	3	0.067	0.31	0.09	0.20
7	5,5 - 6,0	5.5	9	0.200	0.42	0.11	3.34
8	5,0 - 5,5	5.0	7	0.156	0.55	0.13	0.22
9	4,5 - 5,0	4.5	6	0.133	0.69	0.14	0.02
10	4,0 - 4,5	4.0	6	0.133	0.82	0.13	0.00
11	3,5 - 4,0	3.5	6	0.133	0.92	0.10	0.52
12	3,0 - 3,5	3.0	1	0.022	0.98	0.06	0.91
13	< 3,0	2.5	1	0.022	1.00	0.02	0.01
			45	1.000			10.85

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 11$

X^2_c

19.675

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - \exp(-\exp((4,70-v)/1,30))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

195 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 76,0	76.0	1	0.0227	0.0546	0.0546	0.818650416
2	76,0 - 73,0	73.0	0	0.0000	0.0688	0.0142	0.625720215
3	73,0 - 70,0	70.0	1	0.0227	0.0866	0.0178	0.061402032
4	70,0 - 67,0	67.0	1	0.0227	0.1086	0.0221	0.000907008
5	67,0 - 64,0	64.0	2	0.0455	0.1359	0.0272	0.536059
6	64,0 - 61,0	61.0	0	0.0000	0.1693	0.0334	1.46922004
7	61,0 - 58,0	58.0	1	0.0227	0.2098	0.0405	0.344624827
8	58,0 - 55,0	55.0	2	0.0455	0.2585	0.0486	0.009233857
9	55,0 - 52,0	52.0	1	0.0227	0.3160	0.0575	0.924681579
10	52,0 - 49,0	49.0	8	0.1818	0.3826	0.0666	8.765094221
11	49,0 - 46,0	46.0	3	0.0682	0.4579	0.0753	0.029827346
12	46,0 - 43,0	43.0	3	0.0682	0.5405	0.0826	0.110143602
13	43,0 - 40,0	40.0	6	0.1364	0.6274	0.0870	1.234310771
14	40,0 - 37,0	37.0	2	0.0455	0.7146	0.0871	0.877257907
15	37,0 - 34,0	34.0	5	0.1136	0.7965	0.0819	0.540122193
16	34,0 - 31,0	31.0	3	0.0682	0.8676	0.0711	0.005160136
17	31,0 - 28,0	28.0	3	0.0682	0.9232	0.0557	0.123436896
18	28,0 - 25,0	25.0	0	0.0000	0.9616	0.0384	1.687836228
19	< 25,0	22.0	2	0.0455	0.9841	0.0225	1.035433033
			44				19.19912131

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 17$

X^2_c

27.587

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,77(39,84-v)/9,67))))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

150 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 50,0	50.0	1	0.022	0.047	0.047	0.58
2	50,0 - 47,0	47.0	2	0.044	0.065	0.018	1.71
3	47,0 - 44,0	44.0	1	0.022	0.090	0.025	0.01
4	44,0 - 41,0	41.0	0	0.000	0.124	0.034	1.52
5	41,0 - 38,0	38.0	3	0.067	0.169	0.045	0.46
6	38,0 - 35,0	35.0	4	0.089	0.228	0.059	0.65
7	35,0 - 32,0	32.0	5	0.111	0.305	0.076	0.72
8	32,0 - 29,0	29.0	1	0.022	0.399	0.094	2.48
9	29,0 - 26,0	26.0	5	0.111	0.510	0.111	0.00
10	26,0 - 23,0	23.0	5	0.111	0.632	0.122	0.04
11	23,0 - 20,0	20.0	11	0.244	0.754	0.122	5.58
12	20,0 - 17,0	17.0	2	0.044	0.860	0.106	1.61
13	17,0 - 14,0	14.0	1	0.022	0.936	0.077	1.73
14	< 14,0	11.0	4	0.089	0.979	0.043	2.26
			45				19.35

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 12$

$X2c$

21.026

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,9(23-v)/8))))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

120 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 38,0	38.0	1	0.022	0.0278	0.0099	0.690168911
2	38,0 - 36,0	36.0	0	0.000	0.0373	0.0095	0.428853367
3	36,0 - 34,0	34.0	1	0.022	0.0500	0.0127	0.319774778
4	34,0 - 32,0	32.0	0	0.000	0.0669	0.0169	0.760463269
5	32,0 - 30,0	30.0	2	0.044	0.0892	0.0223	0.984780247
6	30,0 - 28,0	28.0	1	0.022	0.1185	0.0293	0.077023592
7	28,0 - 26,0	26.0	4	0.089	0.1566	0.0381	3.053243411
8	26,0 - 24,0	24.0	4	0.089	0.2054	0.0488	1.482900617
9	24,0 - 22,0	22.0	3	0.067	0.2668	0.0614	0.020208937
10	22,0 - 20,0	20.0	3	0.067	0.3423	0.0754	0.045931325
11	20,0 - 18,0	18.0	1	0.022	0.4319	0.0897	2.283161292
12	18,0 - 16,0	16.0	4	0.089	0.5339	0.1020	0.075546403
13	16,0 - 14,0	14.0	6	0.133	0.6432	0.1092	0.239039003
14	14,0 - 12,0	12.0	5	0.111	0.7512	0.1080	0.00400551
15	12,0 - 10,0	10.0	4	0.089	0.8470	0.0959	0.022933695
16	10,0 - 8,0	8.0	1	0.022	0.9207	0.0737	1.616161922
17	< 8,0	6.0	5	0.111	0.9673	0.0466	4.012811145
			45				12.104

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 15$

$X2c$

24.996

La distribución "se ajusta"

$$\bar{F}(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,9(14,2-v)/6))))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

90 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 23,0	23.0	2	0.044	0.04	0.04	0.00
2	23,0 - 22,0	22.0	0	0.000	0.05	0.01	0.41
3	22,0 - 21,0	21.0	1	0.022	0.06	0.01	0.47
4	21,0 - 20,0	20.0	1	0.022	0.08	0.01	0.21
5	20,0 - 19,0	19.0	3	0.067	0.10	0.02	6.11
6	19,0 - 18,0	18.0	2	0.044	0.12	0.02	1.04
7	18,0 - 17,0	17.0	2	0.044	0.15	0.03	0.50
8	17,0 - 16,0	16.0	0	0.000	0.18	0.03	1.49
9	16,0 - 15,0	15.0	4	0.089	0.22	0.04	2.63
10	15,0 - 14,0	14.0	1	0.022	0.27	0.05	0.64
11	14,0 - 13,0	13.0	2	0.044	0.32	0.06	0.13
12	13,0 - 12,0	12.0	4	0.089	0.39	0.07	0.35
13	12,0 - 11,0	11.0	2	0.044	0.47	0.07	0.55
14	11,0 - 10,0	10.0	1	0.022	0.55	0.08	1.96
15	10,0 - 9,0	9.0	1	0.022	0.63	0.09	2.14
16	9,0 - 8,0	8.0	3	0.067	0.72	0.09	0.20
17	8,0 - 7,0	7.0	7	0.156	0.80	0.08	3.09
18	7,0 - 6,0	6.0	3	0.067	0.87	0.07	0.01
19	6,0 - 5,0	5.0	1	0.022	0.93	0.05	0.87
20	5,0 - 4,0	4.0	3	0.067	0.96	0.04	1.02
21	4,0 - 3,0	3.0	1	0.022	0.98	0.02	0.00
22	< 3,0	2.0	1	0.022	1.00	0.01	0.62
			45				24.43

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 20$

X^2_c

26.296

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,62(9,0-v)/2,6))) + 0,01)$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

75 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 18,0	18.0	2	0.044	0.044	0.044	2.002E-06
2	18,0 - 17,0	17.0	1	0.022	0.059	0.014	0.198450977
3	17,0 - 16,0	16.0	2	0.044	0.077	0.019	1.597456932
4	16,0 - 15,0	15.0	1	0.022	0.102	0.024	0.008038105
5	15,0 - 14,0	14.0	2	0.044	0.133	0.031	0.245250475
6	14,0 - 13,0	13.0	2	0.044	0.173	0.040	0.021485639
7	13,0 - 12,0	12.0	3	0.067	0.224	0.050	0.233268721
8	12,0 - 11,0	11.0	2	0.044	0.286	0.062	0.233993903
9	11,0 - 10,0	10.0	3	0.067	0.362	0.075	0.045880488
10	10,0 - 9,0	9.0	4	0.089	0.450	0.088	0.000235309
11	9,0 - 8,0	8.0	1	0.022	0.549	0.099	2.671827541
12	8,0 - 7,0	7.0	2	0.044	0.653	0.105	1.556331496
13	7,0 - 6,0	6.0	4	0.089	0.756	0.103	0.082916783
14	6,0 - 5,0	5.0	8	0.178	0.847	0.091	3.706388386
15	5,0 - 4,0	4.0	2	0.044	0.918	0.071	0.443708402
16	4,0 - 3,0	3.0	4	0.089	0.964	0.046	1.766259793
17	3,0 - 2,0	2.0	1	0.022	0.988	0.024	0.005797329
18	< 2,0	1.0	1	0.022	0.997	0.009	0.835139442

45

13.652

Con V=m-p-1 grados de libertad

V = 16

X2c

26.296

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,83(7,2-v)/2,9))))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

60 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 14,0	1	14.0	0.022	0.03	0.0371	0.268481731
2	14,0 - 13,5	1	13.5	0.022	0.04	0.0051	2.590774431
3	13,5 - 13,0	0	13.0	0.000	0.04	0.0062	0.280744269
4	13,0 - 12,5	0	12.5	0.000	0.05	0.0076	0.343297682
5	12,5 - 12,0	2	12.0	0.044	0.06	0.0093	5.96354892
6	12,0 - 11,5	0	11.5	0.000	0.07	0.0113	0.510572372
7	11,5 - 11,0	1	11.0	0.022	0.09	0.0138	0.232174534
8	11,0 - 10,5	2	10.5	0.044	0.10	0.0167	2.073279425
9	10,5 - 10,0	3	10.0	0.067	0.12	0.0202	4.828748946
10	10,0 - 9,5	2	9.5	0.044	0.15	0.0242	0.760729919
11	9,5 - 9,0	3	9.0	0.067	0.18	0.0289	2.21798302
12	9,0 - 8,5	1	8.5	0.022	0.21	0.0343	0.190984052
13	8,5 - 8,0	1	8.0	0.022	0.25	0.0403	0.364796707
14	8,0 - 7,5	2	7.5	0.044	0.30	0.0469	0.005563693
15	7,5 - 7,0	1	7.0	0.022	0.35	0.0538	0.832245192
16	7,0 - 6,5	2	6.5	0.044	0.41	0.0607	0.195161346
17	6,5 - 6,0	2	6.0	0.044	0.48	0.0671	0.34418094
18	6,0 - 5,5	2	5.5	0.044	0.55	0.0724	0.485542316
19	5,5 - 5,0	0	5.0	0.000	0.63	0.0758	3.408871789
20	5,0 - 4,5	2	4.5	0.044	0.70	0.0763	0.599751952
21	4,5 - 4,0	6	4.0	0.133	0.78	0.0735	2.196121968
22	4,0 - 3,5	4	3.5	0.089	0.84	0.0668	0.329517899
23	3,5 - 3,0	1	3.0	0.022	0.90	0.0566	0.939768579
24	3,0 - 2,5	3	2.5	0.067	0.94	0.0440	0.523457001
25	2,5 - 2,0	2	2.0	0.044	0.97	0.0308	0.270547828
26	2,0 - 1,5	0	1.5	0.000	0.99	0.0190	0.853558423
27	< 1,5	1	1.0	0.022	1.00	0.0100	0.679277427
			45				32.290

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 25$

X^2_c

37.652

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp((4,9-v)/2,4))) + 0,01)$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

45 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 9,5	9.5	1	0.02	0.036	0.036	0.24
2	9,5 - 9,0	9.0	1	0.02	0.045	0.009	0.91
3	9,0 - 8,5	8.5	1	0.02	0.057	0.012	0.42
4	8,5 - 8,0	8.0	0	0.00	0.072	0.016	0.70
5	8,0 - 7,5	7.5	2	0.04	0.093	0.021	1.25
6	7,5 - 7,0	7.0	1	0.02	0.120	0.027	0.04
7	7,0 - 6,5	6.5	3	0.07	0.155	0.035	1.29
8	6,5 - 6,0	6.0	3	0.07	0.199	0.045	0.48
9	6,0 - 5,5	5.5	4	0.09	0.256	0.057	0.83
10	5,5 - 5,0	5.0	2	0.04	0.326	0.070	0.42
11	5,0 - 4,5	4.5	4	0.09	0.410	0.084	0.01
12	4,5 - 4,0	4.0	1	0.02	0.506	0.097	2.58
13	4,0 - 3,5	3.5	3	0.07	0.612	0.106	0.64
14	3,5 - 3,0	3.0	3	0.07	0.719	0.107	0.69
15	3,0 - 2,5	2.5	7	0.16	0.818	0.099	1.44
16	2,5 - 2,0	2.0	3	0.07	0.899	0.081	0.11
17	2,0 - 1,5	1.5	3	0.07	0.954	0.055	0.11
18	1,5 - 1,0	1.0	2	0.04	0.984	0.030	0.31
19	<1,0	0.5	1	0.02	0.996	0.012	0.39
			0				12.86
Con V=m-p-1 grados de libertad			V = 17			X2c	27.587

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(0,77(3,4-v)/1,3))) + 0,01)$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

30 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	> 5,85	5.85	1	0.022	0.02	0.02	0.01
2	5,85 - 5,65	5.65	0	0.000	0.03	0.005	0.21
3	5,65 - 5,45	5.45	1	0.022	0.03	0.006	2.23
4	5,45 - 5,25	5.25	0	0.000	0.04	0.007	0.31
5	5,25 - 5,05	5.05	0	0.000	0.05	0.008	0.37
6	5,05 - 4,85	4.85	2	0.044	0.06	0.010	5.38
7	4,85 - 4,65	4.65	0	0.000	0.07	0.012	0.54
8	4,65 - 4,45	4.45	2	0.044	0.08	0.014	2.80
9	4,45 - 4,25	4.25	0	0.000	0.10	0.017	0.78
10	4,25 - 4,05	4.05	1	0.022	0.12	0.021	0.00
11	4,05 - 3,85	3.85	2	0.044	0.15	0.025	0.71
12	3,85 - 3,65	3.65	1	0.022	0.17	0.029	0.08
13	3,65 - 3,45	3.45	3	0.067	0.21	0.034	1.37
14	3,45 - 3,25	3.25	3	0.067	0.25	0.040	0.80
15	3,25 - 3,05	3.05	1	0.022	0.30	0.046	0.56
16	3,05 - 2,85	2.85	3	0.067	0.35	0.053	0.17
17	2,85 - 2,65	2.65	0	0.000	0.41	0.059	2.65
18	2,65 - 2,45	2.45	3	0.067	0.47	0.065	0.00
19	2,45 - 2,25	2.25	2	0.044	0.54	0.070	0.41
20	2,25 - 2,05	2.05	3	0.067	0.61	0.073	0.02
21	2,05 - 1,85	1.85	2	0.044	0.69	0.073	0.51
22	1,85 - 1,65	1.65	5	0.111	0.76	0.071	1.02
23	1,65 - 1,45	1.45	1	0.022	0.82	0.065	1.28
24	1,45 - 1,25	1.25	3	0.067	0.88	0.056	0.09
25	1,25 - 1,05	1.05	3	0.067	0.92	0.045	0.47
26	1,05 - 0,85	0.85	2	0.044	0.96	0.033	0.18
27	0,85 - 0,65	0.65	0	0.000	0.98	0.021	0.96
28	< 0,65	0.45	1	0.022	0.99	0.012	0.38

Con $V=m-p-1$ grados de libertad $V = 26$

X^2_c 36.415

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp((2-v))))))$$

Prueba de bondad de ajuste (X2) aplicado a la función de distribución de probabilidad de Gumbel, para el desarrollo del Hidrograma de Extremos Volumétrico para diferentes duraciones de días consecutivos.

15 días consecutivos

Intervalo	rango		ni	fs(xi)	F(xi)	p(xi)	X2c
1	>2,45	2.45	2	0.044	0.03	0.03	0.31
2	2,45 - 2,25	2.25	0	0.000	0.05	0.02	0.78
3	2,25 - 2,05	2.05	2	0.044	0.08	0.03	0.57
4	2,05 - 1,85	1.85	1	0.022	0.11	0.04	0.34
5	1,85 - 1,65	1.65	1	0.022	0.17	0.06	1.00
6	1,65 - 1,45	1.45	6	0.133	0.26	0.08	1.37
7	1,45 - 1,25	1.25	7	0.156	0.37	0.11	0.72
8	1,25 - 1,05	1.05	4	0.089	0.51	0.14	0.92
9	1,05 - 0,85	0.85	6	0.133	0.67	0.16	0.21
10	0,85 - 0,65	0.65	5	0.111	0.82	0.15	0.49
11	0,65 - 0,45	0.45	7	0.156	0.93	0.11	0.89
12	0,45 - 0,25	0.25	3	0.067	0.99	0.05	0.19
13	< 0,25	0.05	1	0.022	1.00	0.01	0.27
			45				8.06

Con $V=m-p-1$ grados de libertad

$V = 11$

$X2c$

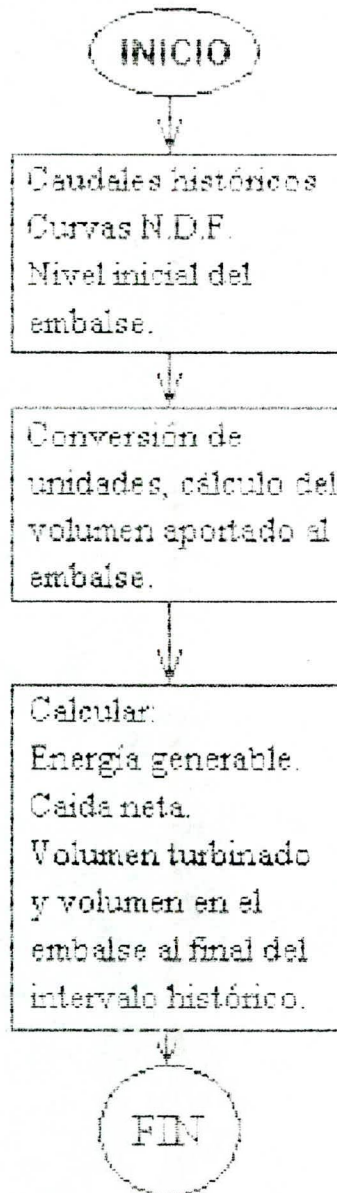
19.675

La distribución "se ajusta"

$$F(x) = 1 - (1 / (\exp(\exp(1,33 * (0,9 - v) / 0,6))))$$

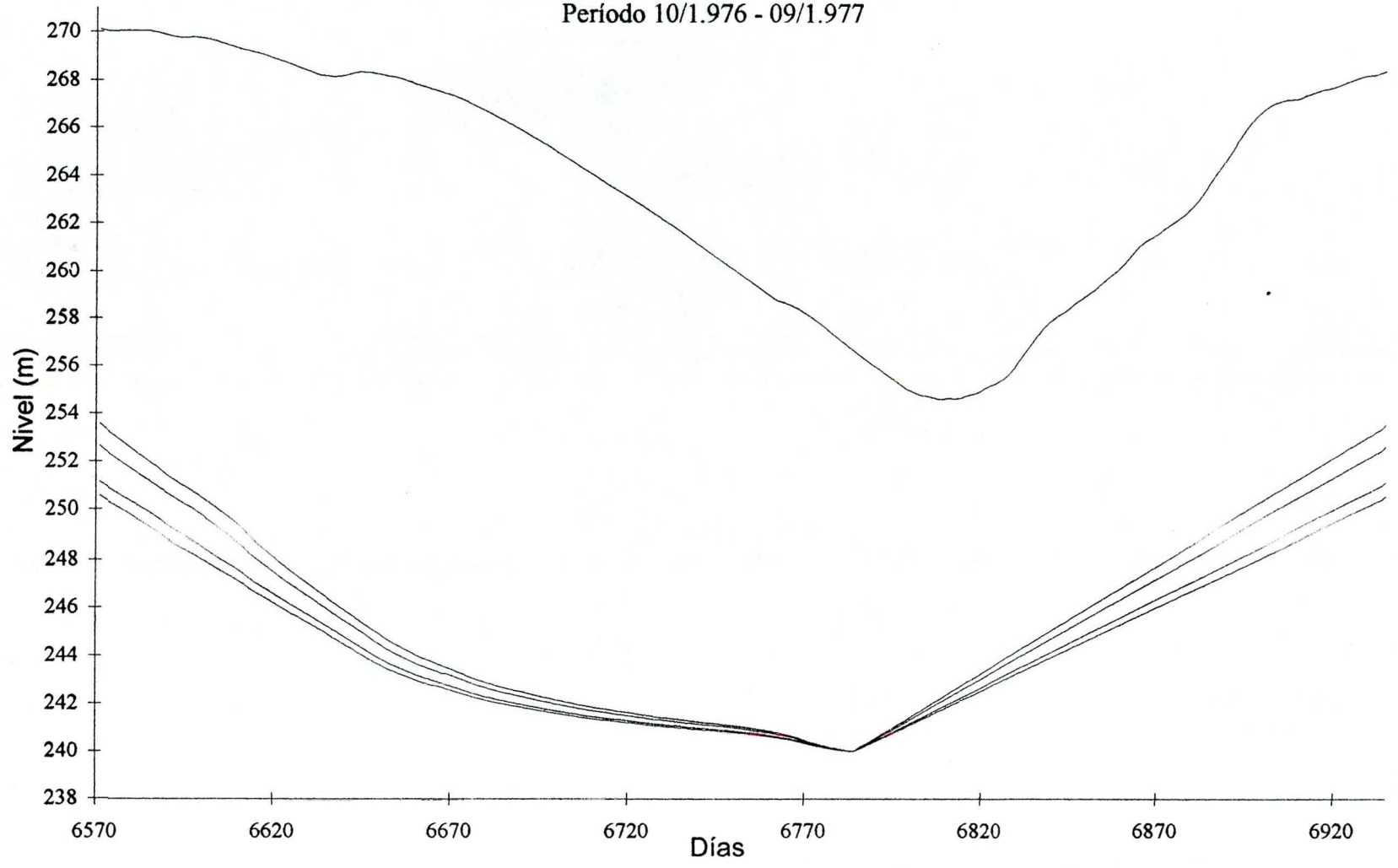
ANEXO F

PROGRAMA PRINCIPAL

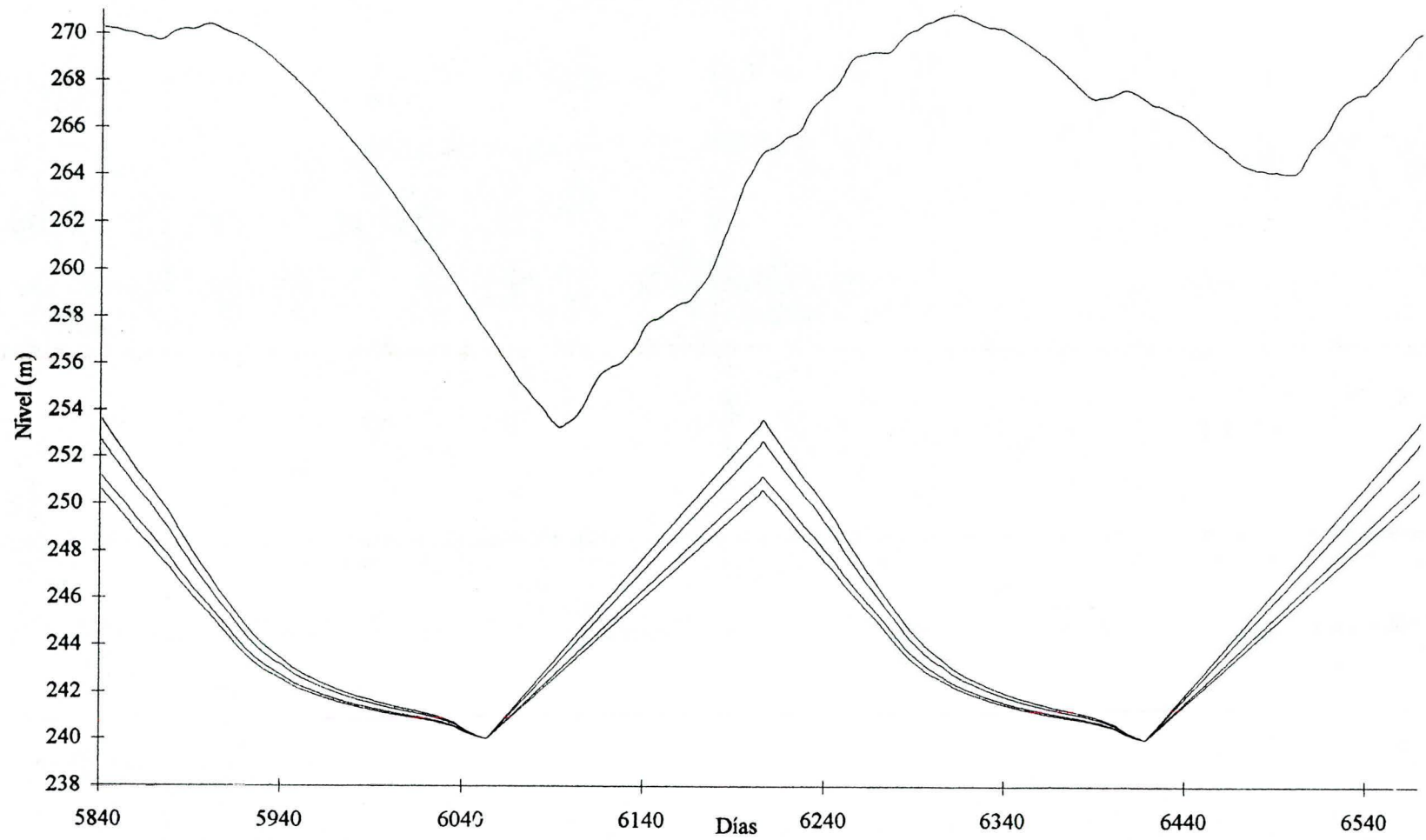


ANEXO G

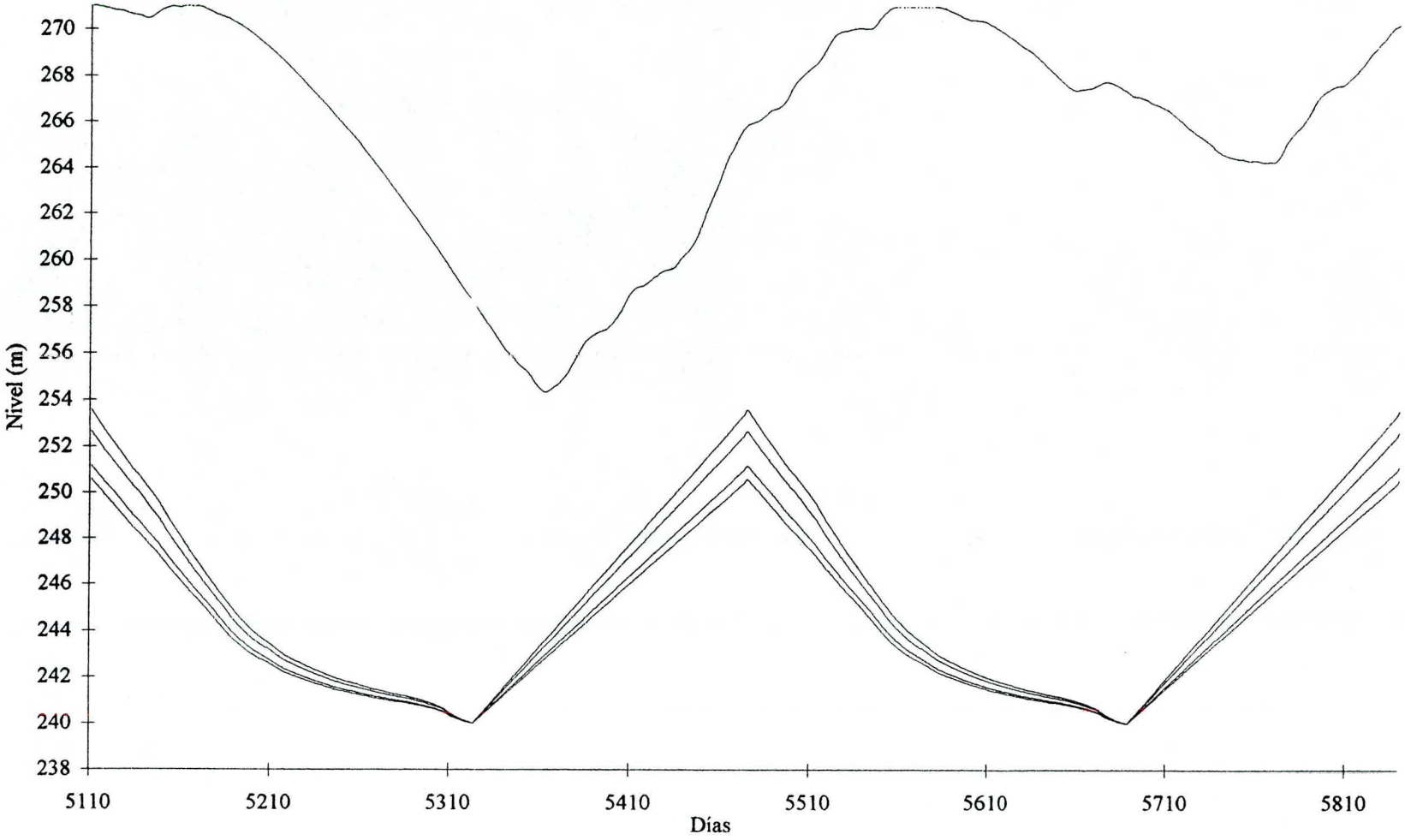
Operación del embalse Guri.
Período 10/1.976 - 09/1.977



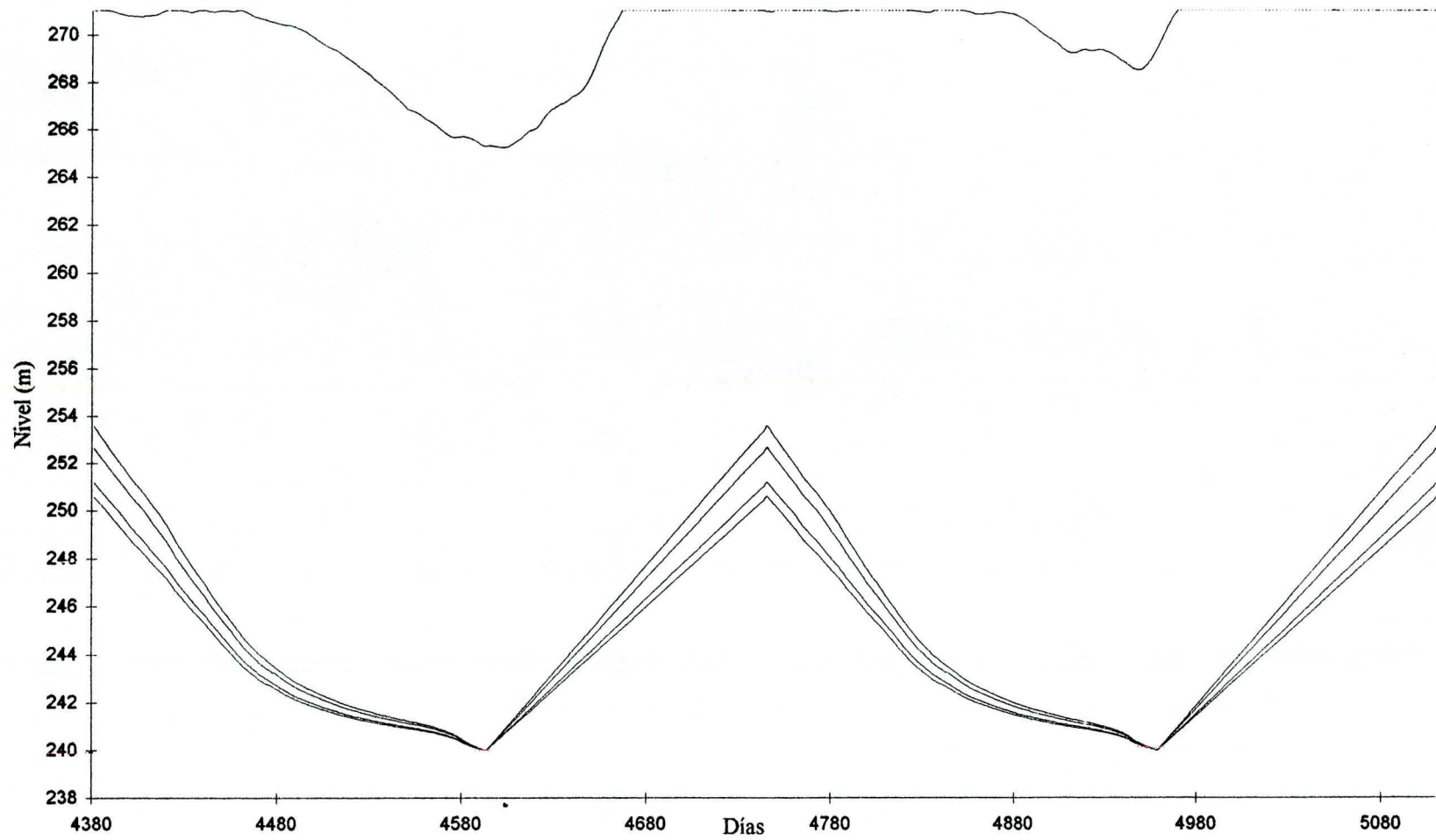
Operación del embalse Guri.
Período 10/74 - 09/76



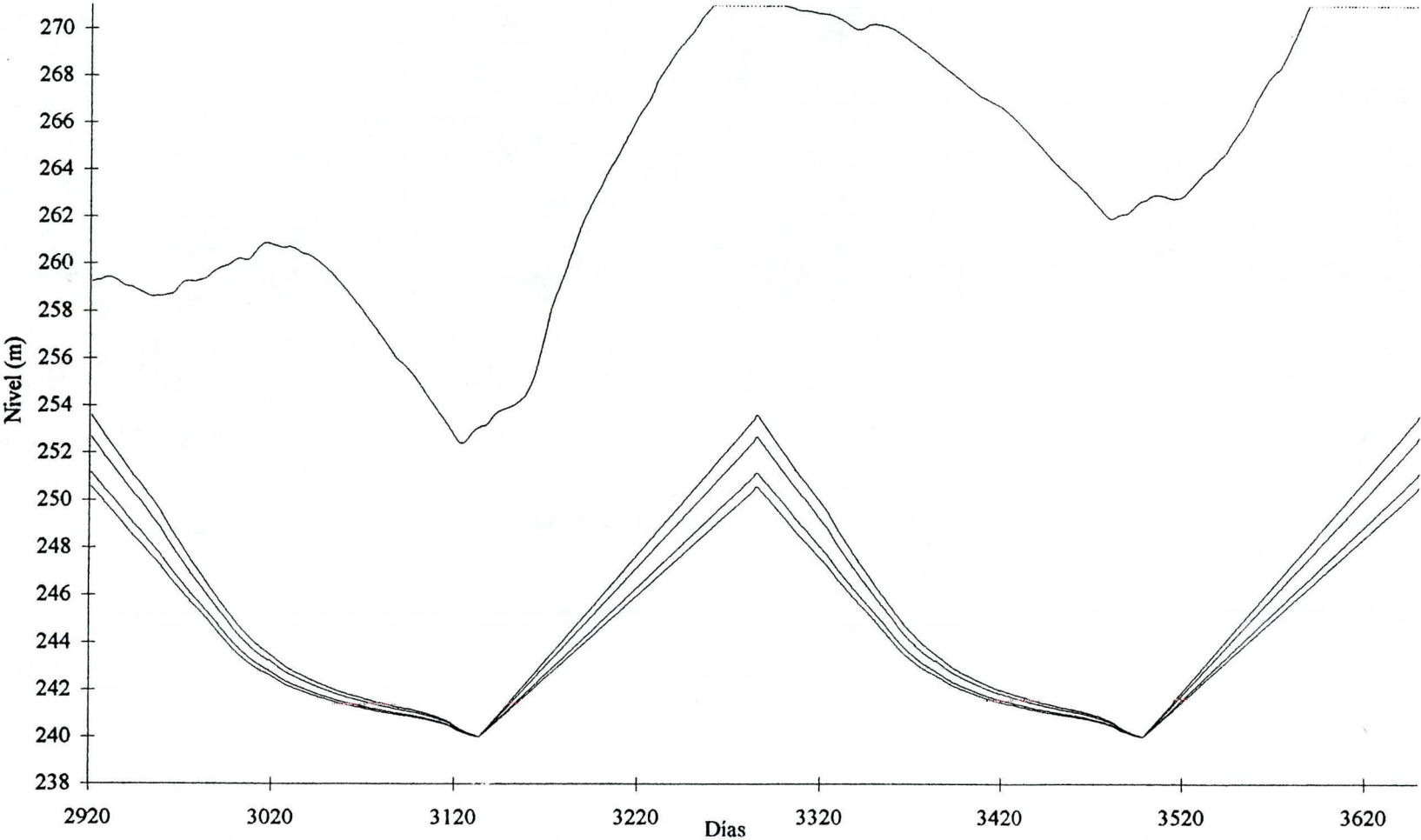
Operación del embalse Guri.
Período 10/72 - 09/74



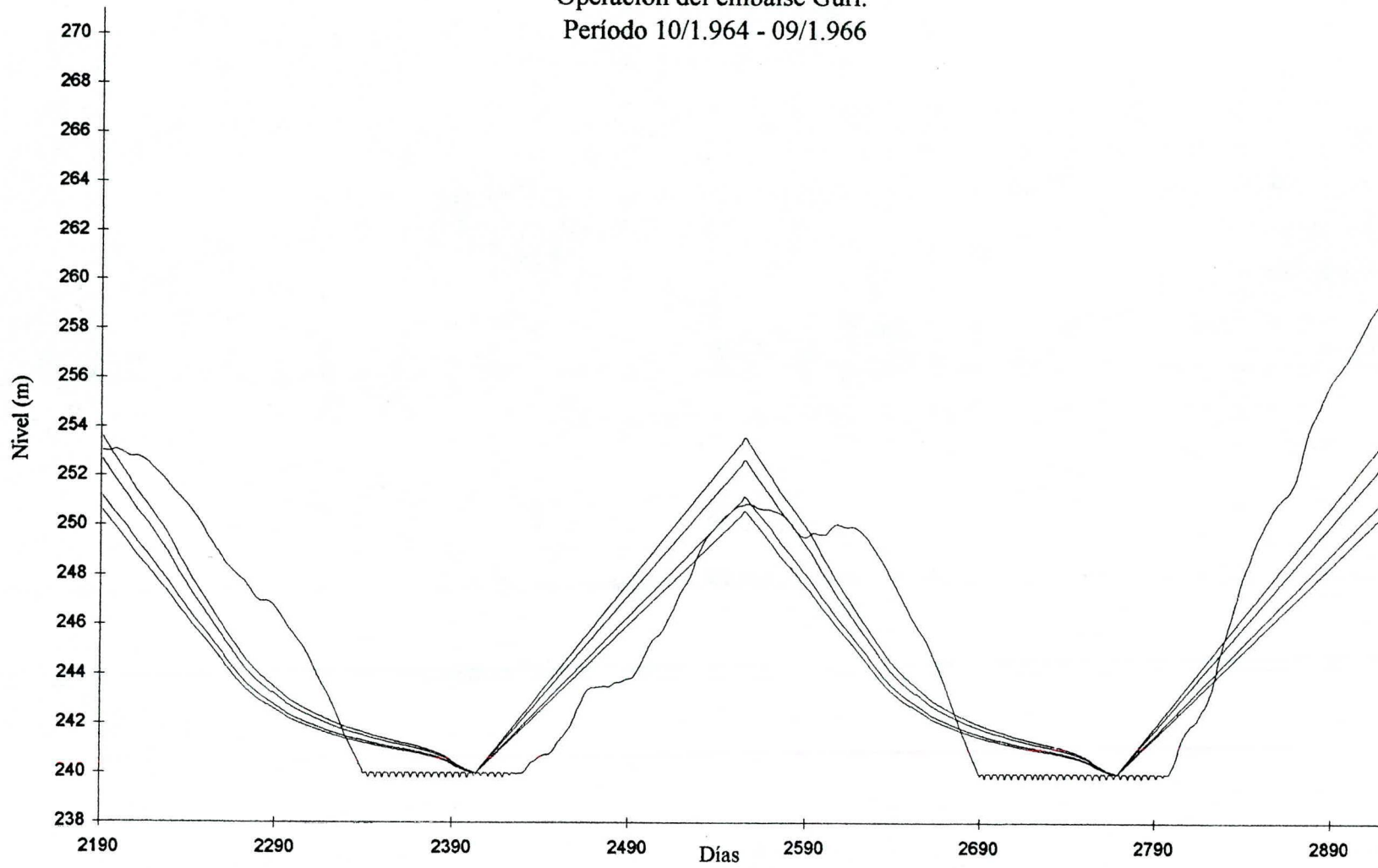
Operación del embalse Guri.
Período 10/1,970 - 09/1,972



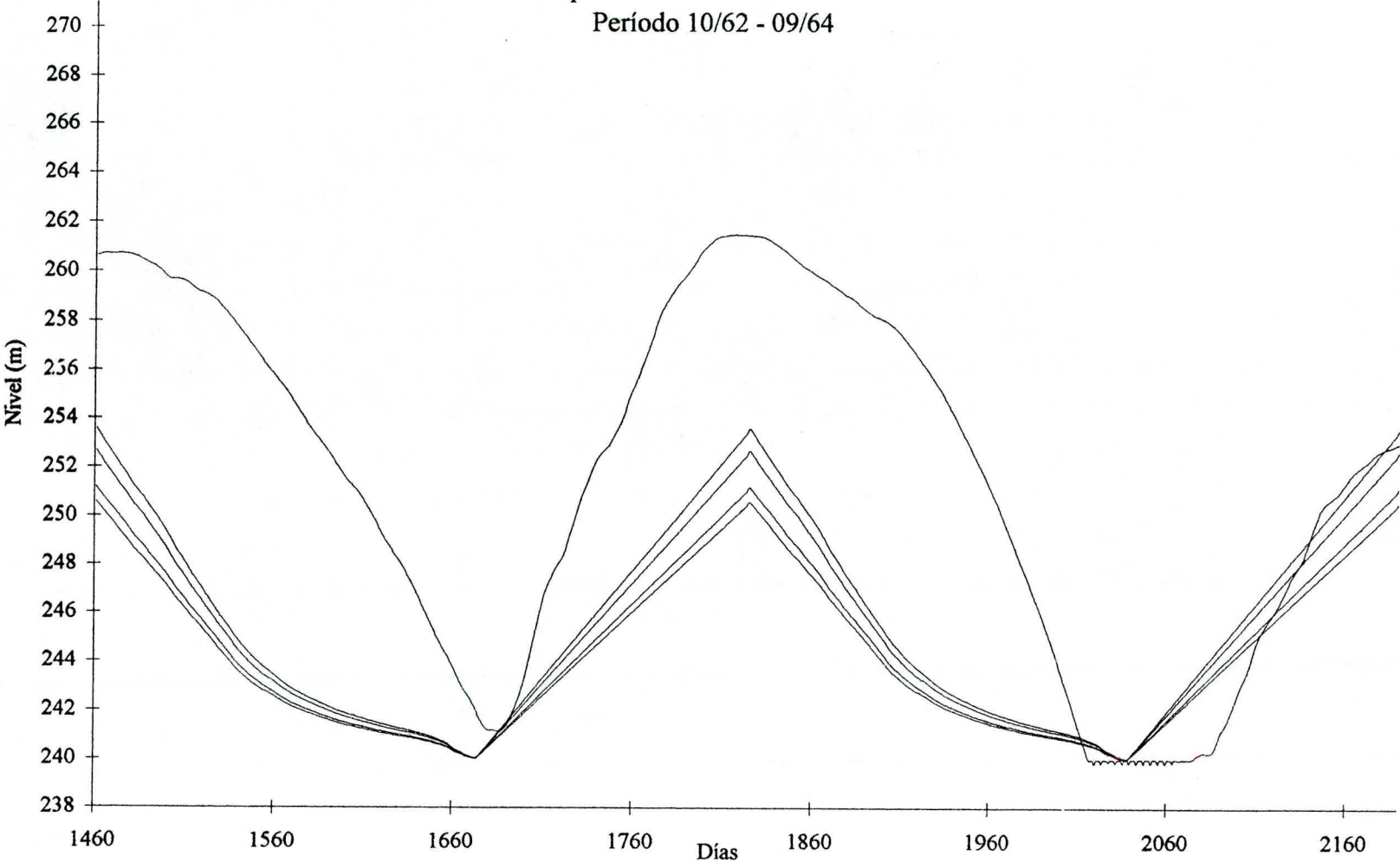
Operación del embalse Guri.
Período 10/1.966 - 09/1.968



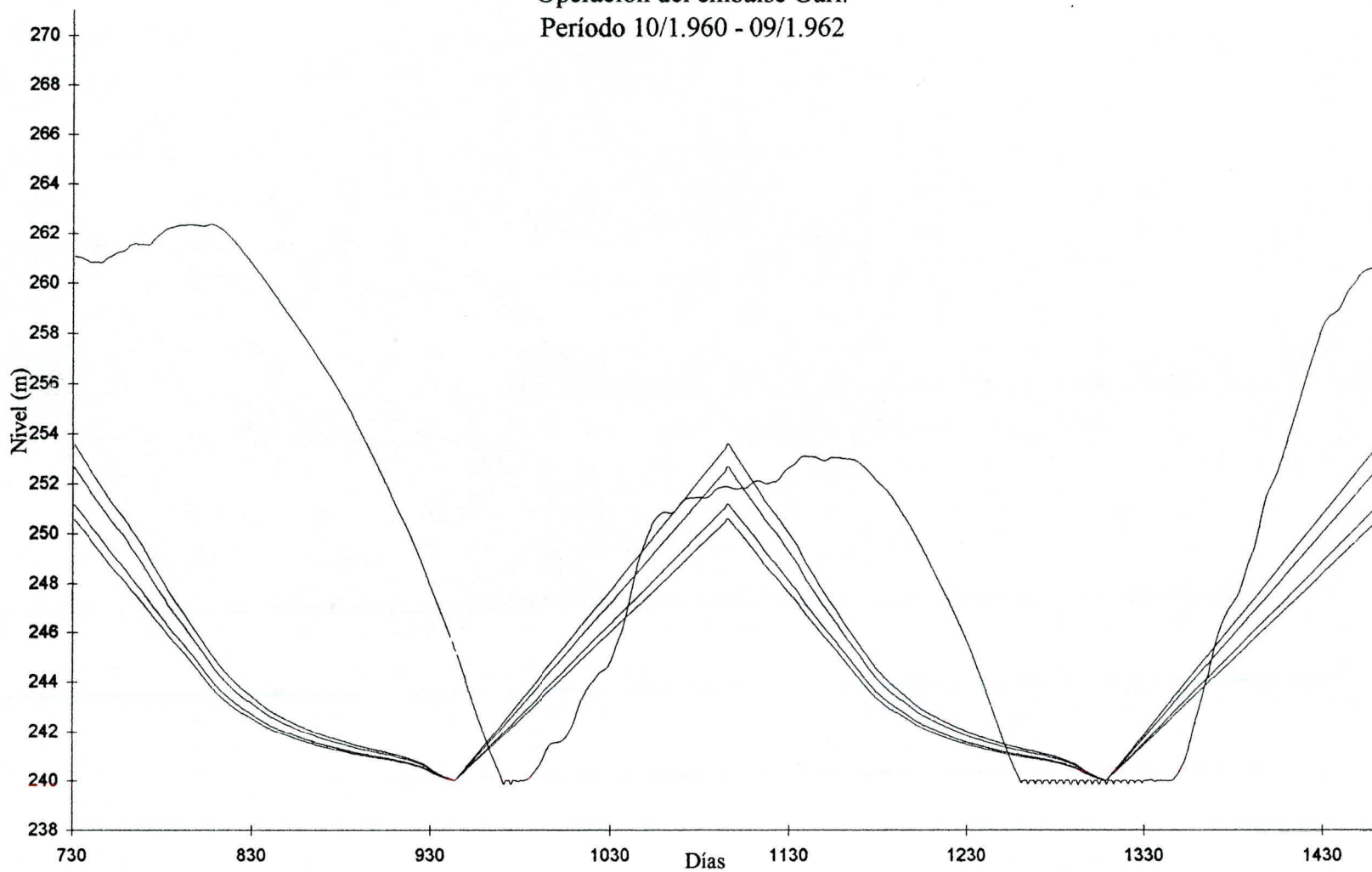
Operación del embalse Guri.
Período 10/1.964 - 09/1.966



Operación del embalse Guri.
Período 10/62 - 09/64



Operación del embalse Guri.
Período 10/1.960 - 09/1.962



Operación del embalse Guri.
Período 10/1.958 - 09/1.960

