

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA - CVC -

PROYECTO DE REGULACION DEL RIO CAUCA

Grado de protección en la planicie.

Agosto de 1977

PROYECTO DE REGULACION DEL RIO CAUCA

GRADO DE PROTECCION EN LA PLANICIE

I - INTRODUCCION

A. Generalidades del Proyecto

El Proyecto de Regulación del Río Cauca, en la terminología de la CVC, consiste en la identificación, diseño y construcción del complejo de obras de óptima bondad técnica y de menor costo global que aseguren el control de anegamientos de la zona agrícola adyacente al río Cauca y a lo largo del mismo, entre las localidades de La Balsa y La Virginia, originados por desbordamientos de dicho río y de sus tributarios en la zona de influencia del mismo, en crecidas de frecuencia de una vez en 10 años o inferiores.

El complejo de obras de protección contra inundaciones consiste en una presa y estructuras complementarias en el sitio de Salvajina para regular el río Cauca hasta ese lugar; diques a lo largo del mismo río y de sus tributarios en la zona de influencia, canales interceptores para el control de caudales generados por el área tributaria entre Salvajina y La Virginia, además de canales de drenaje primario y plantas de bombas en la zona protegida para manejar los escurrimientos de lluvias, sobrantes de riego e infiltraciones en esa zona.

Las obras descritas satisfacen el objetivo principal del proyecto de protección contra inundaciones y drenaje primario. Otros beneficios secundarios son la generación de energía hidroeléctrica mediante una central generadora en Salvajina y el alivio de la contaminación del río Cauca.

B. Antecedentes para definir un grado de protección

Antes de entrar a discutir el grado de protección real que se logra con el Proyecto de Regulación del Río Cauca, en este párrafo se pretende hacer claridad en relación al grado de protección seleccionado, sus antecedentes y su justificación.

En diversos informes preparados por la CVC o por firmas consultoras, se ha discutido y analizado el grado óptimo de protección que debe adoptarse en el control de anegamientos en la zona agrícola del valle del río Cauca. A continuación se presentan las conclusiones y resultados de ellos.

1. El Informe titulado "El Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del Río Cauca", presentado por OLAP-GIBS AND HILL-KTAM, en enero de 1956, en el numeral 4 del Capítulo VIII, dice: "La mayoría de las plantas que podrán cultivarse en la zona que es ahora inundable, tienen un período de crecimiento de sólo cuatro meses; otros, como la caña de azúcar, lo tienen más largo, de modo que puede decirse que el período medio de crecimiento es de seis meses.

Si se da protección contra una creciente que ocurra una vez cada diez años (o una vez en cada veinte épocas de creciente), 19 cosechas de 20 serán protegidas, o sea el 95%. Asimismo, si se da protección contra la "creciente de 20 años", la protección será del 97.5%; de donde se deduce que la protección contra una creciente de frecuencia doble, con un costo que es 50% mayor, sólo produce un beneficio adicional del 2.5%... Si se siguiera este razonamiento, la protección contra la "creciente de 5 años" constituiría una protección del 90%, y el mayor beneficio de la protección de 10 años sobre la de cinco sería teóricamente de sólo el cinco por ciento; sin embargo, conviene considerar qué efecto tendría en la actitud de los agricultores el grado de riesgo: Se considera que la protección de 10 años correspondiente a un riesgo del 5% es lo suficientemente grande para no desalentar a los agricultores, para que la protección de 5 años correspondiente a un riesgo del 10% (una cosecha perdida por cada 10) sí tendría un efecto desalentador. Considerando los varios factores aquí descritos se ha llegado a la conclusión de que el grado aconsejable de protección de las tierras laborables es el que evite los daños de la "creciente de 10 años".

2. En el informe del estudio sobre el Proyecto de Salvajina Volumen I, de la firma Acres International Limited, de febrero de 1965, se lee lo siguiente, en el numeral 5.4 "Grado de Protección contra avenidas". Ya que las inundaciones en el Valle del Cauca solamente afectan las zonas urbanas en una extensión muy limitada y no causan daños de

consideración a la propiedad, la protección de avenidas se debe proveer únicamente para satisfacer los requisitos agrícolas.... Los cultivos más importantes en el Valle son de caña de azúcar, arroz, algodón, maíz, soya, frijoles, plátano, café y vegetales. De éstos, únicamente el arroz puede soportar sumersión prolongada, y ello únicamente antes de su madurez; todos los demás cultivos se dañarían seriamente o sufrirían la destrucción total. Los expertos en agricultura aceptan que en general los agricultores siembran la mayor parte de sus cultivos, si ellos están protegidos contra avenidas de una periodicidad de 10 años. En el caso de cultivos tales como algodón, soya y maíz, que en el Valle dan dos cosechas por año, esto representaría la pérdida de una cosecha en 20, o sea una protección de 95%. Sin embargo, en el caso de caña de azúcar que tiene un período vegetativo de 16 meses, se considera que se necesita un grado mayor de protección, de manera que una inundación ocurra únicamente cada 15 años. De la Tabla D-2, Apéndice D, se ve que la caña de azúcar, en el momento presenta el 39% del valor del rendimiento total anual. Por consiguiente se considera que el grado de control de avenidas necesario debe ser adecuado para proveer una protección de una inundación en 10 años y de ser económicamente posible, una en 15 años. En el caso de inundaciones de los tributarios, cuando el volumen y duración de la avenida es menor que la que produce el río Cauca, se considera que la protección contra una creciente en 10 años, es adecuada para cualquier cultivo. Esto es especialmente cierto si se tiene

en cuenta que los trabajos de protección estarán distribuidos en todo el Valle y son por tanto más susceptibles de variaciones individuales".

3. En el reporte de estudio de Factibilidad del Proyecto de Regulación del Río Cauca, elaborado por EPDC del Japón, en marzo de 1970, no se analiza en particular el grado de protección, pero a lo largo del estudio se trabaja con un período de retorno de una vez cada 10 años, basándose en consideraciones hechas en estudios anteriores.

4. El Informe CVC 72-10 Proyecto de Regulación del Río Cauca, en el numeral I-5 se refiere al grado de protección contra inundaciones en los siguientes términos: "Grado óptimo de protección contra inundaciones. Quizás un procedimiento racional de determinar el grado óptimo de protección contra inundaciones sería el de definir obras, costos y beneficios de distintos grados de protección, para encontrar el punto óptimo. Un método de determinar tal punto podría ser el de hallar las relaciones de beneficio/costo de los varios grados de protección estudiados y dibujarlos en una gráfica en la que las ordenadas serían relaciones B/C y las abscisas fueran grados de protección (frecuencias de inundación). Dicha gráfica permitiría determinar el punto óptimo de protección.

Sin embargo, las variaciones relativamente frecuentes en costo de construcción y precios de productos agrícolas podrían hacer perder confianza en el método, o su repetición en cada oportunidad haría tan tediosa la

labor que acabaría por restarle mérito. De otra parte la decisión del agricultor, en cuanto a grado deseable de protección, depende de factores tales como su disponibilidad de recursos financieros, y su determinación de correr riesgos en cuanto a la próxima ocurrencia de una crecida de frecuencia más severa que aquella contra la cual sus recursos financieros le permiten protegerse adecuadamente en una determinada época".

El informe presenta un razonamiento similar al presentado en el Informe "Desarrollo Coordinado de Energía y Recursos Hidráulicos en el Valle del río Cauca, ya mencionado, y concluye el enfoque así:

"el grado de protección deseable para tierras agrícolas en la zona inundable por el río Cauca es contra crecidas de frecuencias de una vez en 10 años".

5. Internamente la CVC ha desarrollado algunos estudios, para tratar de establecer numéricamente, en base a la relación beneficio/costo, el grado óptimo de protección contra inundaciones. Es así como en julio de 1973 la CVC y la Universidad del Valle realizaron un estudio de evaluación del proyecto de Regulación del Río Cauca mediante un modelo de simulación. Sin embargo el análisis no puede tomarse como una evaluación concluyente por las limitaciones en la información, tanto de costos como de beneficios. Lo mismo puede decirse del estudio realizado por el ingeniero Jorge H. Llanos en junio de 1975, denominado "Pro-

yecto de Regulación del Río Cauca - Grado Recomendable de Protección contra Inundaciones", del cual, sinembargo, se pueden destacar las siguientes relaciones de Beneficio/Costo para distintos períodos de retorno:

<u>Período de retorno (años)</u>	<u>Relación Beneficio/Costo para proyecto exclusivo de control de inundac.</u>	<u>Relación Beneficio/Costo para proyecto total</u>
5	1.19	1.28
7	1.29	1.35
10	1.35	1.39
15	1.42	1.45
20	1.31	1.36
30	1.29	1.33

Estos valores finales sirvieron de base para que el ingeniero Llanos llegara a las siguientes conclusiones: "1) Del análisis precedente resultaría que el grado óptimo de protección contra inundaciones, atendiendo tanto a beneficios netos como a relación beneficio/costo, sería para el período de retorno de 15 años. 2) La construcción de las obras del tal proyecto, podría satisfacerse si no hubiera limitación de recursos de capital. Pero existiendo esas restricciones, como en efecto las hay, la CVC ha resuelto implementar el proyecto de protección contra inundaciones de 10 años de período de retorno. 3) La ubicación de las obras de la planicie inundable se hace de modo tal que no sufra variación al mejorar el grado de protección, y tal grado de protección se dá sólo con mag-

nitud de canales y altura de diques, se puede empezar con el proyecto de protección contra crecidas de 10 años de recurrencia y, a medida que los agricultores, mediante el beneficio de ese proyecto vayan mejorando su capacidad de endeudamiento, podrán gradualmente mejorar el grado de protección. Por consiguiente, atendiendo a las anteriores consideraciones es recomendable, en el momento actual, implementar el proyecto de protección contra inundaciones de 10 años de período de retorno".

Además, en el estudio referido se presentan apartes ilustrativos de la obra en inglés intitulada: "Water Resources Development; the economic of project evaluation", de Otto Eckstein, publicación de 1961 de la Harvard University Press, en la que se expresa: "No existe ningún procedimiento para definir la crecida de diseño de un proyecto y por consiguiente, para escoger el grado de protección. Unas normas del Manual de Ingeniería para obras civiles dadas a conocer en 1952 establecen que éste puede superar o resultar pequeño respecto de la crecida standard proyectada, dependiendo ello mucho de factores económicos y de otras consideraciones prácticas que determinan la selección de la capacidad proyectada en un caso concreto. Los beneficios intangibles, producto de medidas de alto grado de seguridad, tomadas contra inundaciones de magnitud catastrófica que incluyen la protección de vidas humanas, se deben tener en cuenta además de los beneficios tangibles que pueden estimarse en términos monetarios. Con todo, la inundación standard pro

yectada debe desempeñar un papel dentro del proyecto. Si se prescriben unas normas físicas uniformes para su cálculo, la protección contra ellas tendría que proporcionar un grado uniforme de protección en todas partes, definido conforme a la frecuencia de las inundaciones que deban ser controladas. Se le considera una forma de comparación para la protección efectiva que se proporciona, y debiera servir para promover "una política más firme".

También, en el estudio de J. Llanos se hace referencia al Memorandum del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, de 1954, el cual se expresa en los siguientes términos: "... el grado de protección tiene que ser una cuestión de criterio a determinar con base en los costos, los beneficios y la naturaleza de la amenaza", etc., decidiéndose por un grado bajo de protección, allí donde son relativamente pocas las propiedades y donde es relativamente pequeño el peligro que hay para las vidas humanas".

La parte final del Memorandum del Cuerpo de Ingenieros dice: "La orientación que se proporciona es, pues, muy incompleta, y siguen un tanto oscuros los principios en que descansa la política federal para el control de inundaciones. Sin embargo, parecen perfilarse dos líneas de pensamiento a través de las diversas instrucciones. La primera dá a entender que los proyectos deben reducir los daños que se espera ocurran; éste es un objetivo que está reflejado en el cálculo de los beneficios y costos y que sugiere que se reduzca el grado de protección a aquel punto

en el cual los beneficios adicionales igualan a los costos adicionales. La segunda sugiere que los proyectos deben reducir la amenaza de las inundaciones de tal forma que queden eliminadas las inundaciones que están por debajo de una determinada frecuencia. Este principio está estrechamente relacionado con la cuestión de los seguros; las inundaciones, lo mismo que otros riesgos contra los cuales el gobierno federal proporciona alguna protección, tales como el desempleo o la falta de ingresos en edad avanzada, constituyen un problema de responsabilidad pública, por lo cual se deben tomar medidas para reducir el riesgo, tanto por lo que se refiere a las vidas humanas como a los bienes que están en juego.....".

El informe CVC de J. Llanos termina con estas palabras: "lo transcrito en las líneas precedentes parece reforzar la decisión de protegerse contra las crecidas de 10 años de período de retorno del río Cauca, en el momento actual, grado que podrá mejorarse en el futuro a medida que las circunstancias lo indiquen apropiado".

II - PROYECTO ACTUAL

A. Grado de Protección.

Con base en las consideraciones anotadas en el Capítulo I, la CVC decidió adelantar el proyecto definitivo de Regulación del Río Cauca para un grado de protección básico de 10 años. El diseño implicó entonces la determinación y manejo de la hidrología de tal manera que la combinación de presa-diques controlara adecuadamente una creciente de 10 años en la planicie inundable.

Como medida conservativa, en la determinación de perfiles líquidos del río Cauca para dicha frecuencia, no se tuvo en cuenta el almacenaje adicional que se obtiene en las madrevejas (cauces abandonados) y en las lagunas marginales del río Cauca, especialmente las de Sonso y Buirrigá; igualmente se consideró una sobre-elevación de los diques (borde libre) de 1.0 metro por encima del perfil líquido. Con tal base se calcularon los perfiles de agua y de corona de los diques que se muestran en el Cuadro No. 1, conjuntamente con los caudales correspondientes.

B. Protección adicional.

Un canal de sección compuesta, al sobrepasar el nivel del agua la sección principal, incrementa considerablemente su área de flujo de tal manera que un pequeño incremento del nivel permite el flujo de mayores caudales. El río Cauca, cuando esté canalizado entre diques

Cuadro No. 1.

Caudales y niveles regulados en el río Cauca

Tr = 10 años

Estación	Caudal m ³ /s. 1/	Nivel de agua (m.s.m.) 2/	Nivel de corona del dique (m.s.m.)	Borde libre m.	Dist. de Salvajina kms.
La Balsa	610	989.79	990.79	1.0	27 + 000
Hormiguero	732	960.07	961.07	1.0	100 + 510
Juanchito	760	954.24	955.24	1.0	124 + 950
Mediacanoa	967	940.20	941.20	1.0	201 + 120
Riofrío	1.084	929.83	930.83	1.0	260 + 770
Guayabal	1.179	918.29	919.29	1.0	326 + 600
La Victoria	1.200	915.33	916.33	1.0	349 + 720
Anacaro	1.272	908.72	909.72	1.0	395 + 270
La Virginia	1.854	903.86	904.86	1.0	421 + 390

Notas: 1/ Valores tomados del cuadro 7-1 del Informe Técnico "Proyecto de Regulación del río Cauca" INGETEC-INESCO - enero de 1975.

2/ Valores obtenidos con las curvas de calibración actuales - Revisión de 1976.

de acuerdo al proyecto, tendrá una sección de esa forma y precisamente en épocas de crecientes, el canal funcionará en tales condiciones hidráulicas. Este hecho, aunque advertido, no fué tenido en cuenta en el diseño básico, introduciendo así un coeficiente adicional de seguridad en el mismo.

Si se considera ahora el flujo adicional que permiten las bermas pero no en toda su capacidad teórica sino en un 50% de ellas, dejando el otro 50% para almacenaje de acuerdo a recomendaciones prácticas y a observaciones que en tal sentido se ha hecho en zonas protegidas con diques, se tendrá un incremento de la sección hidráulica sin que ello represente aumento de nivel. Los caudales que de acuerdo a la anterior consideración se han tenido en cuenta como conducción en las bermas son los siguientes:

Tramo La Balsa-Juanchito	40 m ³ /s.
Tramo Juanchito-Anacaro	60 m ³ /s.
Tramo Anacaro-La Virginia	30 m ³ /s.

Para este último tramo se tuvo en cuenta berma en una sola margen por limitaciones morfológicas del río en esta zona.

Si aparte de lo anterior se considera que el nivel del agua puede subir 50 cms. con relación al nivel proyectado, es decir que en vez de usar 1 metro de borde libre de acuerdo a lo especificado se usan solo 50 cms. y se incorpora además la regulación que permiten las lagunas marginales

de Sonso y Burrigá, se obtiene en resumen un incremento apreciable de la capacidad efectiva de conducción a todo lo largo del río Cauca que permite manejar crecientes de mayor magnitud que la considerada. Se hace hincapié en el hecho de que un borde libre de 50 cms. ofrece suficientes garantías a las tierras protegidas ya que si se tiene en cuenta que la razón principal de adoptar un borde libre es la de absorber fluctuaciones de nivel que pueden producirse por oleaje, este no sobrepasa los 20 cms. como puede verse en el Dibujo No. 1 indicativo de las oscilaciones del nivel del agua en el sitio de La Balsa, el cual se considera crítico ya que el río en tal lugar es mucho más turbulento que en el valle pues está ubicado en una zona de transición de características torrenciales a río de planicie donde el discurrir de las aguas es más lento y por tanto menos turbulento.

En consecuencia en el presente estudio se trata de determinar la protección adicional o el incremento en la protección, ~~al considerar los factores anotados anteriormente.~~ Para ello se generaron las hidrógrafas en las distintas estaciones del río Cauca, incluyendo Salvajina, para 15 y 20 años de período de retorno, siguiendo los mismos principios y procedimientos que se tuvieron en cuenta en el diseño de 10 años. Con la hidrología así calculada y manteniendo las dimensiones de la presa, de los diques y de todas las demás estructuras contempladas en el proyecto, se transitaron las crecientes anotadas por el embalse proyectado en Sal-

CVC - SECCION DE HIDROLOGIA

Altura de mira en metros

3.70
3.60
3.50
3.40
3.30
3.20
3.10
3.00
2.90
2.80
2.70

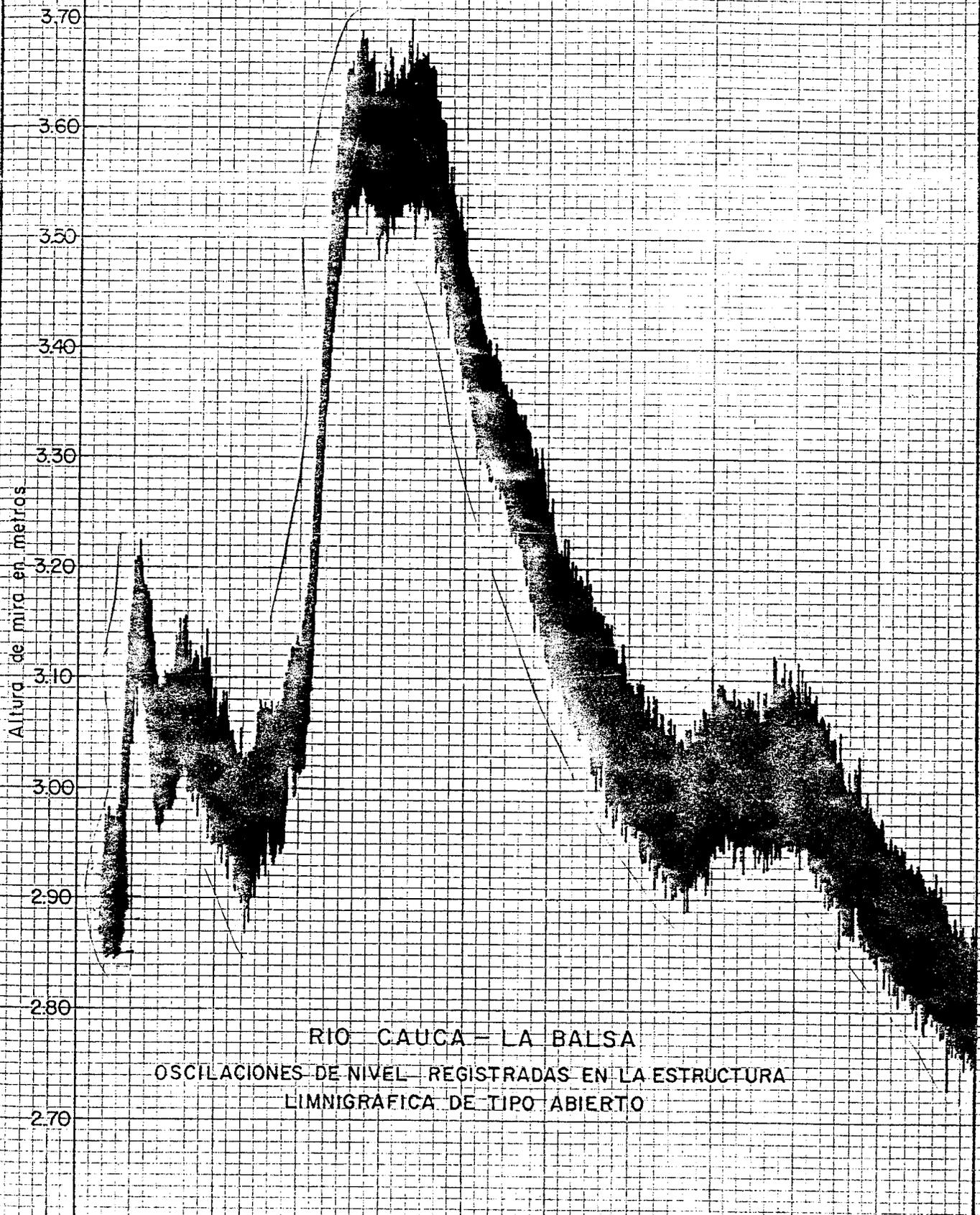
RIO CAUCA - LA BALSA
OSCILACIONES DE NIVEL REGISTRADAS EN LA ESTRUCTURA
LIMNIGRAFICA DE TIPO ABIERTO

Nov. 30 Dic. 1 2 3 4 5

Tiempo en dias

1973

DIB. No. 1



vajina, dando como resultado las hidrógrafas reguladas que se muestran en el Anexo hidrológico (Gráficos A-1 a A-9).

El análisis anotado se hizo para dos casos, a saber:

1. Con reducción del borde libre a 50 cms. solamente.
2. Con reducción del borde libre a 50 cms. y embalse marginal con las lagunas de Sonso y Burringá.

Caso 1.

La reducción del borde libre de 1 metro a 50 cms. o, lo que es lo mismo, el incremento en 50 cms. del nivel de agua con relación al proyectado, da como resultado una mayor área hidráulica que, de acuerdo a la curva de calibración de la sección de control en Juanchito, se traduce en un aumento de la capacidad de conducción de 130 m³/s. Si a este valor se le adiciona el flujo lateral que permite la mitad de las bermas con un tirante igual solamente al nivel incrementado, se obtiene un flujo total adicional de 170 m³/s., para una nueva capacidad en Juanchito de 930 m³/s. Este valor representa, según el Cuadro No. 2, un aporte de los tributarios, aguas abajo de Salvajina, equivalente a un período de retorno aproximado de 40 años.

Cuadro No. 2

Caudal aportado por la cuenca, aguas abajo de Salvajina.

<u>Período de retorno (años)</u>	<u>Caudal probable en Juanchito (m³/s.)</u>
10	720
20	830
30	880
40	910
50	950

Sin embargo, el manejo de dicho caudal en Juanchito, no representa la protección para el período de retorno indicado porque la limitación del embalse de Salvajina, calculado para una frecuencia de 10 años, hace que se presenten excesos para una frecuencia superior a aquella, lo que trae como consecuencia la ocurrencia en el valle de crecientes formadas por los aportes combinados de Salvajina y de los tributarios.

No obstante lo anterior, la mayor capacidad en Juanchito permite una nueva operación del embalse de Salvajina que a la vez facilita el manejo de una creciente superior a la de diseño. En el Gráfico No. A-3 del Anexo hidrológico se muestran las hidrógrafas reguladas de 15 y 20 años en Juanchito de acuerdo a la nueva capacidad.

De ellos se deduce que la creciente de 15 años es manejada adecuadamente por el embalse proyectado (620 Mm³, útil) con la sola adición de 50 cms. en el nivel hidráulico del río en la estación considerada y la incorporación de un pequeño flujo adicional sobre las bermas del canal. Por su parte la creciente de 20 años copa el embalse en el período de recesión de la hidrógrafa produciendo en Juanchito un caudal de pico de 1.065 m³/s., superior al permisible. En los gráficos citados del Anexo hidrológico se muestran los hidrogramas de 15 y 20 años en las diferentes estaciones de control sobre el río Cauca, regulados por el embalse de Salvajina de acuerdo a la restricción impuesta en Juanchito.

En el Cuadro No. 3, se indican los caudales de pico resultantes de la regulación y sus niveles correspondientes; también, como base de comparación, se indican los valores correspondientes a la frecuencia de diseño (10 años). Los Gráficos 1 a 11 representan los perfiles de agua y de diques para las condiciones consideradas.

Caso 2.

Como se anotó, el Caso 1 contempla solamente el efecto que se logra al aumentar el área de flujo en una altura de 50 cms. a todo lo largo del río Cauca y considerar, además, el flujo que se presenta sobre las bermas del río canalizado. El presente caso incluye, en adición al anterior, la regulación en las lagunas de Sonso y Burrigá, ubicadas

Cuadro No. 3.

Caudales y niveles regulados en el río Cauca para 10, 15 y 20 años de período de retorno.

Estación	Tr 10 años (valores de diseño)			Tr 15 años			Tr 20 años		
	Caudal m ³ /s.	Nivel m. s. m.	Nivel de corona de dique m. s. m.	Caudal m ³ /s.	Nivel m. s. m.	Borde libre m.	Caudal m ³ /s.	Nivel m. s. m.	Borde libre m.
La Balsa	610	989.79	990.79	750	990.25	+ 0.54	850	990.65	+ 0.14
Hormiguero	732	960.07	961.07	885	960.60	+ 0.47	970	961.10	- 0.03
Juanchito	760	954.24	955.24	930	954.73	+ 0.51	1.065	955.17	+ 0.07
Mediacanoa	967	940.20	941.20	1.160	940.70	+ 0.50	1.250	941.00	+ 0.20
Riofrío	1.084	929.83	930.83	1.230	930.15	+ 0.68	1.370	930.75	+ 0.08
Guayabal	1.179	918.29	919.29	1.370	918.77	+ 0.52	1.415	919.17	+ 0.12
La Victoria	1.200	915.33	916.33	1.445	916.11	+ 0.22	1.480	916.31	+ 0.02
Anacaro	1.272	908.72	909.72	1.510	909.58	+ 0.14	1.535	909.68	+ 0.04
La Virginia	1.854	903.86	904.86	2.015	904.32	+ 0.54	2.090	904.52	+ 0.34

Notas: 1. La reducción del borde libre en 50% y la inclusión del incremento de área de flujo por la mayor capacidad dada por las bermas del río canalizado, permiten un incremento de caudal en la estación de control (Juanchito) de 170 m³/s., con relación al caudal de diseño para Tr = 10 años.

2. Los valores de caudales y niveles indicados, son respuestas del manejo de una creciente de 15 y 20 años de período de retorno en el río Cauca, partiendo de la base de la crecien te en Salvajina para los mismos eventos.

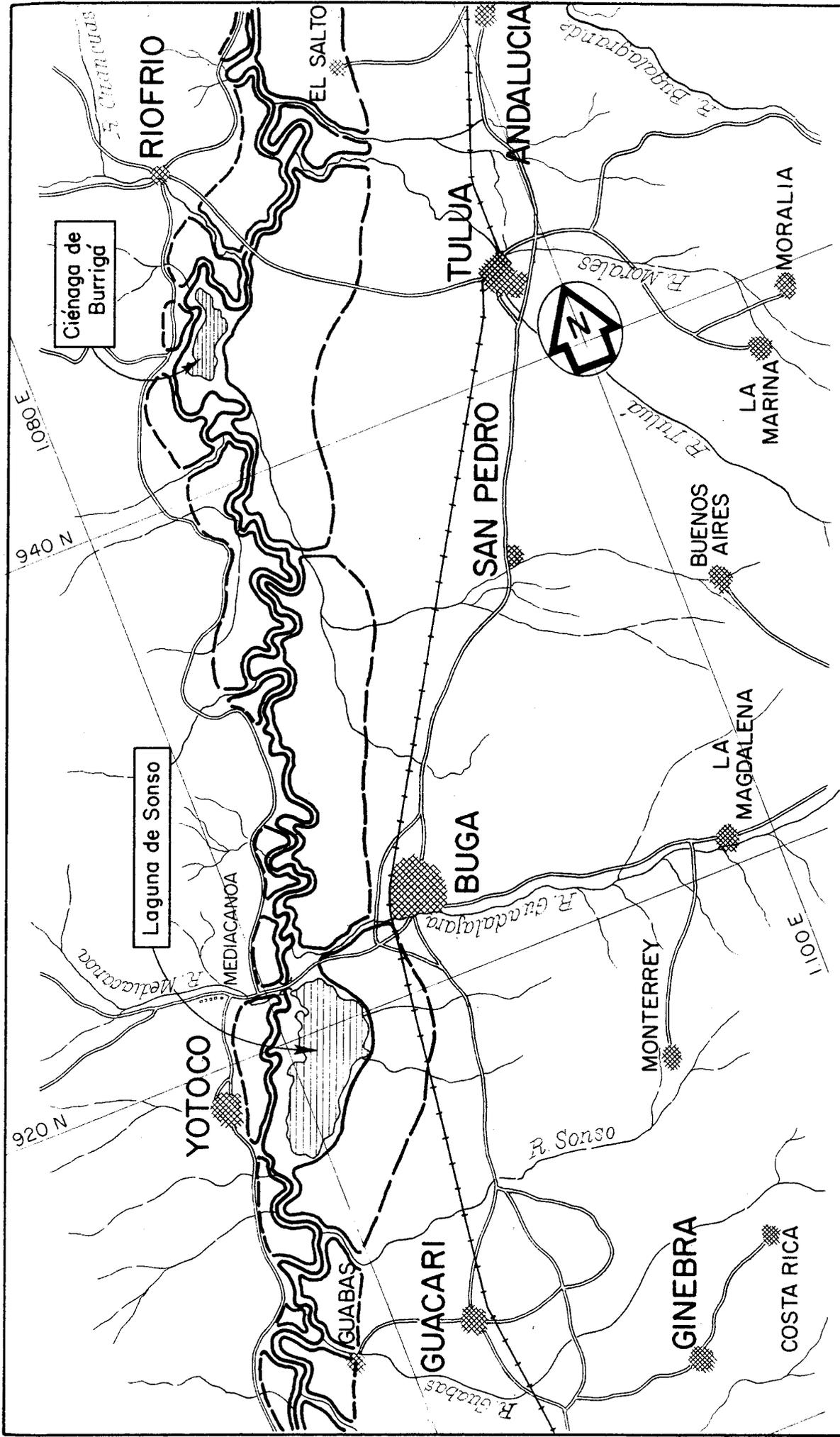
inmediatamente antes de las estaciones hidrológicas de Mediacanoa y Riofrío respectivamente, tal como se muestra en el Dibujo No. 2.

Por tanto, los cambios que se logran en este caso se presentan aguas abajo de Mediacanoa, permaneciendo invariables los valores encontrados para las estaciones de La Balsa, Hormiguero y Juanchito.

Las lagunas referidas, por su ubicación contigua al río Cauca, margen derecha, son vasos naturales que utiliza el río para almacenar caudales de creciente. La adaptación de su comunicación con el río, por medio de obras de ingeniería apropiadas, permite usarlas optimamente para amortiguar el pico de una creciente. En el Gráfico No. 12 se muestran las capacidades de embalse y el área ocupada en cada sitio.

Las características de las dos lagunas son distintas; mientras en Sonso se mantiene una masa de agua permanente que desde el punto de vista ecológico es importante, puesto que en ella existe desarrollo y aprovechamiento piscícola, además de ser sitio de descanso de aves migratorias y habitat de especies autóctonas, la laguna de Burrigá en épocas de verano disminuye su nivel hasta el punto de que el área ocupada por la laguna se convierte en zona pantanosa indicativa de una desocupación casi total del vaso disponible para almacenaje.

En el Informe de Factibilidad del Proyecto de Regulación del Río Cauca presentado por EPDC del Japón en marzo de 1970, se determina una



Dibujo No.2 - ZONA DE ALIVIO LAGUNA DE SONSO Y CIENAGA BURRIGA
 LOCALIZACION GEOGRAFICA

capacidad máxima de almacenaje de 35 Mm³ para la laguna de Sonso y de 15 Mm³ para Burrigá, reduciendo estos valores a 16.3 Mm³ y 4.9 Mm³ respectivamente, por razones de protección ecológica en Sonso y relación con niveles del río Cauca en Burrigá. En el caso presente, después de comprobadas las disponibilidades de almacenaje, se decidió, conservativamente, mantener el embalse útil propuesto por EPDC para la laguna de Sonso y modificar el almacenaje de Burrigá hasta una capacidad máxima de 8.7 Mm³ a fin de adaptarlo a los niveles del proyecto actual, lógicamente teniendo en cuenta las limitaciones que imponen los niveles de los diques que se construirán marginalmente a las lagunas.

Con esta base se determinaron las hidrógrafas reguladas por tales embalses marginales para las estaciones de Mediacanoa y Riofrío para las frecuencias de 15 y 20 años. Los resultados que se muestran en el Gráfico No. 13 pueden resumirse en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 4

Caudal de pico regulable en los embalses marginales (m³/s.)

<u>Período de retorno (años)</u>	<u>Laguna de Sonso</u>	<u>Ciénaga de Burrigá</u>
15	80	35
20	95	140

Esta regulación de picos de creciente se refleja en las estaciones del río Cauca ubicadas aguas abajo de Mediacanoa, dando como resultado los caudales máximos y los niveles indicados en el Cuadro No. 5 y unas hidrógrafas deformadas como se representan en los Gráficos A-4 a A-9 del Anexo hidrológico.

C. Conclusiones.

Del análisis expuesto anteriormente se pueden sacar las siguientes conclusiones:

1. Un borde libre de 50 cms. (en lugar de 1 metro considerado en el proyecto) ofrece suficientes garantías a las tierras protegidas por las siguientes razones:
 - a) La ausencia de oleaje fuerte aún en períodos de borrascas y vientos.
 - b) La ausencia de navegación por el río.
 - c) Las características del material disponible en las zonas de préstamo para construcción de los diques que por lo general aseguran buena compactación e impermeabilidad.
 - d) Las sobre alturas previstas para asentamientos.
 - e) La costumbre generalizada en la región y recomendada por CVC de usar como recubrimiento una clase de pasto que además de proteger el dique contra la erosión, su sistema radicular proporciona estabilidad adicional. Esta circunstancia

permite mostrar varios ejemplos de diques que han trabajado como rebosaderos sin que se hubieran presentado agrietamientos ni deformaciones apreciables en su corona.

2. El solo incremento en 50 cms. del nivel permisible para flujo, indica (Cuadro No. 3 y gráficos correspondientes) que se mantiene para la creciente de 15 años un borde libre de 50 cms. hasta la estación Guayabal, siendo necesario el realce de los diques en 30 cms. en promedio, con un máximo de 36 cms. entre la citada estación y La Virginia.
3. Si al incremento del nivel de flujo anotado en el punto anterior se le adiciona la regulación en las lagunas de Sonso y Burrigá, se obtiene (Cuadro No. 5) un borde libre de 50 cms. o superior a todo lo largo del río Cauca, con excepción de los sitios de Hormiguero y La Victoria donde se encuentra un valor de 47 cms. cuya diferencia con el borde libre permitido es despreciable.
4. Para manejar la creciente de 20 años manteniendo un borde libre de 50 cms., es necesario elevar el nivel proyectado de los diques desde cero en la estación de Riofrío, hasta un máximo de 53 cms. en Hormiguero, además de utilizar apropiadamente los embalses de Sonso y Burrigá (Cuadro No. 5).

5. El aporte de los tributarios aguas abajo de Salvajina, supuesto el caso de no concurrencia con crecientes del río Cauca antes de tal sitio, es manejado adecuadamente por los diques, aún para crecientes superiores a 20 años.

Cuadro No. 5.

Caudales y niveles regulados en el río Cauca para 10, 15 y 20 años de período de retorno.

Estación	Tr 10 años (valores de diseño)				Tr 15 años			Tr 20 años		
	Caudal	Nivel	Nivel de corona de dique	Caudal	Nivel	Borde libre	Caudal	Nivel	Borde libre	
	m ³ /s.	m.s.m.	m.s.m.	m ³ /s.	m.s.m.	m.	m ³ /s.	m.s.m.	m.	
La Balsa	610	989.79	990.79	750	990.25	+ 0.54	850	990.65	+ 0.14	
Hormiguero	732	960.07	961.07	885	960.60	+ 0.47	970	961.10	- 0.03	
Juanchito	760	954.24	955.24	930	954.73	+ 0.51	1.065	955.17	+ 0.07	
Mediacanoa	967	940.20	941.20	1.080	940.40	+ 0.80	1.155	940.70	+ 0.50	
Riofrío	1.084	929.83	930.83	1.145	929.85	+ 0.98	1.230	930.15	+ 0.68	
Guayabal	1.179	918.29	919.29	1.300	918.57	+ 0.72	1.395	918.87	+ 0.42	
La Victoria	1.200	915.33	916.33	1.375	915.66	+ 0.47	1.455	916.21	+ 0.12	
Anacaro	1.272	908.72	909.72	1.445	909.18	+ 0.54	1.515	909.48	+ 0.24	
La Virginia	1.854	903.86	904.86	2.005	904.22	+ 0.64	2.070	904.42	+ 0.44	

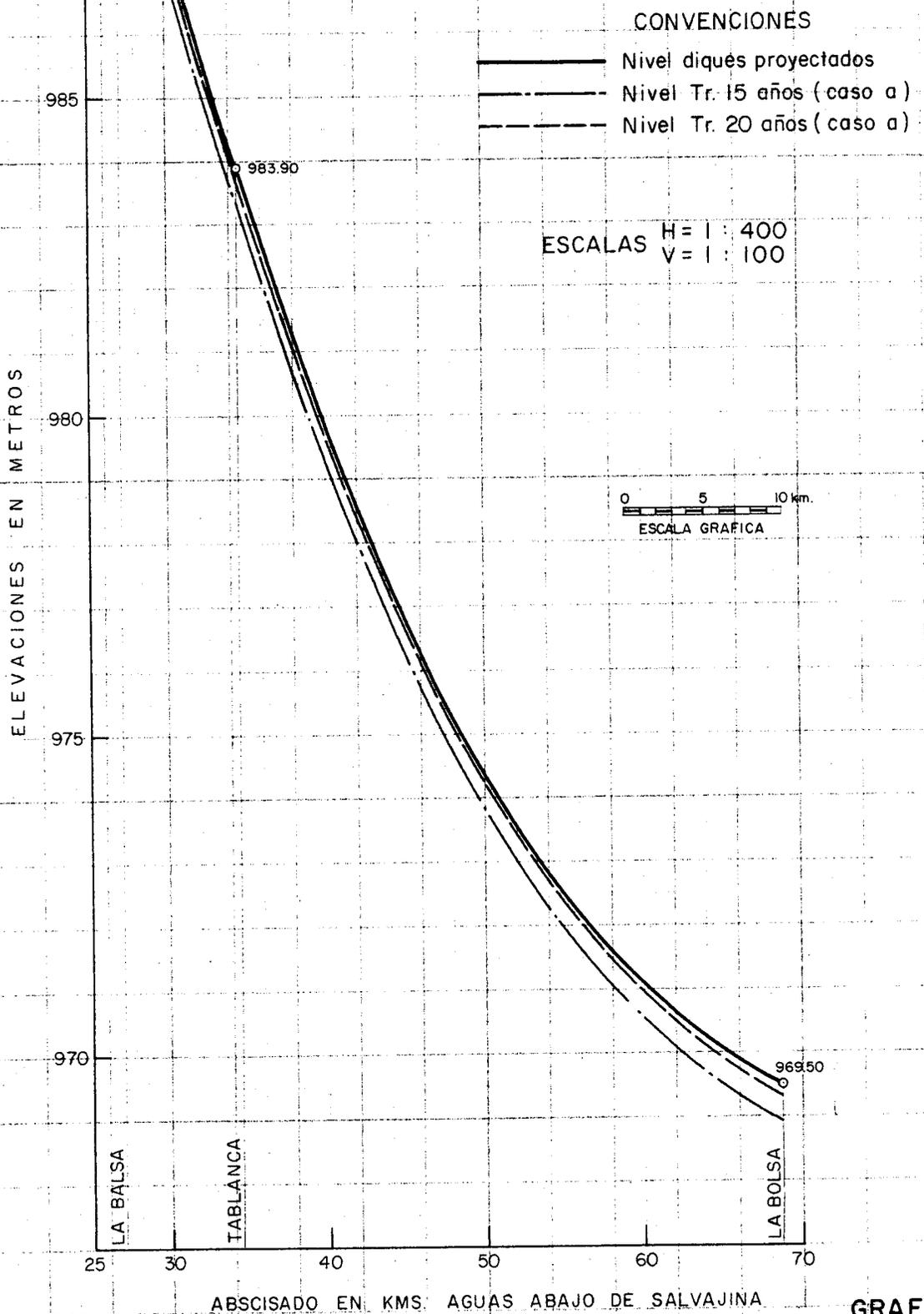
Notas: 1. Los caudales y niveles para el período de retorno de 10 años son los del diseño básico y sólo están regulados por Salvajina.

2. La reducción del borde libre en 50% y la inclusión del incremento de área de flujo por la mayor capacidad dada por las bermas del río canalizado, permiten un incremento de caudal en la estación de control (Juanchito) de 170 m³/s., con relación al caudal de diseño para Tr = 10 años.

3. Los valores de caudales y niveles indicados, son respuestas del manejo de una creciente de 15 y 20 años de período de retorno en el río Cauca, partiendo de la base de la creciente en Salvajina para los mismos eventos, con la regulación adicional de las lagunas de Sonso y Burrigá.

RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM. EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS.
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.

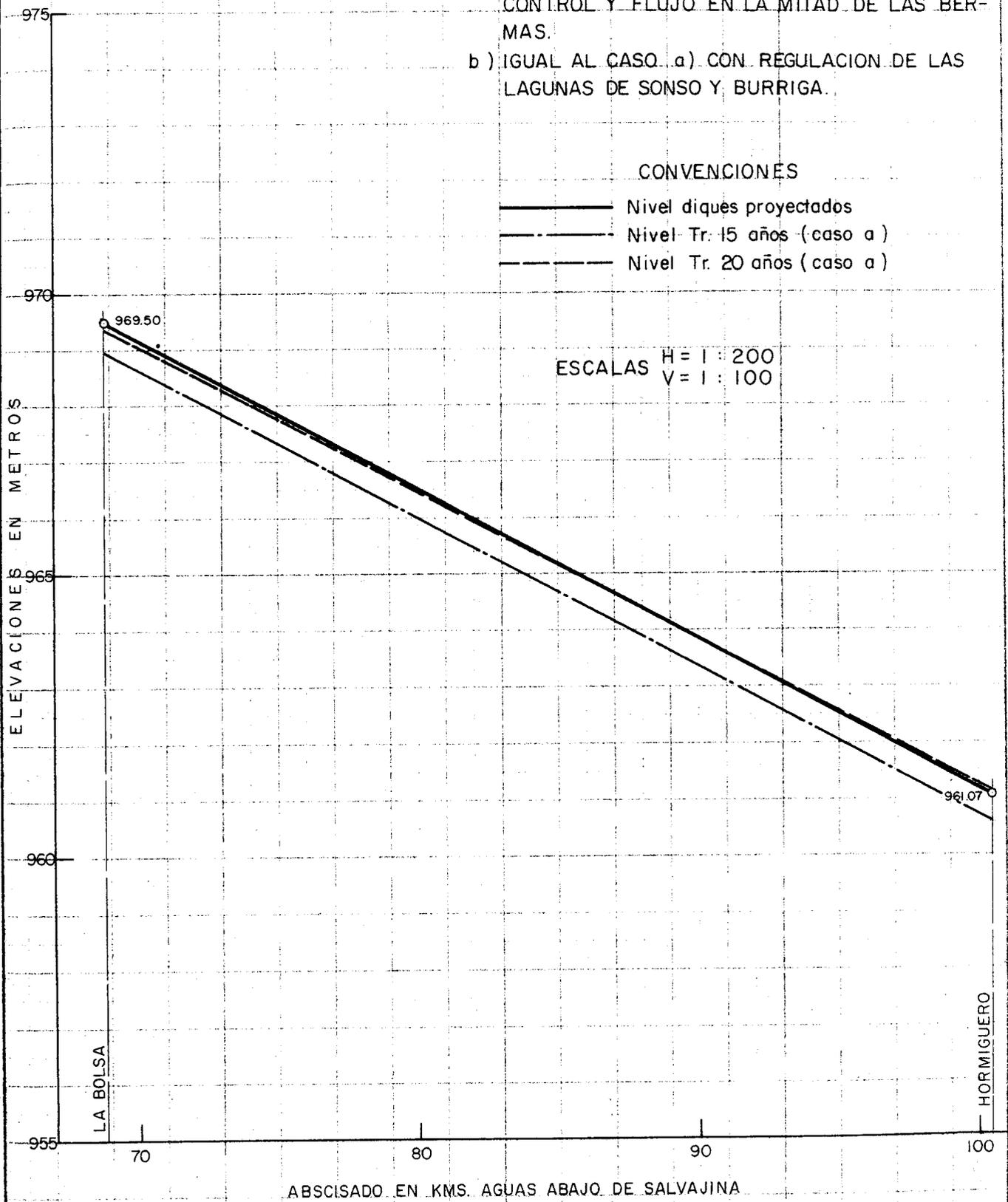


ABSCISADO EN KMS. AGUAS ABAJO DE SALVAJINA

GRAFICO No. 1

RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM. EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS.
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.



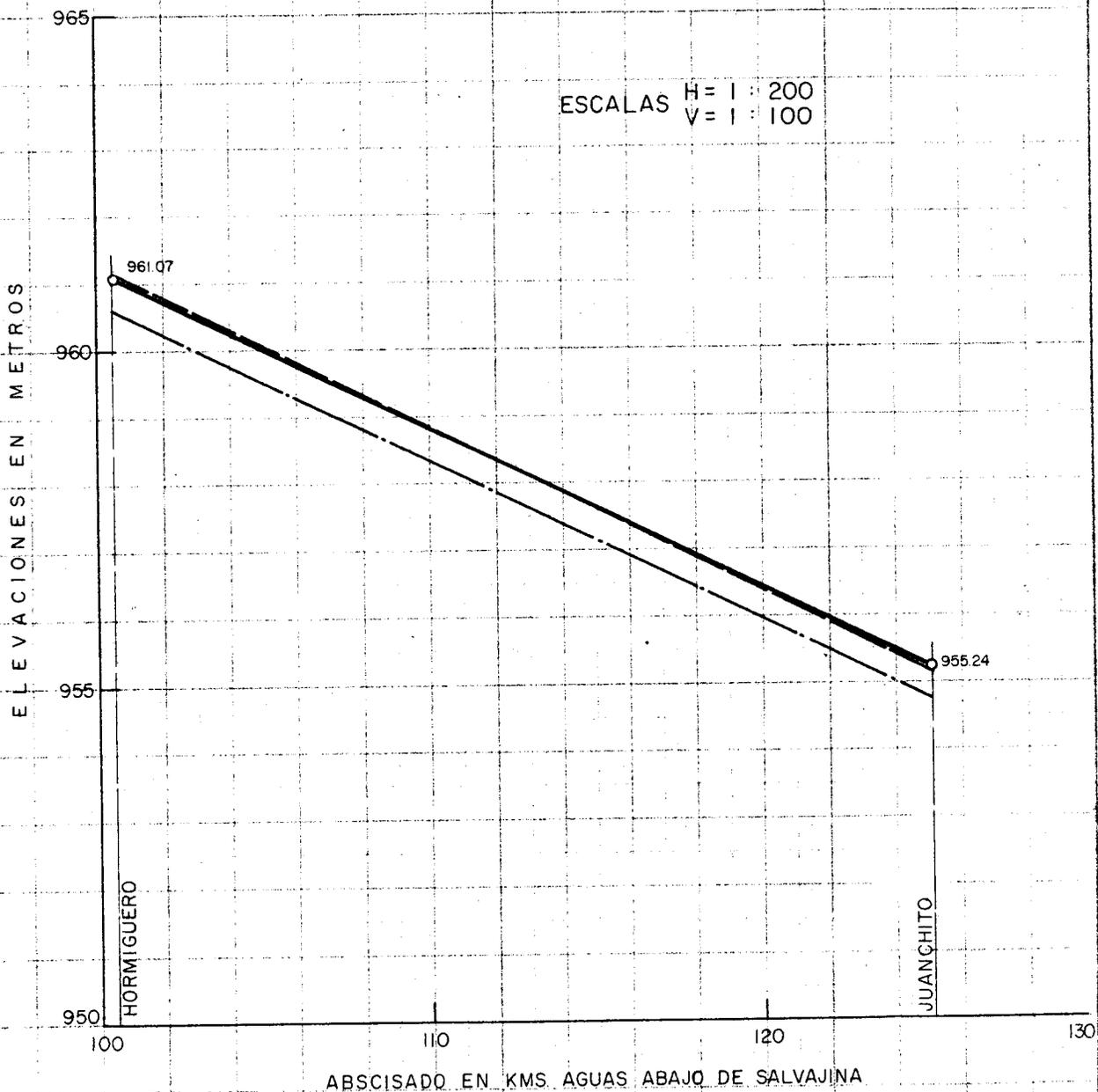
RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM. EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.

CONVENCIONES

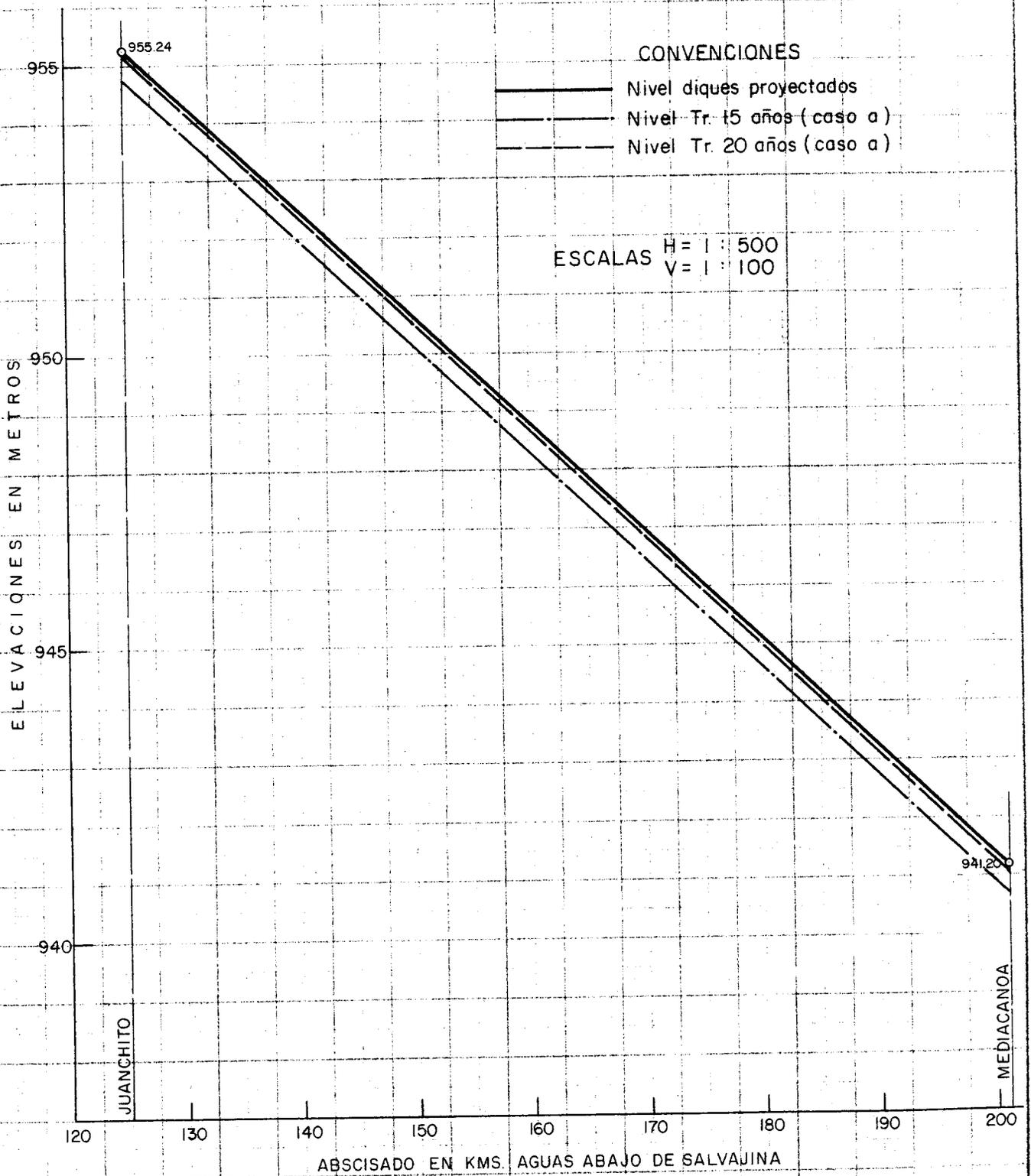
- Nivel diques proyectados
- - - Nivel Tr. 15 años (caso a)
- · - Nivel Tr. 20 años (caso a)

ESCALAS H = 1 : 200
V = 1 : 100



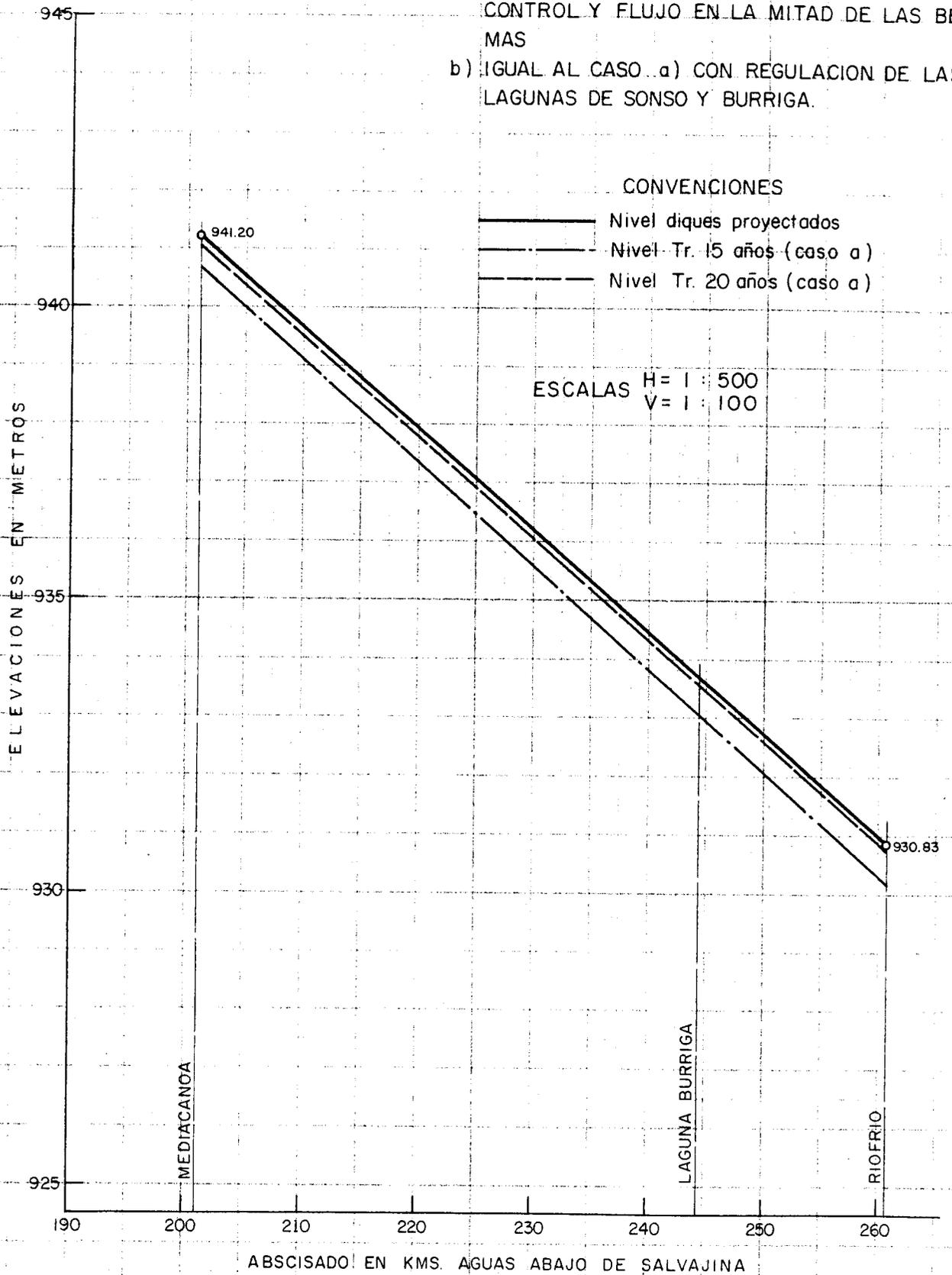
RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM. EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.



RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.



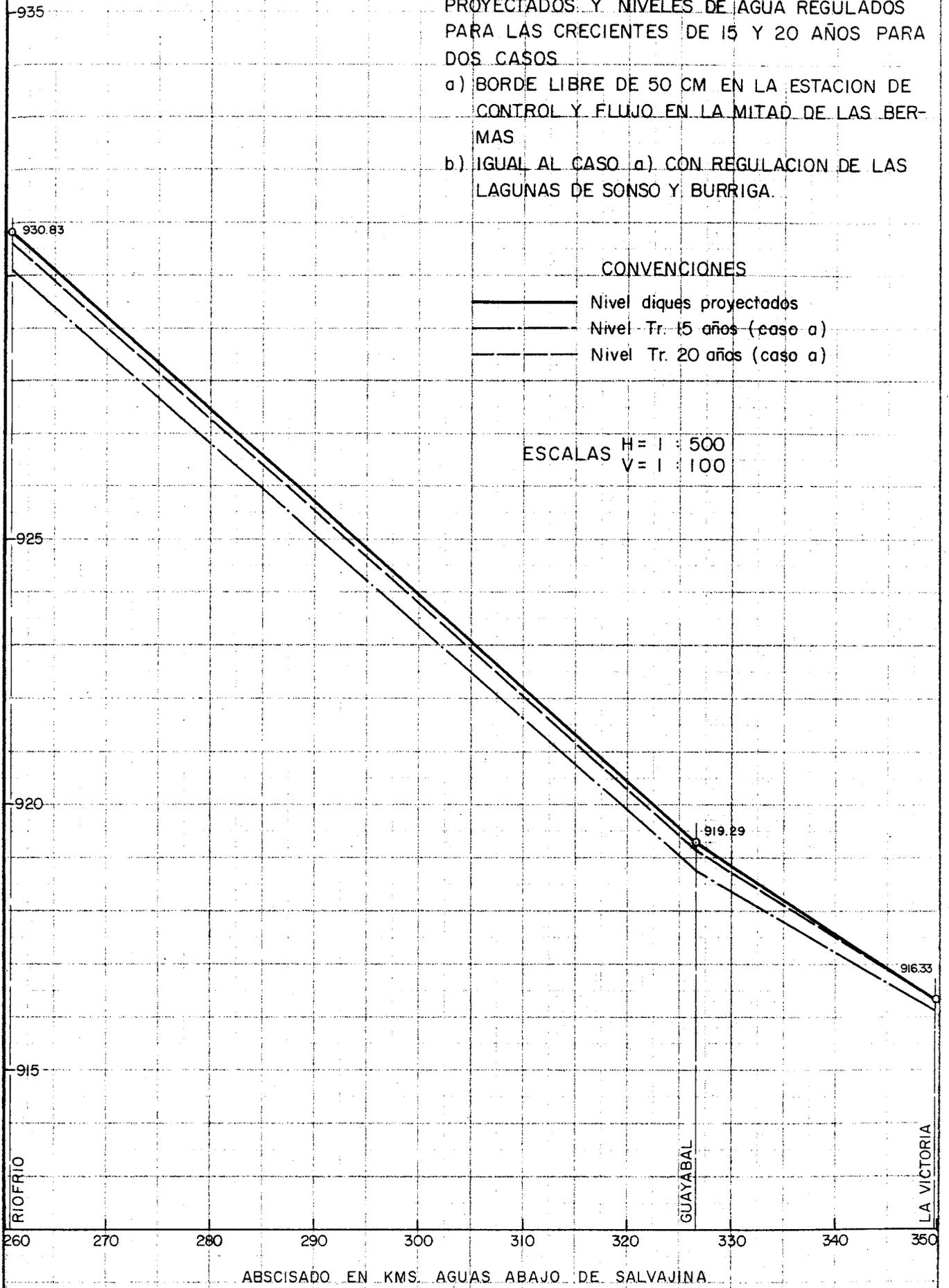
RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.

CONVENCIONES

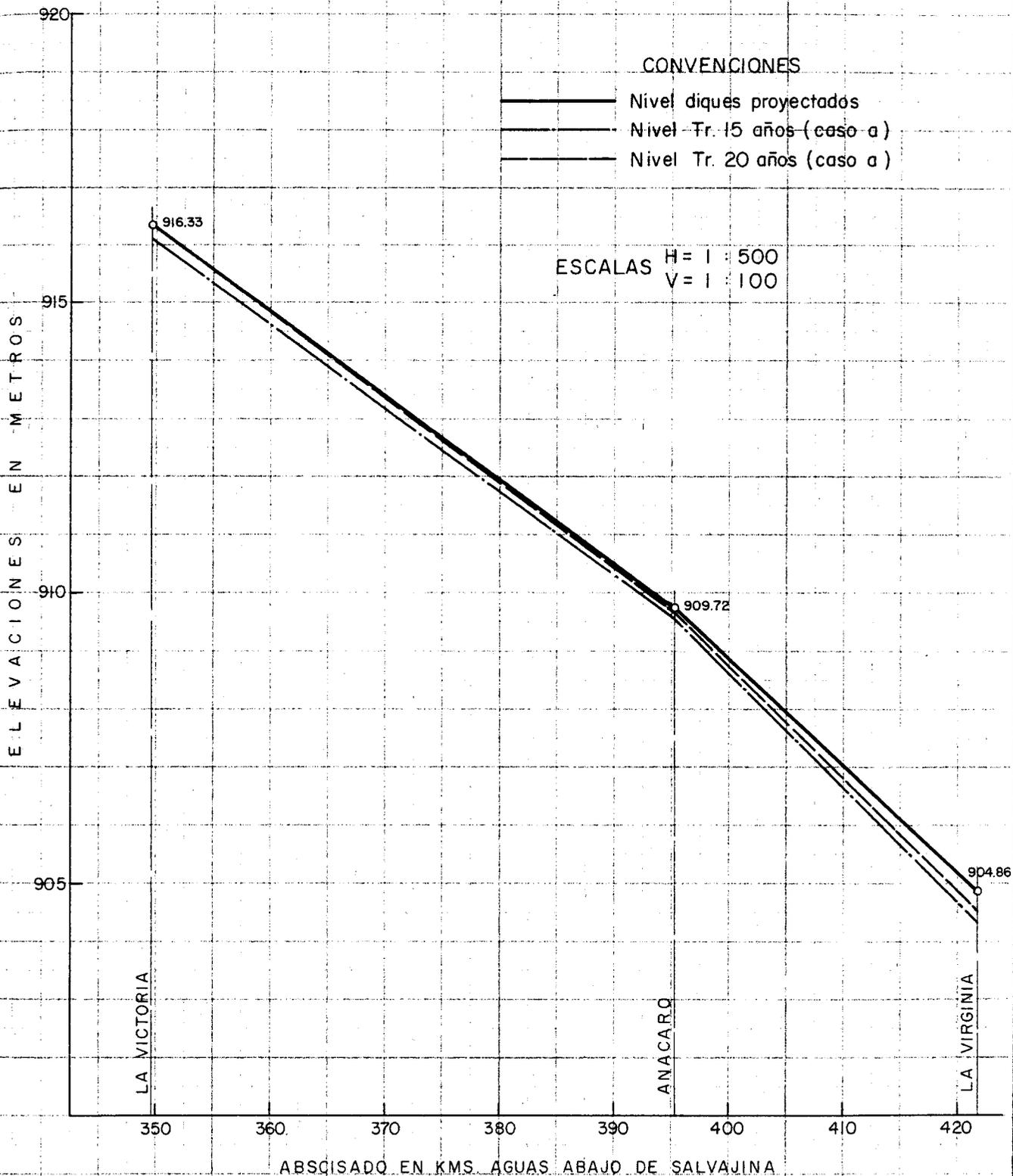
- Nivel diques proyectados
- - - Nivel Tr. 15 años (caso a)
- · - Nivel Tr. 20 años (caso a)

ESCALAS H = 1 : 500
V = 1 : 100



RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.



RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM. EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.

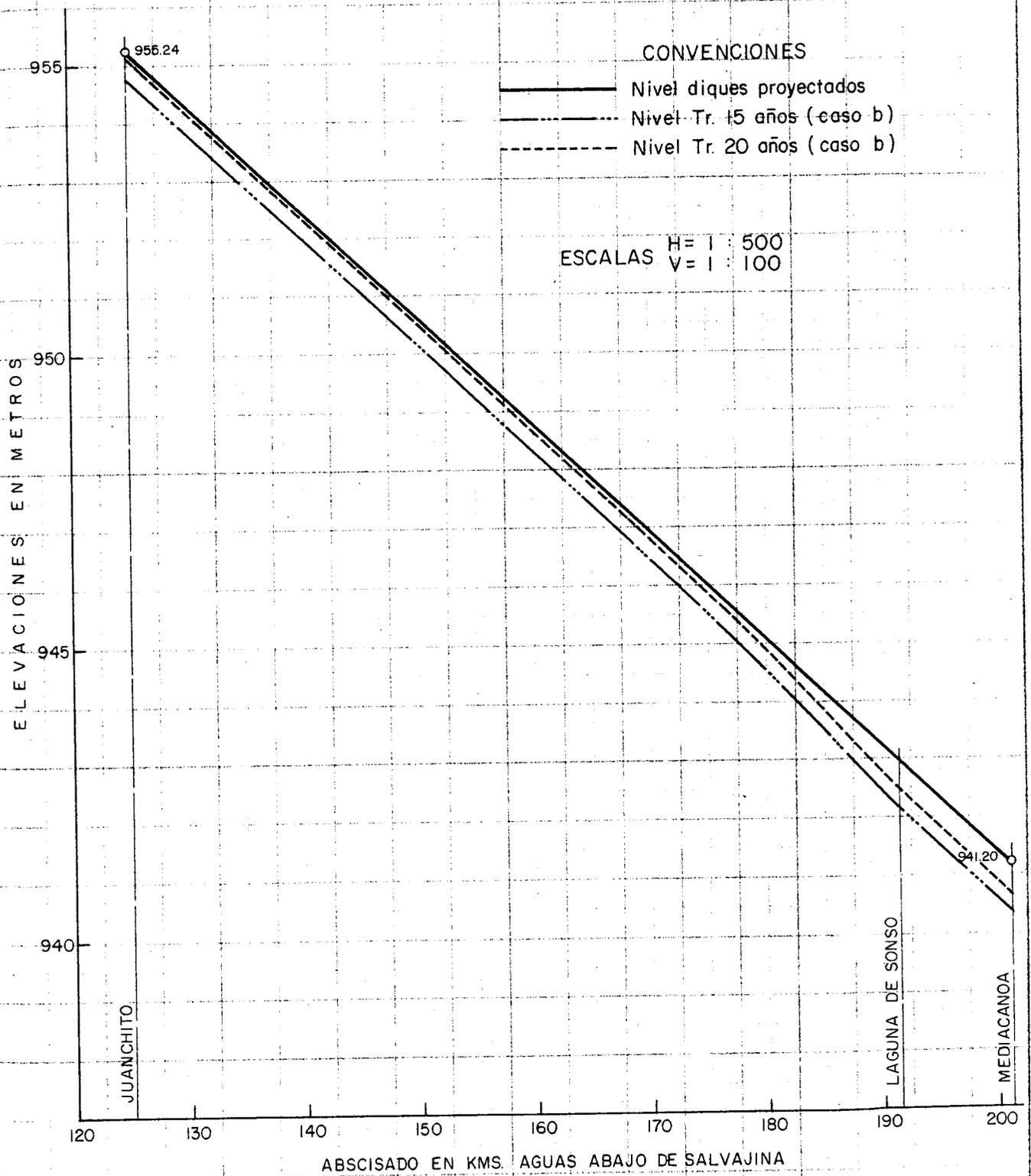
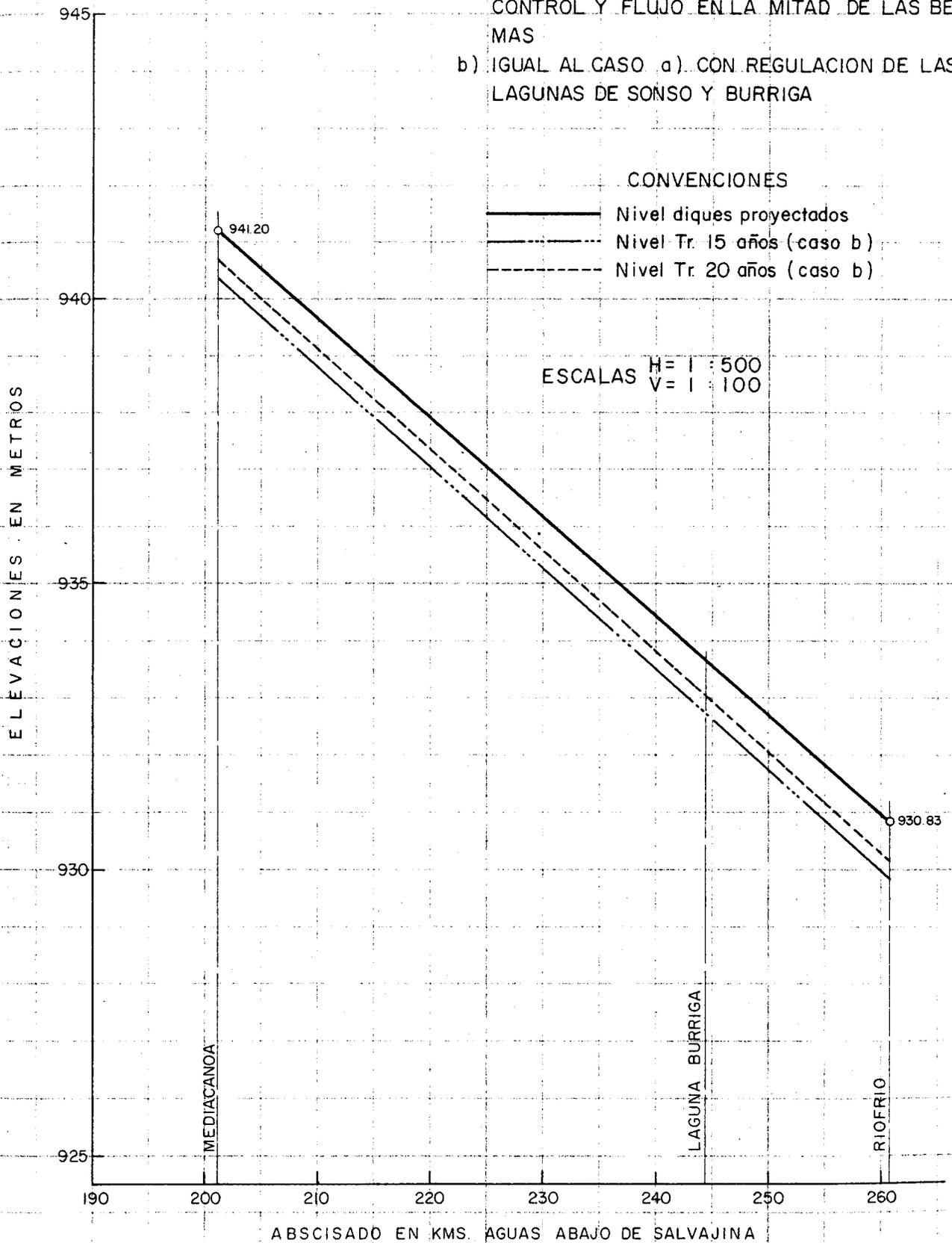


GRAFICO No. 8

RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

- a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA



RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

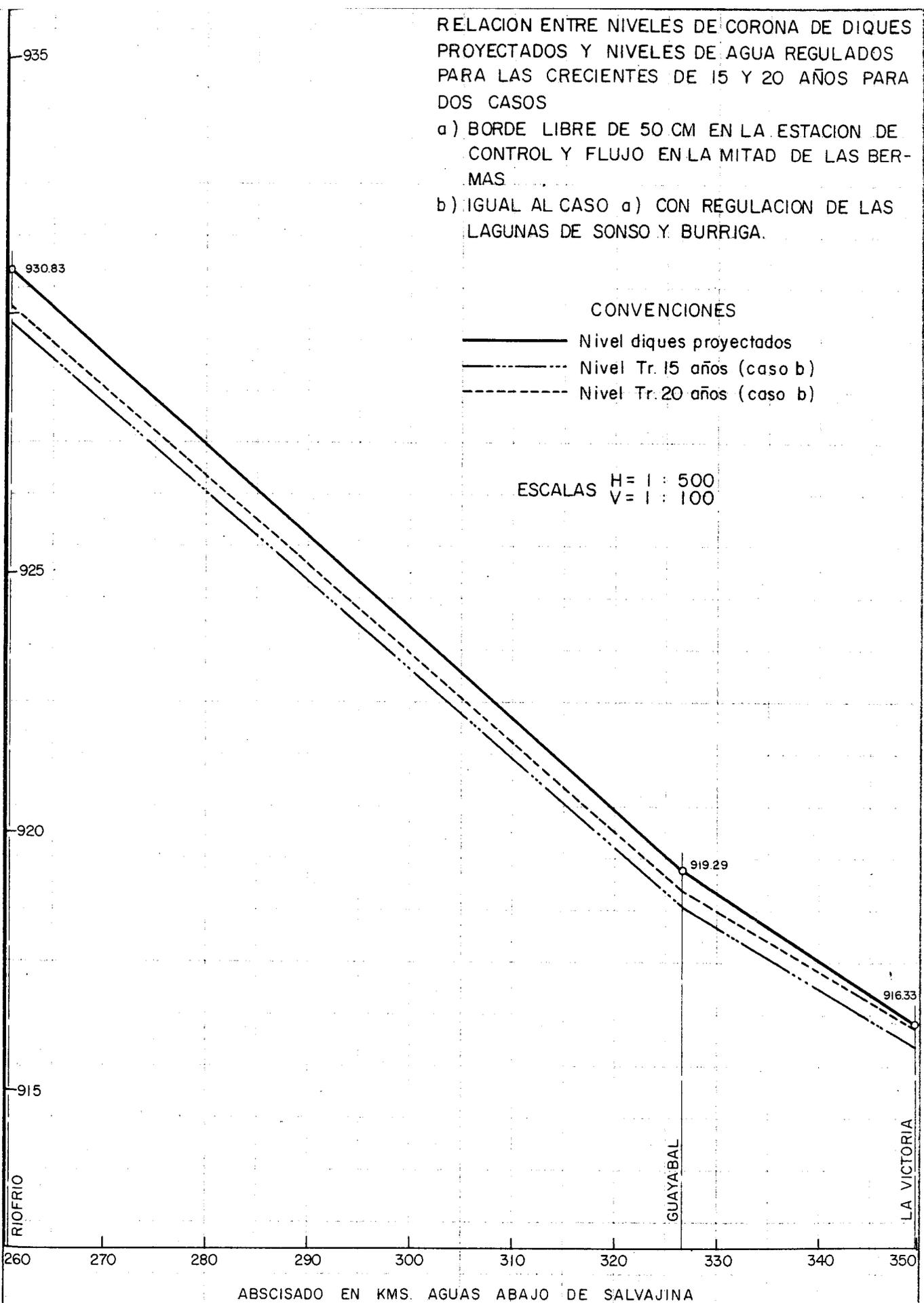
a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS

b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA.

CONVENCIONES

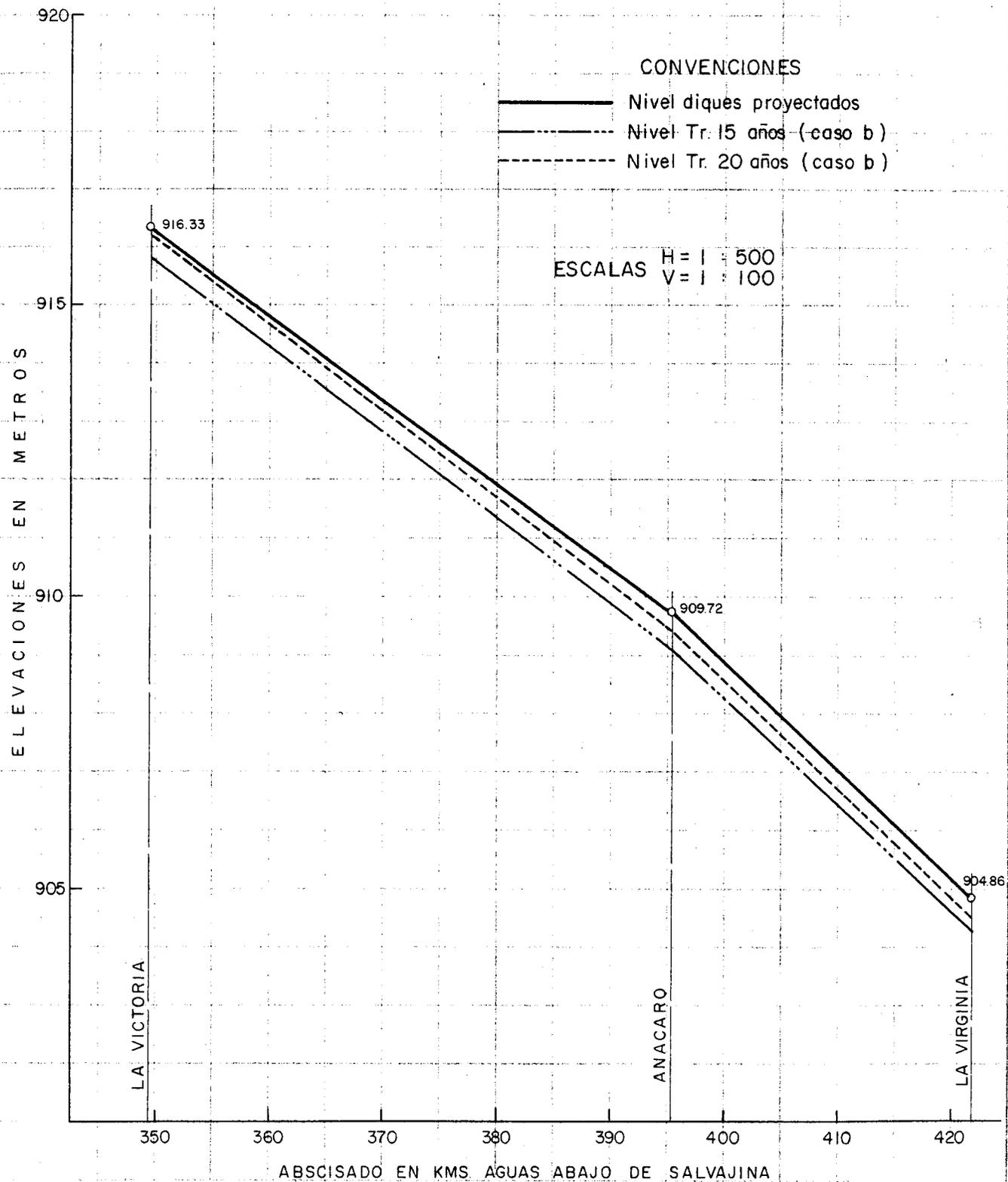
- Nivel diques proyectados
- - - Nivel Tr. 15 años (caso b)
- - - Nivel Tr. 20 años (caso b)

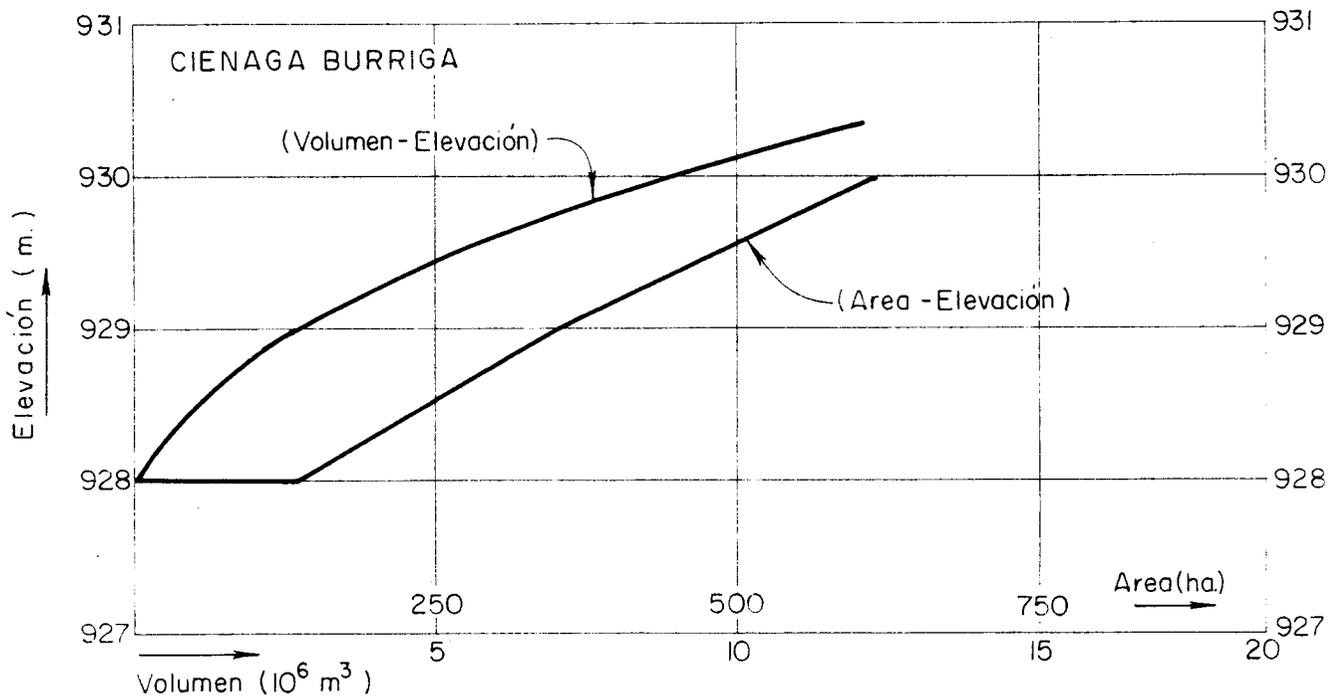
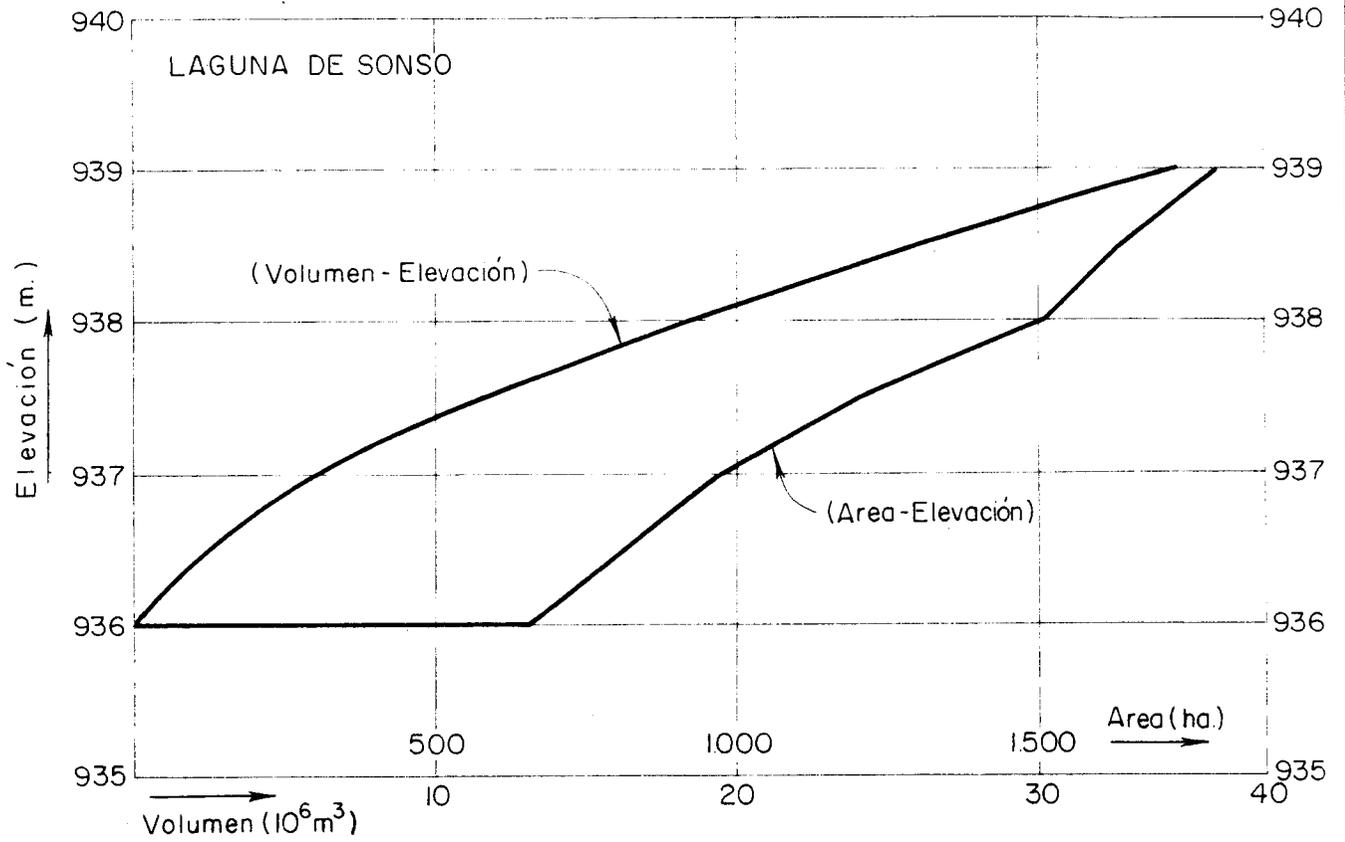
ESCALAS H = 1 : 500
V = 1 : 100



RELACION ENTRE NIVELES DE CORONA DE DIQUES PROYECTADOS Y NIVELES DE AGUA REGULADOS PARA LAS CRECIENTES DE 15 Y 20 AÑOS PARA DOS CASOS

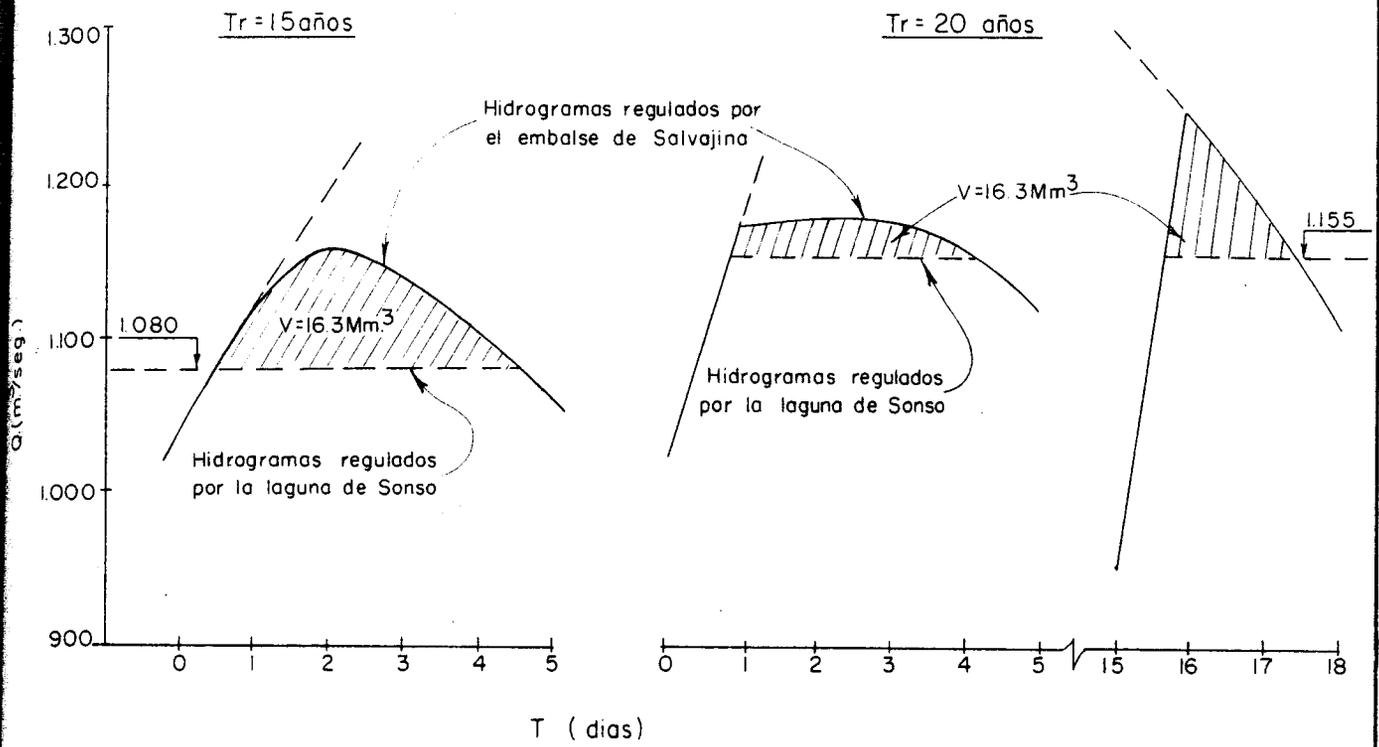
- a) BORDE LIBRE DE 50 CM EN LA ESTACION DE CONTROL Y FLUJO EN LA MITAD DE LAS BERMAS
- b) IGUAL AL CASO a) CON REGULACION DE LAS LAGUNAS DE SONSO Y BURRIGA





CURVAS DE CAPACIDAD DE LAS ZONAS DE ALIVIO DEL RÍO CAUCA LAGUNA DE SONSO Y CIENAGA BARRIGA

RIO CAUCA - MEDIACANOA



RIO CAUCA - RIOFRIO

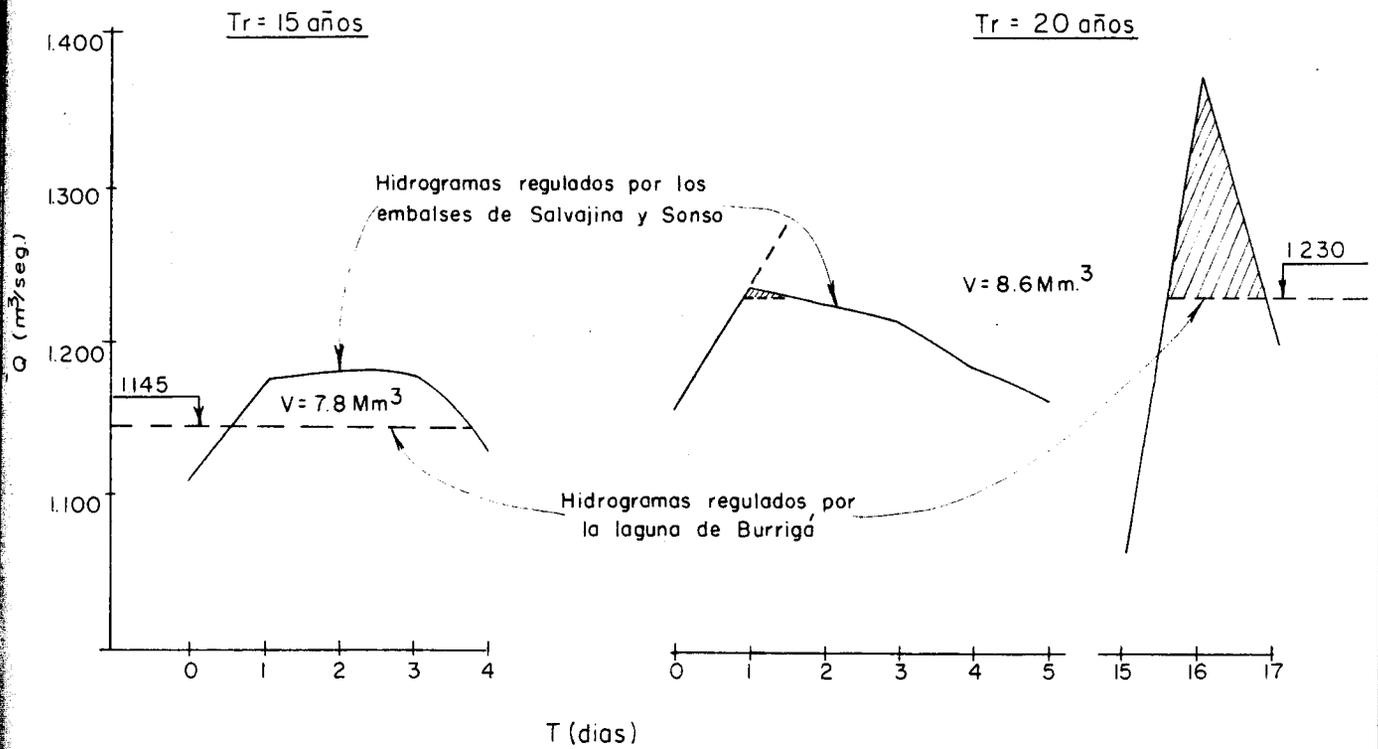


GRAFICO N° 13

ANEXO HIDROLOGICO

DETERMINACION DE LAS HIDROGRAFAS DE 15 y 20 AÑOS DE FRECUENCIA PARA EL RIO CAUCA EN SUS DIVERSAS ESTACIONES ENTRE LA Balsa Y LA VIRGINIA.

Con el fin de obtener las hidrógrafas no deformadas en las estaciones de control hidrológico para las frecuencias anotadas, se procedió de la siguiente forma:

a) Para cada sitio, se determinaron series parciales de volúmenes, teniendo en cuenta los eventos más críticos presentados en el período de registro, suponiendo un caudal base promedio de $400 \text{ m}^3/\text{s}.$; para la selección de los eventos se tuvo en cuenta que tanto la curva de ascenso como de recesión del hidrograma deformado garantizaran la independencia estadística.

b) Establecidas las series de eventos, se procedió a realizar su análisis probabilístico, utilizando para este propósito la distribución simple exponencial de GUMBEL.

Los resultados obtenidos fueron en términos generales satisfactorios, para cada una de las series analizadas.

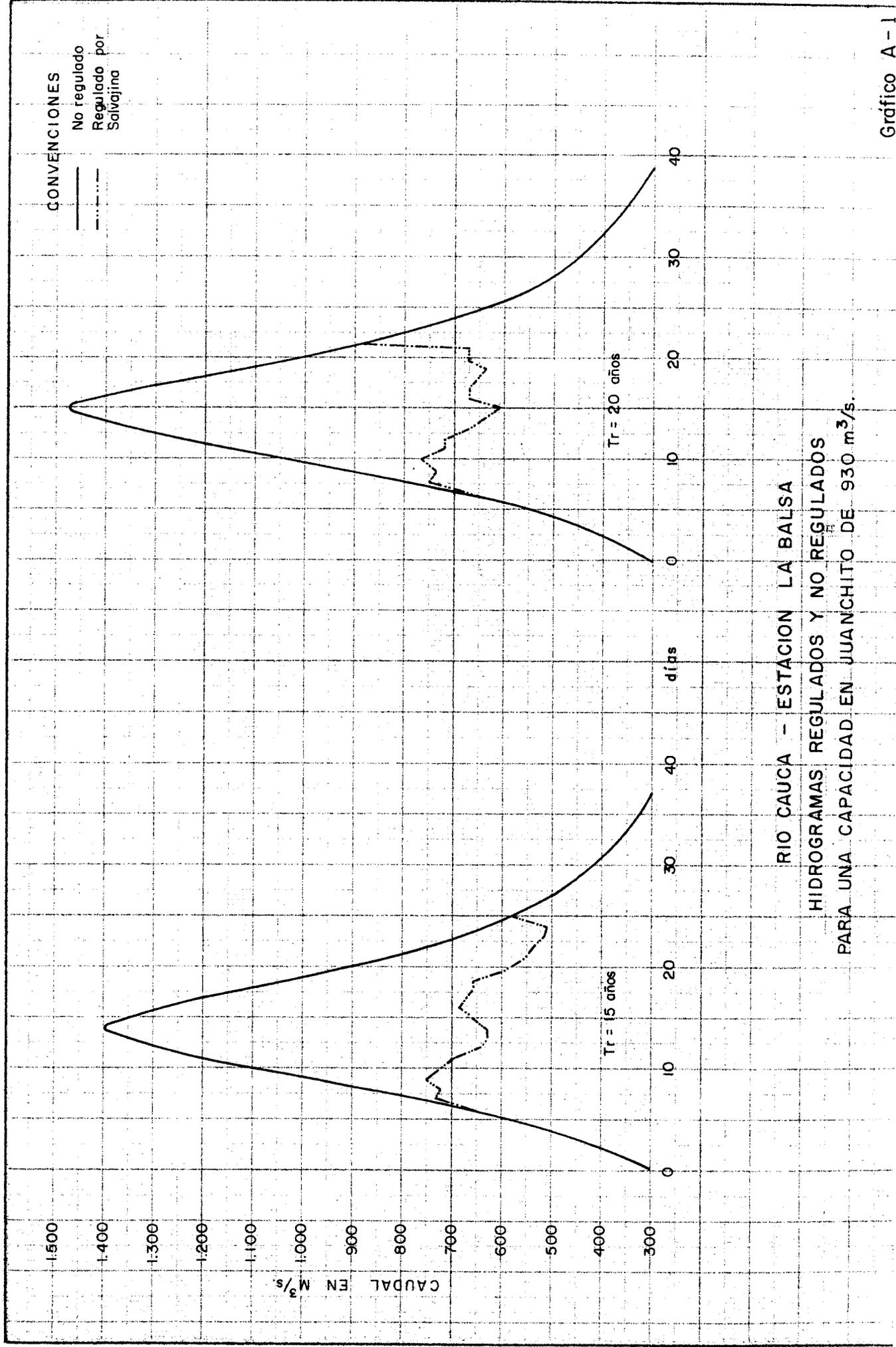
c) Como en los diversos puntos de control no se dispone de igual longitud de registros, se procedió a establecer un ajuste teniendo en cuenta la buena relación que el evento volumen, para una frecuencia dada, presenta con el área de drenaje a lo largo del río Cauca.

Con este fin se graficaron los diversos puntos (Volumen-Area) y se unieron mediante una curva de tendencia parabólica. Contando con que la respuesta más confiable es la que dan las estaciones en donde se dispone de mayor número de años de registro, en el trazo de la curva se le dió mayor peso a estos puntos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

<u>Estación</u>	<u>V (Mm³) Tr = 15 años</u>	<u>V (Mm³) Tr = 20 años</u>
La Balsa	2.417	2.559
Hormiguero	2.750	2.900
Juanchito	2.841	2.995
Mediacanoa	3.680	3.900
Riofrío	4.010	4.245
Guayabal	4.950	5.230
La Victoria	5.080	5.365
Anacaro	5.380	5.680
La Virginia	5.800	6.200

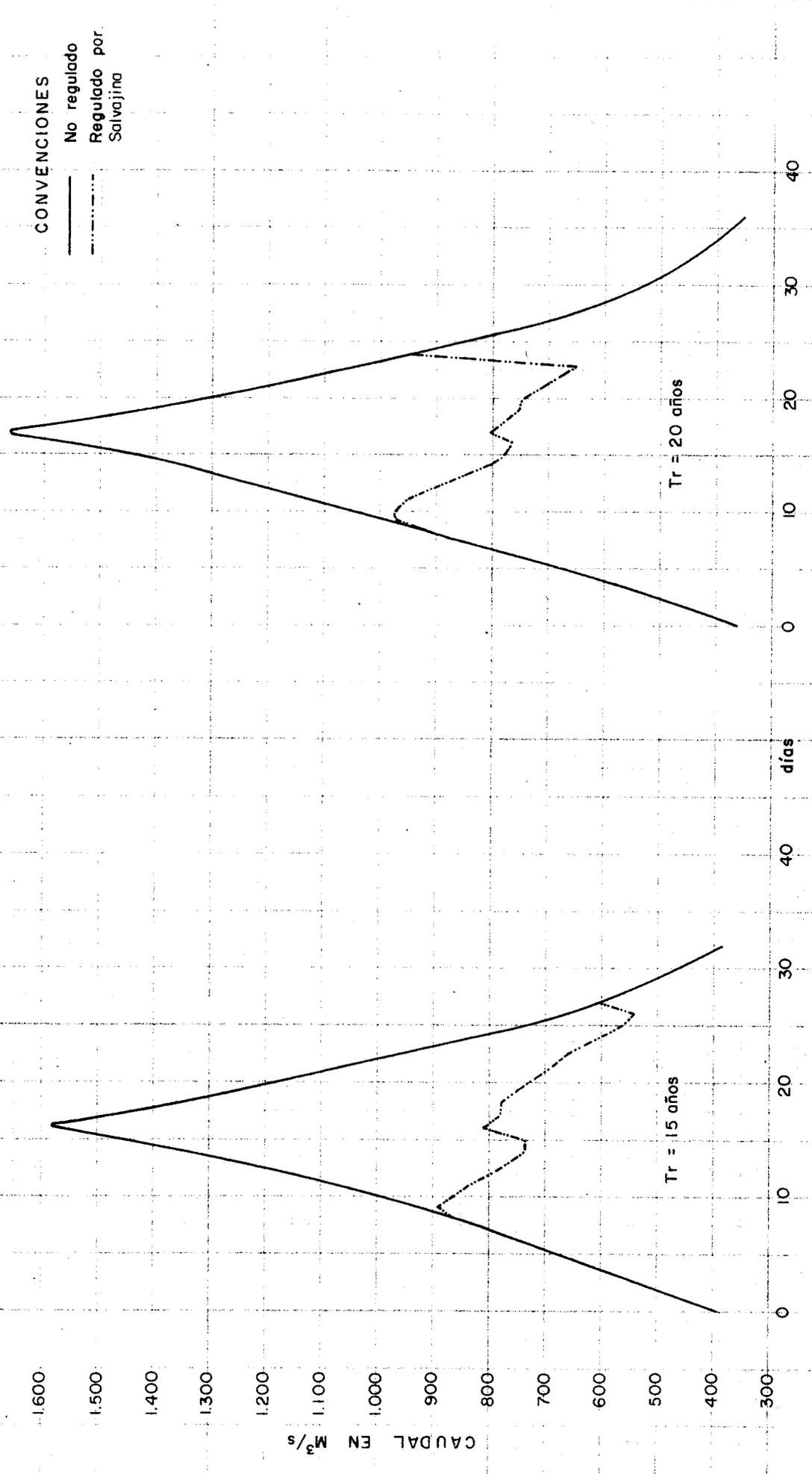
d) Teniendo en cuenta los volúmenes anteriores y los caudales de pico obtenidos también estadísticamente para la situación de no deformación en cada punto de control, mediante ajuste gráfico, conservando aproximadamente las características de las curvas de ascenso y de recesión de las hidrógrafas registradas en eventos máximos, se obtuvieron las hidrógrafas que acompañan el presente Anexo.



CONVENCIONES

- No regulado
- - - Regulado por Salvajina

RIO CAUCA - ESTACION LA BALSA
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.



1.600

1.500

1.400

1.300

1.200

1.100

1.000

900

800

700

600

500

400

300

CAUDAL EN M³/s

0

10

20

30

40

40

0

0

10

20

30

40

40

Tr = 15 años

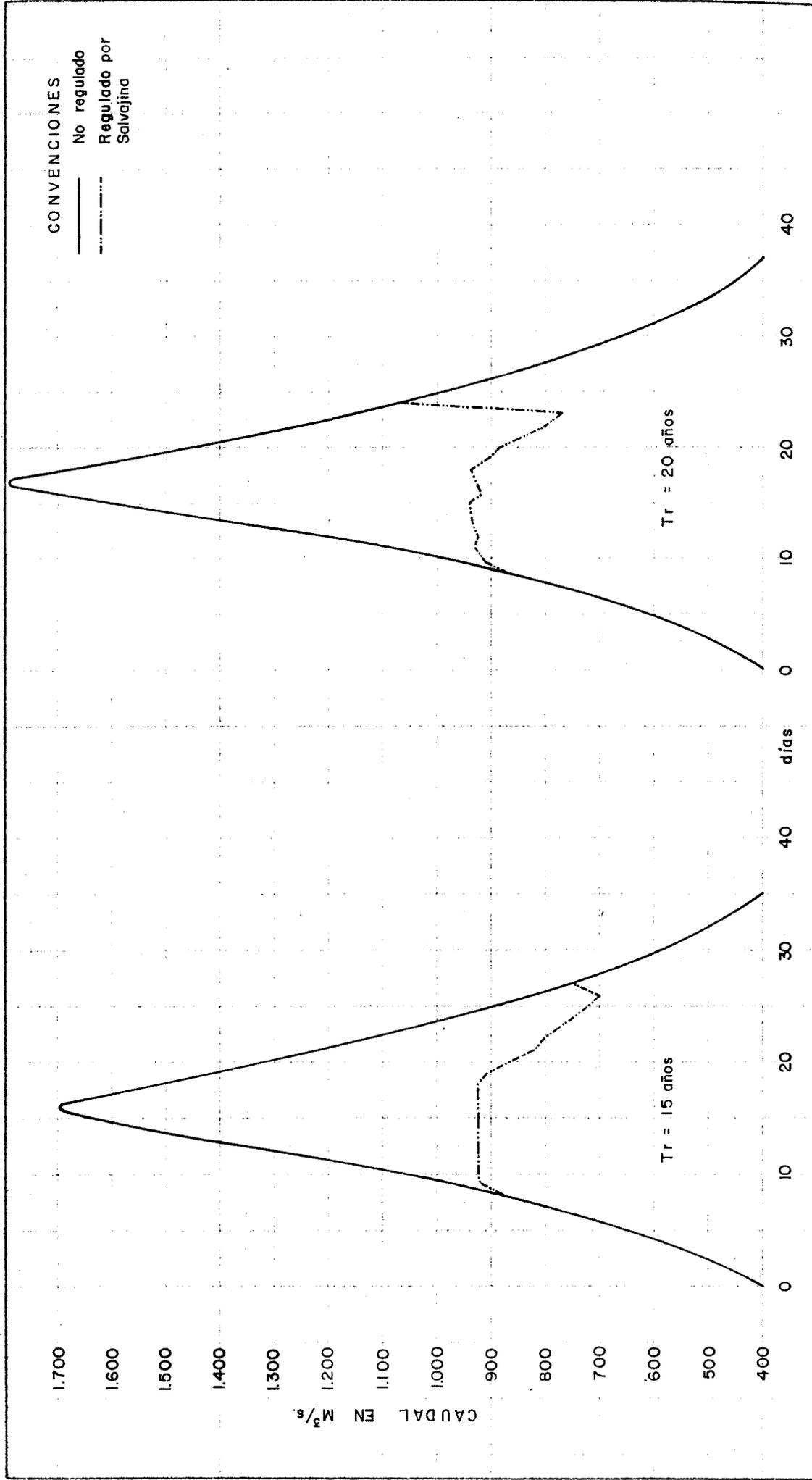
Tr = 20 años

CONVENCIONES

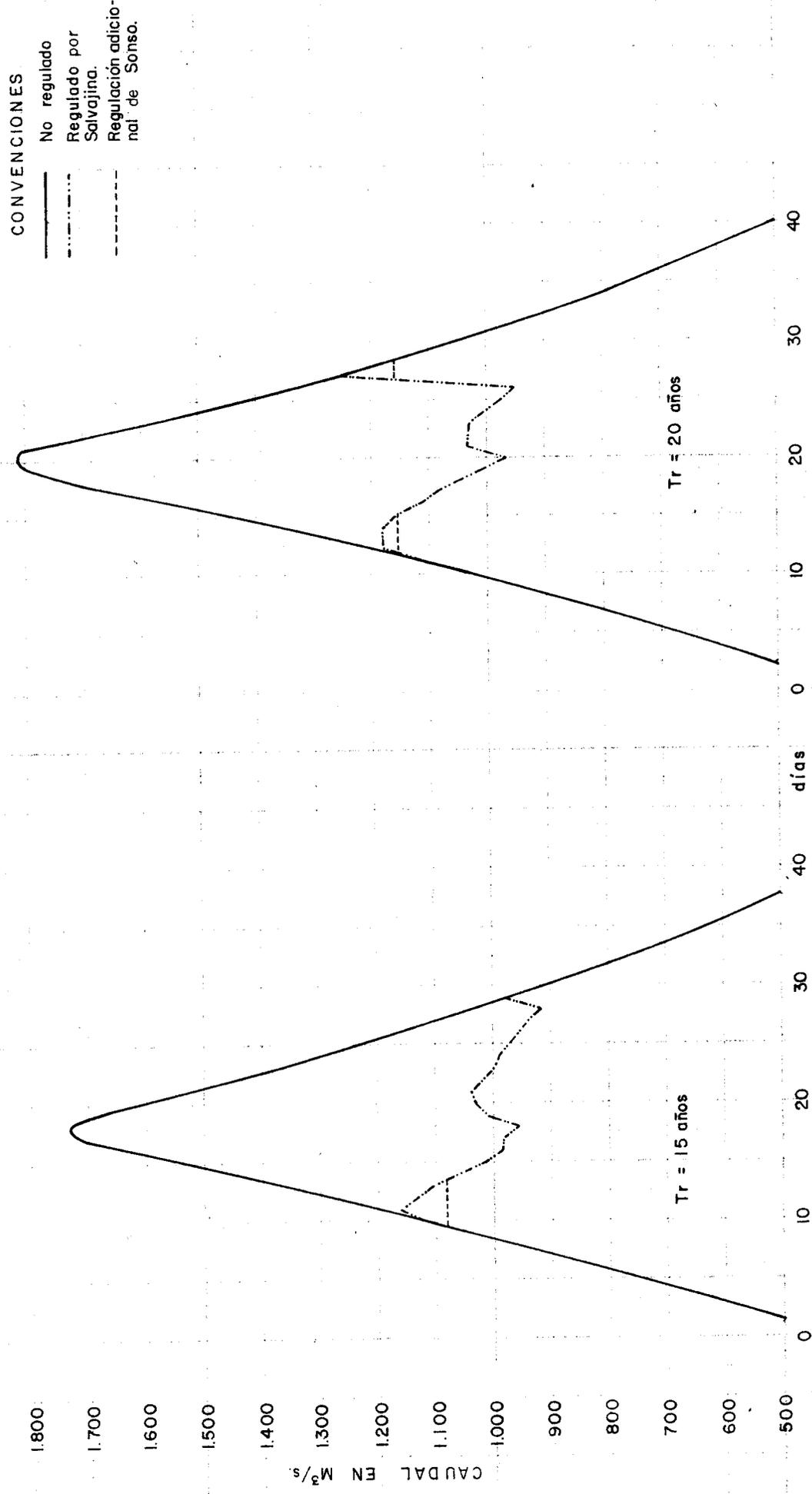
— No regulado

- - - - - Regulado por Salvajina

RIO CAUCA - ESTACION HORMIGUERO
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.



RIO CAUCA — ESTACION JUANCHITO
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.

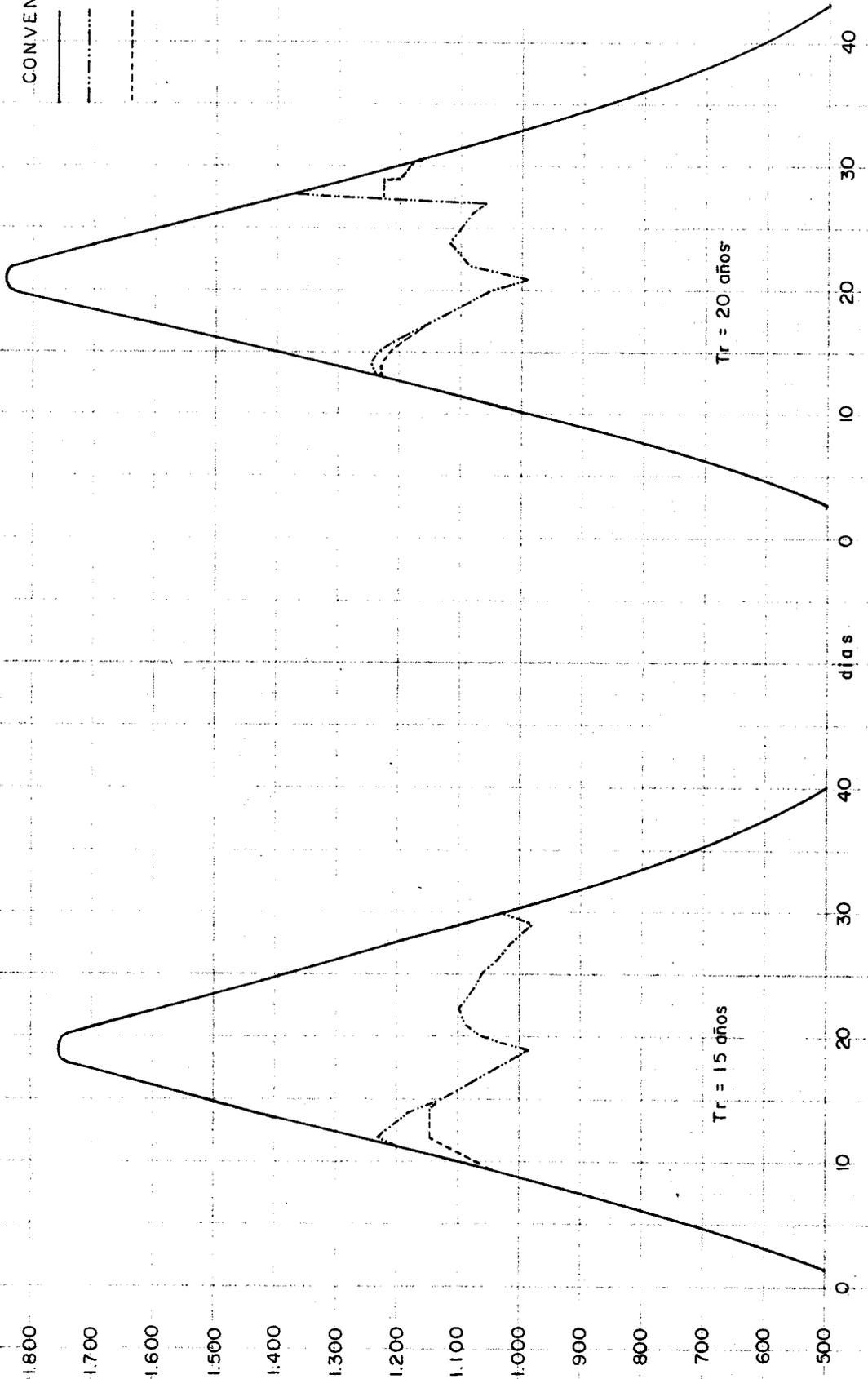


CONVENCIONES

- No regulado
- · - · - Regulado por Salvajina.
- - - Regulación adicional de Sonso.

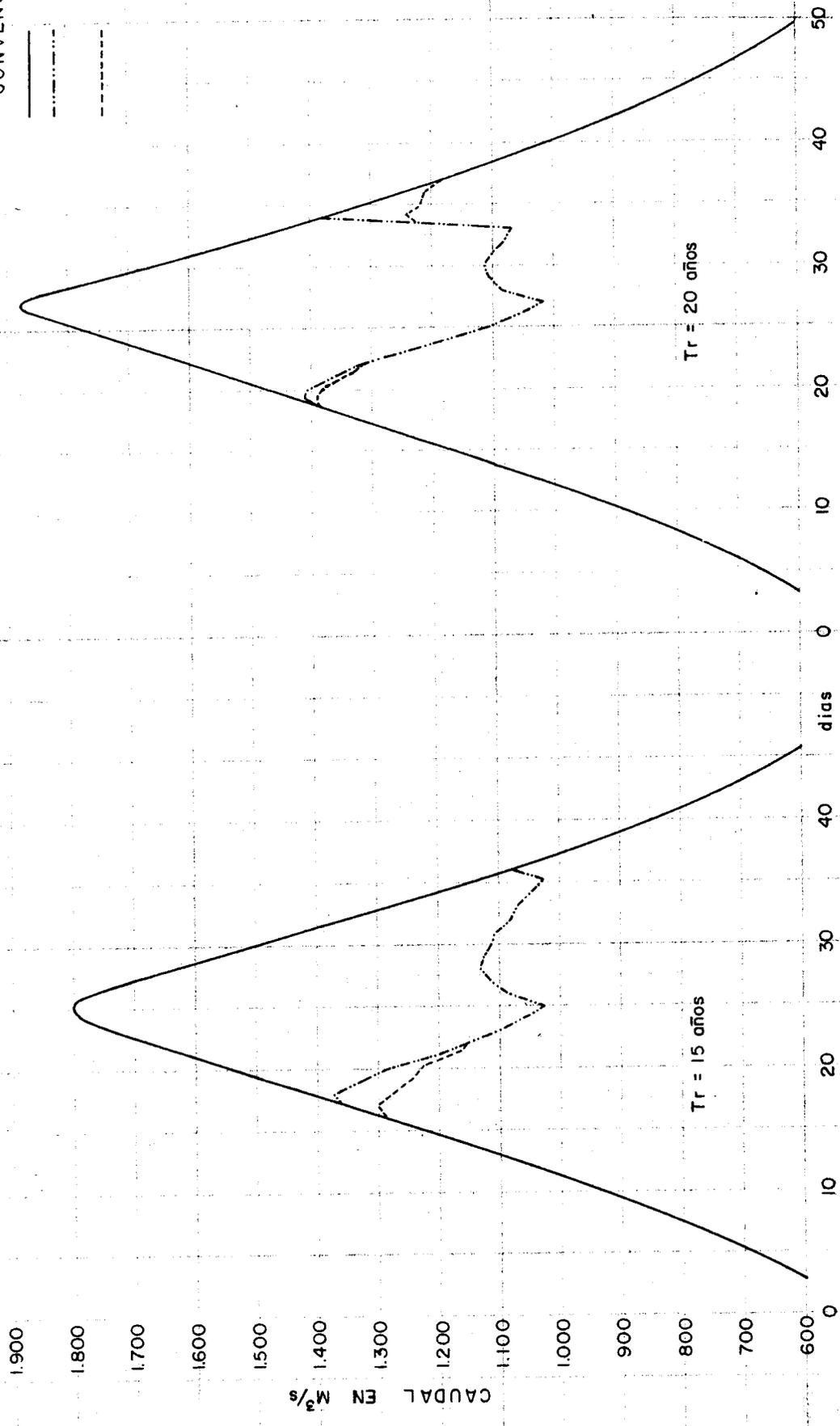
RIO CAUCA - ESTACION MEDIACANOA
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.

- CONVENCIONES
- No regulado
 - - - Regulado por Saivajina
 - - - Regulación adicional de Sanso y Burrigo

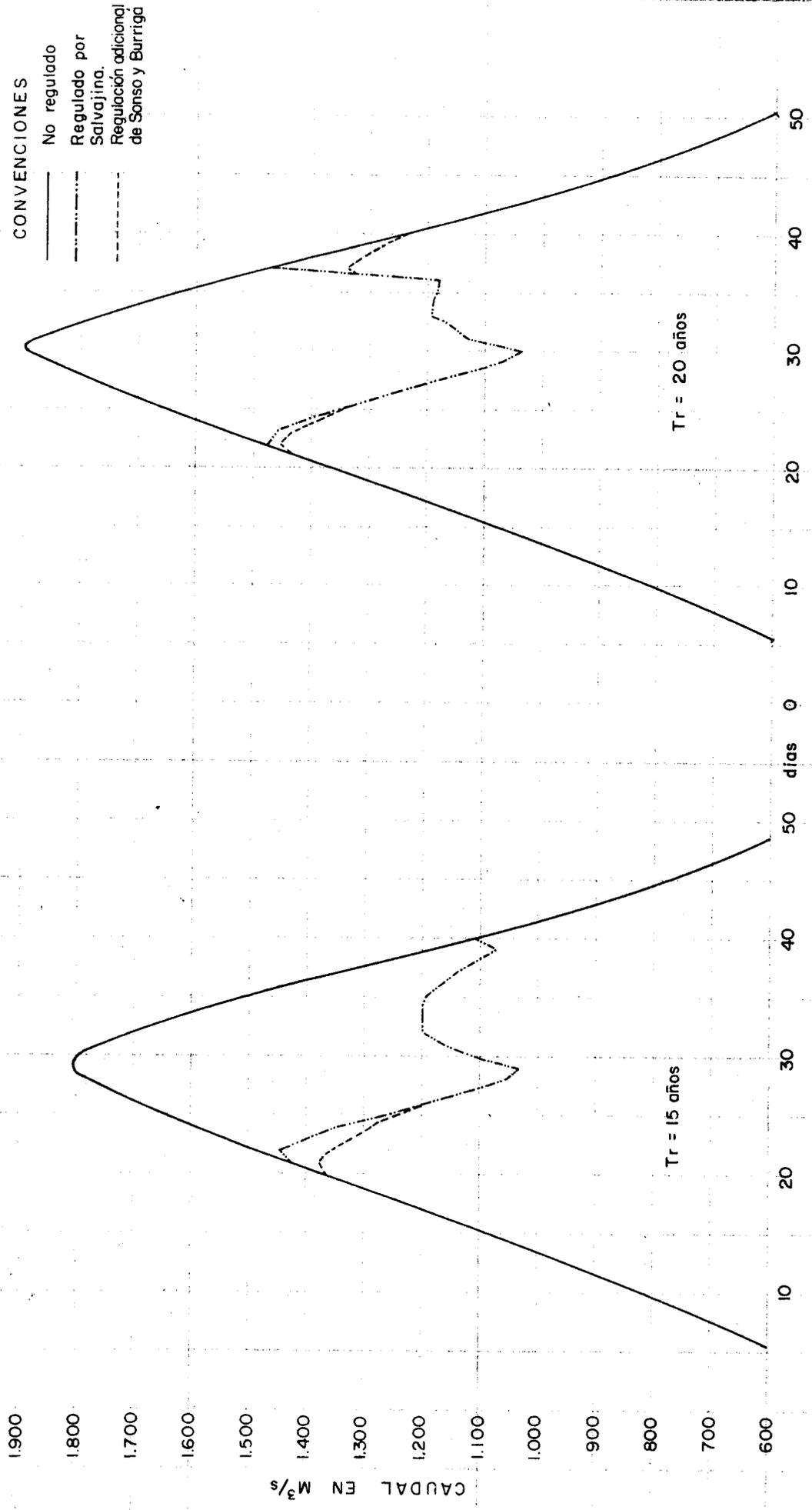


RIO CAUCA - ESTACION RIOFRIO
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s

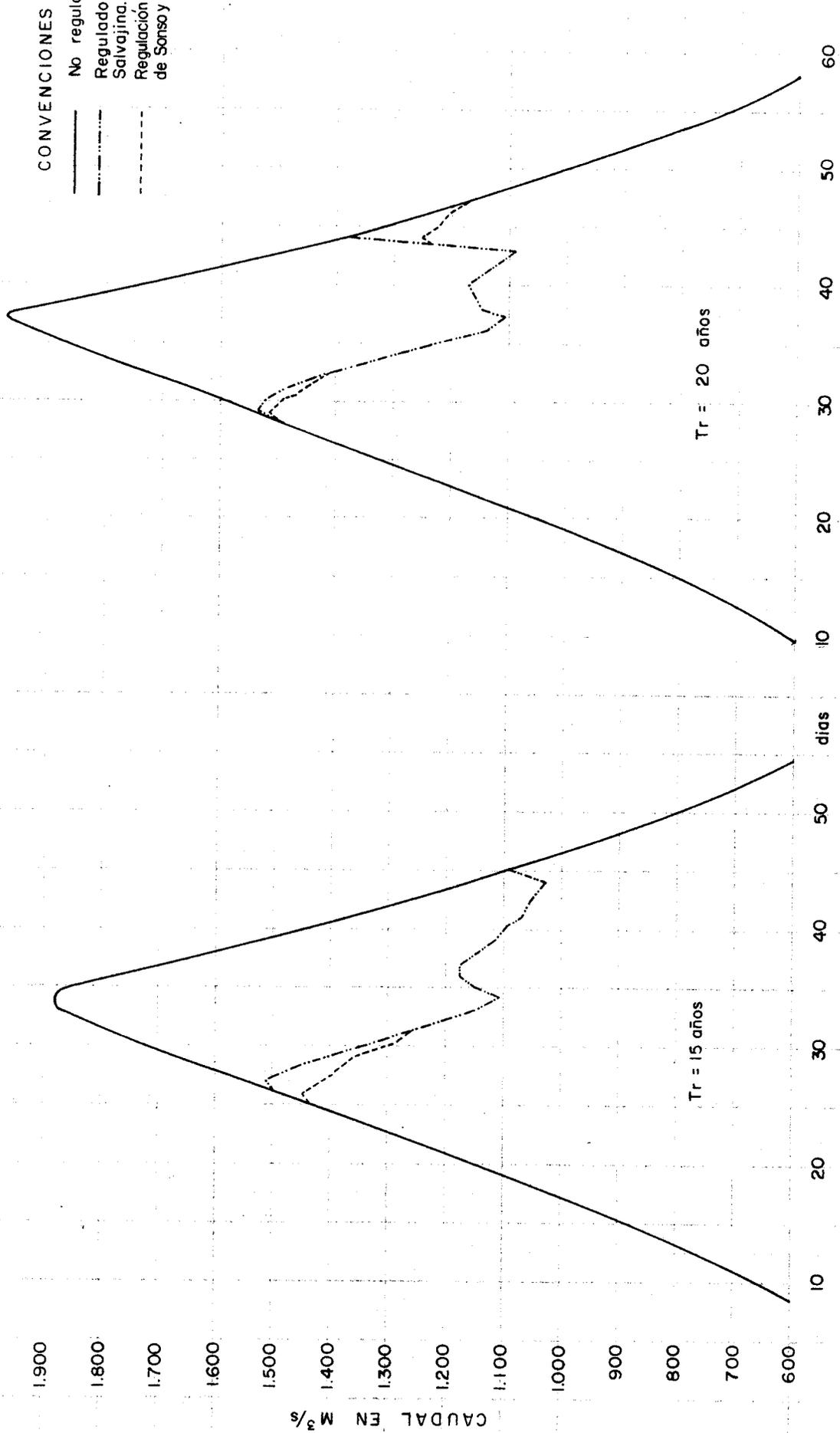
- CONVENCIONES
- No regulado
 - · - · - Regulado por Salvajina
 - - - Regulación adicional de Sonso y Burriga



RIO CAUCA - ESTACION GUAYABAL
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.



RIO CAUCA - ESTACION LA VICTORIA
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.



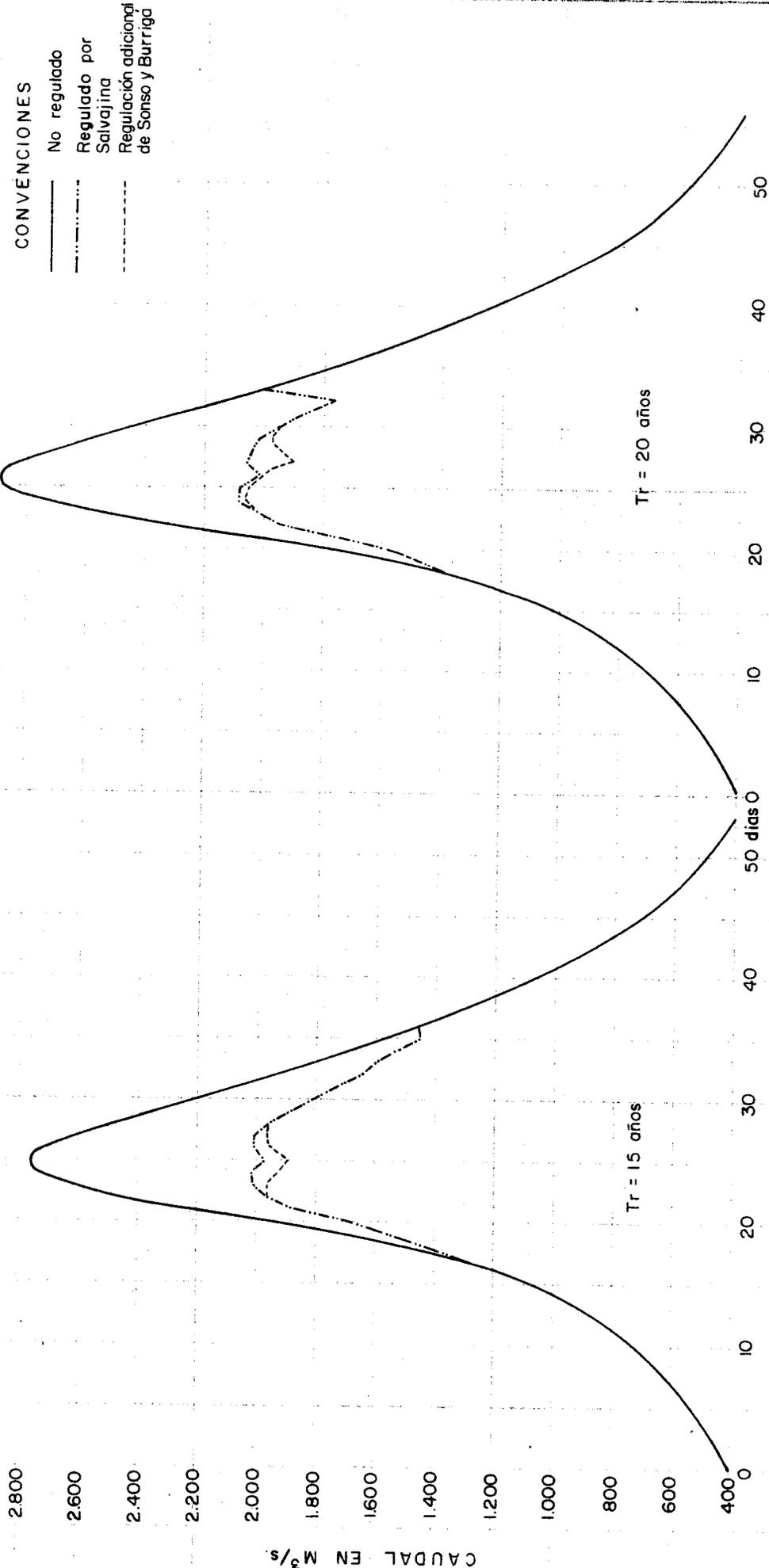
CONVENCIONES

- No regulado
- · - · - Regulado por Salvajina.
- - - Regulación adicional de Sonsoy Burriga

Tr = 20 años

Tr = 15 años

RIO CAUCA - ESTACION ANACARO
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.



CONVENCIONES

- No regulado
- · - · - Regulado por Salvajina
- - - - Regulación adicional de Sonso y Burriga

Tr = 20 años

Tr = 15 años

RIO CAUCA - ESTACION LA VIRGINIA
 HIDROGRAMAS REGULADOS Y NO REGULADOS
 PARA UNA CAPACIDAD EN JUANCHITO DE 930 m³/s.