

O/X 12
C 26 si

46924

SISTEMA GOLONDRINAS - CALCHAQUI

EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

Abril 1993

INDICE

SISTEMA GOLONDRINAS - CALCHAQUI EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

1.- INTRODUCCION

2.- DESCRIPCION DEL SISTEMA

3.- METODOLOGIA DE ESTUDIO

a) Analisis de las Series de Registros Historicos

b) Análisis de la crecidas 1991 - 1992:

4.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CONDUCCION EN LAS SECCIONES DEL GOLONDRINAS CALCHAQUI.

5.- INFLUENCIA DE LAS OBRAS CONSTRUIDAS Y A CONSTRUIR

5.1 - Obras de saneamiento construidas con desagüe sobre el sistema Golondrinas - Calchaquí:

5.2 - Obras de compensación hidrológica del sistema Golondrinas-Calchaquí:

5.3 - Modelación matemática y evaluación de los efectos de las obras:

6.- CONCLUSIONES

INDICE DE PLANOS

- 01 - UBICACION Y AREAS DE APORTE.
- 02 - DINAMICA HIDRICA SUPERFICIAL.
- 03 - SISTEMA DE CANALES CONSTRUIDOS.
- 04 - OBRA LINEA PARANA.
- 05 - AREA DE APLICACION DEL MODELO HIDROLOGICO.

SISTEMA GOLONDRINAS - CALCHAQUI
EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

1.- INTRODUCCION

Se realiza aquí una actualización de la evaluación del funcionamiento del sistema del Arroyo Golondrinas - Río Calchaquí, ante las inquietudes y necesidades planteadas por las últimas crecidas en la zona. Estas han provocado reclamos de los productores y comunas de la región, originando una discusión sobre la incidencia que tienen sobre las inundaciones de la zona, las obras de canalización construidas en los últimos años.

El objetivo es evaluar la incidencia de los aportes artificiales actuales y futuros frente a la capacidad de conducción del sistema, así como también los producidos por lluvias extraordinarias. De esta manera se da satisfacción a la necesidad de generar una respuesta técnica de carácter cuantitativa a la concepción generalizada de los habitantes del área de que habría un cambio sustancial en el sistema, originado por efecto de los canales construidos.

2.- DESCRIPCION DEL SISTEMA

El arroyo Golondrinas transcurre dentro de los límites del Departamento Vera, con nacientes a la salida de la laguna La Blanca, (situada aguas abajo de la Palo Pelado), siendo continuación del sistema de lagunas y cañadas, que se inicia en la laguna El Tobiano. Luego de su pasaje por la laguna El Palmar cambia de nombre, dando lugar al río Calchaquí, hasta la confluencia con el río Salado (ya en el Departamento San Justo), del que es afluente (ver plano 01).

Antes de la sección de Fortín Olmos (en la ruta provincial Nro. 40), recibe por el oeste grandes aportes de la zona más deprimida del sistema Bajos Submeridionales. Esta, a la vez, es la depositaria de los escurrimientos de una superficie superior a las 3.000.000 de hectáreas, constituidas por el domo occidental santafesino con límite sur en la ruta provincial Nro. 32, el sistema de Los Saladillos (Santiago del Estero), el de los Bajos de Chorotis (Santiago del Estero y Chaco) y el sistema de aportes constituidos por el sector centro-oeste del Chaco (cuyo límite norte es la cuenca que desagua hacia el río Tapenagá).

Desde la ruta provincial Nro. 40 hacia el Sur, y por el lado Oeste, le llegan los escurrimientos de un área superior a 1.100.000 hectáreas, ubicada con vértice Oeste en Bandera (Santiago del Estero), entre el río Salado y la ruta provincial Nro. 32. También recibe los desbordes del río Salado en su curso medio entre Tostado y la confluencia con el río Calchaquí, por un sistema de cañadas que conecta a "La Verdecita" (cañada que conduce los desbordes del río paralela al curso del Salado) con la laguna "El Palmar".

Por su margen Este, el sistema Golondrinas-Calchaquí bordea el denominado domo oriental, que constituye una abrupta variación topográfica en relación la llanura extrema que se extiende hacia el Oeste. El área de aporte que se extiende hacia el Este, y desde la ruta provincial Nro. 40 hacia el Norte, constituye una estrecha franja de pocos kilómetros, con una superficie de 70.000 hectáreas. Entre este punto y la sección de la ruta nacional Nro. 98 (paraje El Bonete), recibe a la cañada La Sarnosita, con una superficie de 100.000 has. Siguiendo en dirección al sur, el área se amplía con las cuencas del arroyo de Los Perros y el de La Guampita (160.000 has), que desembocan en la Laguna Calchaquí, y luego todo el sistema de arroyos que desaguan en la laguna La Blanca, con una superficie de aporte del orden de las 140.000 has.

En el plano 02 se ha sintetizado la cartografía de dinámica hídrica superficial de la mayor parte del tramo en estudio. Esta fué desarrollada sobre un mosaico aerofotográfico semiapoyado a escala 1:80.000, incorporando información de las imágenes satelitarias obtenidas en distintos estados del sistema.

El sistema Golondrinas Calchaquí representa la única vía de escurrimiento fluvial del sistema de los Bajos Submeridionales. Se trata de una planicie con declives máximos de 30 cm/km en el domo occidental y entre 10 y 5 cm/km en la zona próxima al curso de agua y en dirección transversal a él. Esto condiciona las bajísimas pendientes del pelo de agua que se registran en el sentido del escurrimiento. De acuerdo a los estudios topográficos efectuados, conjuntamente con las mediciones de alturas simultáneas en algunos puntos, se ha determinado en estado de máxima crecida, pendientes del orden de 2,5 cm/km entre la sección de Fortín Olmos y de la ruta provincial Nro. 37 (campo La Cigüeña), y de 6,5 cm /km entre esta sección y la de la Higuera, a la salida de la laguna Calchaquí (ver plano 01 adjunto).

Otro elemento característico y condicionante del escurrimiento es la presencia de albardones de considerable altura en relación a la topografía del resto del área, recubiertos de monte fuerte. Estos se ubican transversal al escurrimiento, y bordean las lagunas interconectadas, obstruyendo el paso del agua en situaciones de crecidas. Este fenómeno se observa principalmente en el tramo del arroyo Golondrinas, disminuyendo en buena medida su frecuencia en el Calchaquí (ver plano 02 adjunto).

3.- METODOLOGIA DE ESTUDIO

a) Analisis de las Series de Registros Historicos

Se dispone de registros diarios de alturas hidrométricas en diferentes secciones sobre el sistema (ver plano 01), así como también de determinaciones de aforos y perfiles topográficos:

- 1.- Laguna la Loca (Golondrinas).
- 2.- Ruta provincial Nro. 40 próxima a Fortín Olmos (Golondrinas)
- 3.- Ruta nacional Nro. 98 en paraje El Bonete (Golondrinas)
- 4.- Ruta provincial Nro. 37 (Calchaquí)
- 5.- Campo La Higuera (Calchaquí)
- 6.- Ruta Provincial 39 próxima a Crespo (Salado)

Las características de este sistema fluvial, de muy bajas pendientes y con presencia de un sistema lagunario interconectado, dificulta (y en algunos casos impide) que se pueda establecer en forma biunívoca las relaciones entre los registros hidrométricos y los caudales escurridos. Este es el caso de la sección de El Bonete, que posee un importante récord de registros de alturas. En cuanto a las estaciones sobre el Calchaquí, presentan una buena sección de escurrimiento, pero con el inconveniente que no se han podido aforar caudales máximos, por cuánto el aforo debe hacerse por bote, y las velocidades del curso lo impidieron. La estación más completa sobre este curso es la de La Higuera, en donde se han realizado mediciones de caudales de hasta 300 m³/seg. Pero, por otra parte, en el período desde su inicio hasta 1979, faltó el último tramo de la escala, lo que impidió el registro de las alturas máximas hasta ese momento. De todas maneras resulta una serie confiable para la determinación de algunos parámetros.

La sección de la ruta provincial Nro. 39, sobre el río Salado (próximo a Crespo), se utilizó principalmente como referencia en el análisis de la crecida de 1992. Los registros anteriores fueron incompletos, ya que consideraron sólo parte de los escurrimientos del sistema.

En primer lugar, se realizó una primera verificación visual de las series, mediante la observación de los gráficos cronológicos de todas las estaciones. Allí se detectaron los

periodos faltantes y su oportunidad (respecto a las crecidas), así como también los datos erróneos. Luego se analizó su consistencia mediante el contraste (dobles masas) de las series entre sí, para determinar errores sistemáticos o accidentales durante el récord de registros. Los resultados de este análisis determinaron qué tipo de cálculo se puede realizar de acuerdo a la calidad de cada serie de datos.

Así, han podido obtenerse aproximaciones a los valores típicos de caudales en las siguientes secciones:

	Q medio de la serie	Q durac. 50%	Q máx. anual prob. 50%	H máx. 1992	H máx. registrado
F. Olmos	43 m ³ /seg	22 m ³ /seg	120 m ³ /seg	3,2	3,6 (1966)
El Bonete	-	-	-	3,85	4,0 (1977)
La Higuera	-	42 m ³ /seg	-	5,38	5,5 (1973)

En la sección de El Bonete no hubo registros durante 1973. El registro máximo de la Higuera es una referencia del observador de la escala.

Para Fortín Olmos, el caudal medio escurrido durante la serie 1955-1992 es de 42,7 m³/seg. La segunda columna, que corresponde al caudal que se da en el 50 % del tiempo, está obtenido de la curva de duración de caudales medios diarios ocurridos durante todo el record de la serie histórica. Para el caso de La Higuera, este valor puede considerarse consistente a pesar de los problemas detectados en la lectura de la escala. Los caudales que corresponden al máximo anual con probabilidad de ocurrencia del 50%, se obtuvieron mediante el ajuste a curvas de distribución de valores extremos.

b) Análisis de la crecidas 1991 - 1992:

La zona registra, desde el segundo trimestre de 1991, una situación de crecida del curso del Golondrinas-Calchaquí y un estado de anegamiento general de la zona de aporte oeste. Este tuvo su pico muy crítico en mayo de 1992, registrándose caudales extraordinarios a todo lo largo del curso. A los fines de estudiar la ocurrencia de este fenómeno y poder determinar los factores que han influido sobre sus causas y efectos, se han desarrollado algunos análisis adicionales.

A modo de referencia, puede verse en el gráfico 1 la evolución de la lluvia media total anual por año hidrológico (set-ago), caída sobre la superficie de aporte del oeste, que ingresa entre la ruta nacional 98 y el río Salado (ver plano 01). Esta comprende el sector más próximo al curso de agua, situado al este de la ruta provincial Nro. 13. De la simple observación de la evolución cronológica de la lluvia total anual, se detecta su tendencia creciente desde el año 1940 a la fecha. Este hecho fué constatado además por el análisis estadístico de las tendencias de la serie, de carácter creciente en todas las evaluaciones (ver gráfico 2).

La influencia del comportamiento de los totales anuales medios en el área es muy importante, ya que determina en estos sistemas "con memoria", que se vaya generando un estado de saturación de los estratos superiores del subsuelo, con el consiguiente establecimiento de niveles freáticos cercanos a la superficie. Este hecho es de ocurrencia generalizada no sólo en todo el sistema de los Bajos Submeridionales, sino que trasciende aún a la llanura chacopampeana.

En el gráfico 1 podemos ver también, que el total de lluvia caído en 1992 fue superado sólo en dos oportunidades (1940 y 1973). Se estima que su probabilidad de ocurrencia es del orden de una vez cada 25 años. Por otra parte, este año hidrológico hiperhúmedo 1991-1992, tiene su comienzo sobre una situación de aguas altas sobre el curso mismo (90 m³/seg en Fortín Olmos y 110 m³/seg en La Higuera), y de una situación de anegamiento generalizado en su región de aporte.

Por otra parte, en el mes de abril se registró una tormenta de carácter superextraordinario con grandes precipitaciones registradas en un sólo día. El plano de isohietas adjunto (gráfico 3), corresponde a la lluvia caída del 28 al 29 de abril, con un monte de más de 350 mm en la localidad de Vera, caída en un día. Como dato ilustrativo, en el gráfico 4 se representó la cronología de los valores máximos diarios anuales registrados en la estación de Vera, desde 1947 a la fecha. Puede verse que este monto escapa totalmente de los valores del resto de la serie (puede considerarse como valor "outlier"). En esta serie se comprueba, por métodos estadísticos, la tendencia creciente de los máximos pluviométricos diarios. La situación en el Golondrinas-Calchaquí al momento de ocurrencia de esa lluvia ya era de crecida extraordinaria, registrándose 250 m³/seg en Fortín Olmos y 270 m³/seg en La Higuera.

En el gráfico 5 se representa una estimación de los caudales cronológicos máximos mensuales erogados por el arroyo Golondrinas en Fortín Olmos. Allí puede observarse la correspondencia con el gráfico 1, de evolución de la lluvia media total anual, aunque correspondiente a un zona vecina a su área de aporte, en relación a la tendencia creciente de valores de escurrimiento superiores a la media. Puede verse a partir del año 1973, la sucesión ininterrumpida de crecidas de cierta

PRECIPITACION ANUAL
 PROMEDIO AREA ESTE RUTA 13

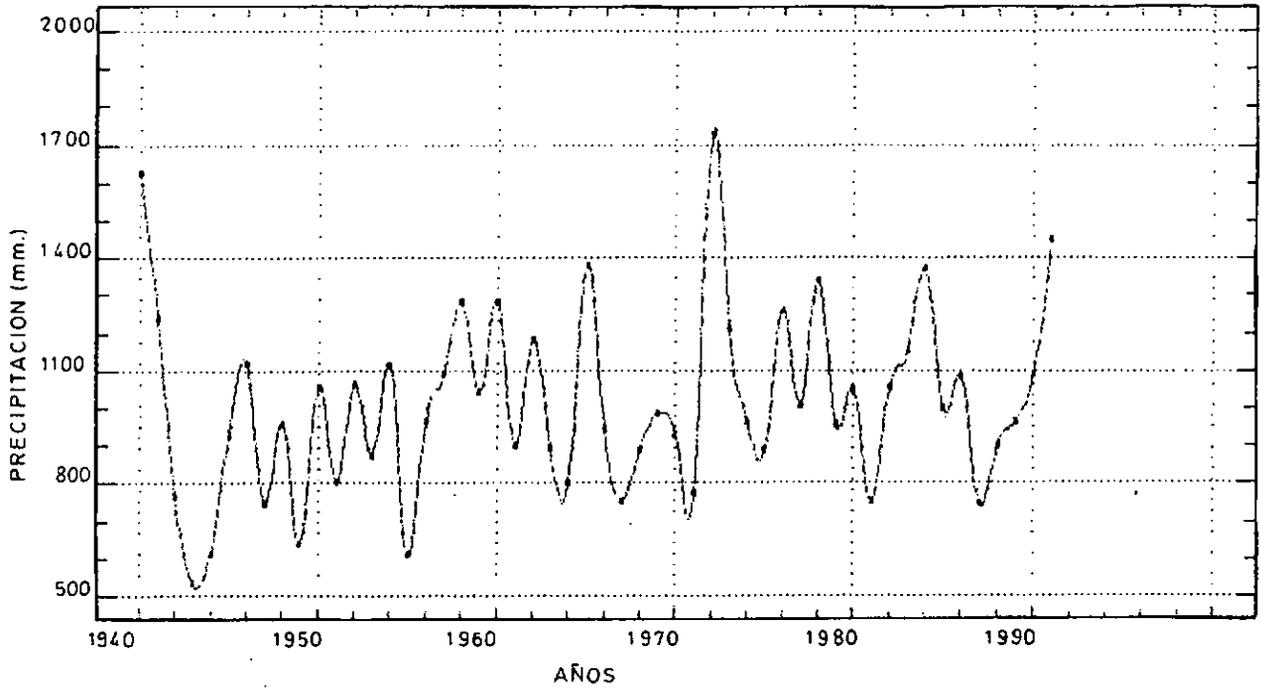


GRAFICO 1

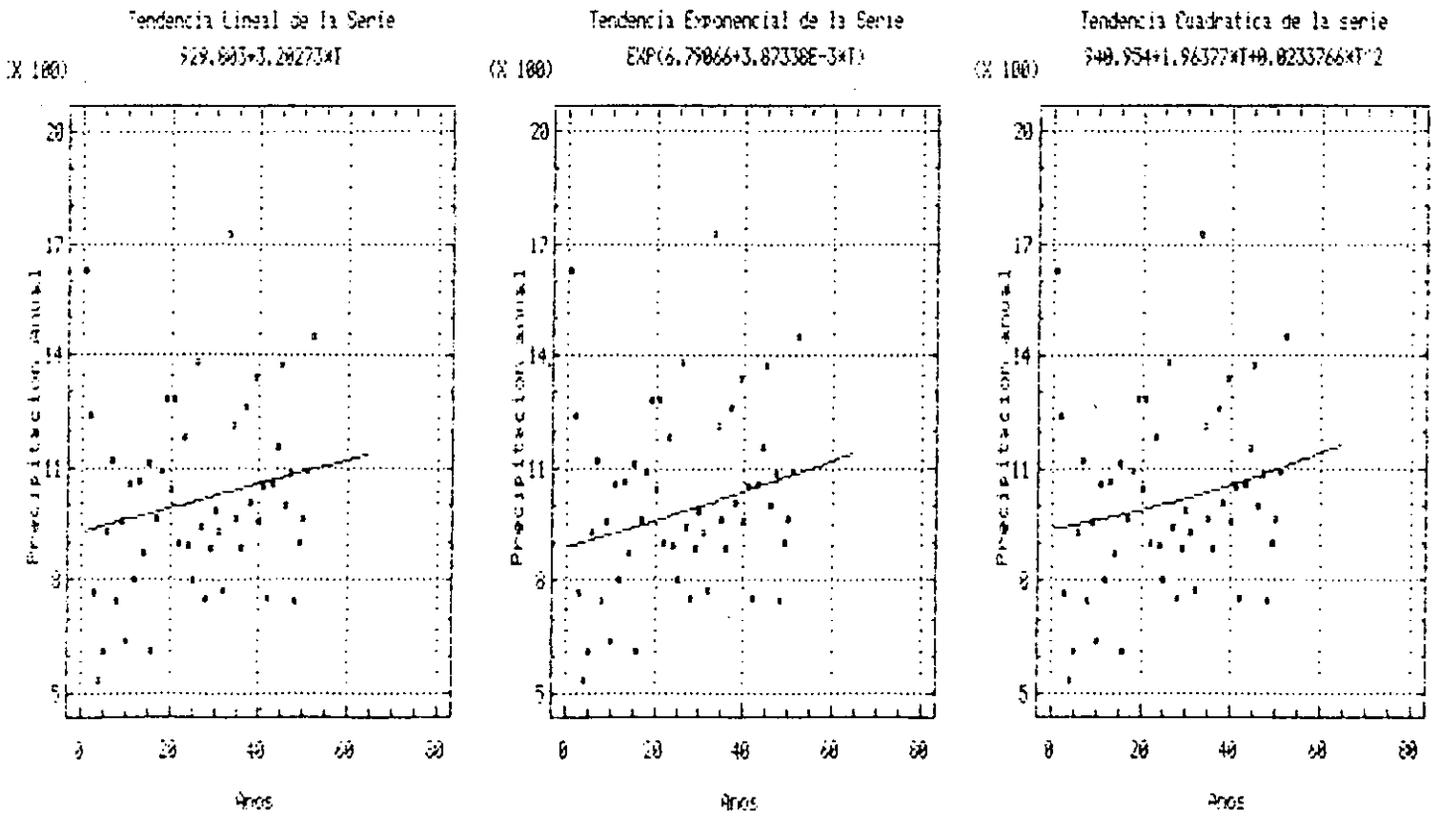


GRAFICO 2

Precipitaciones Maximias Diarias
 NEBA (Provincia de Santa Fe)

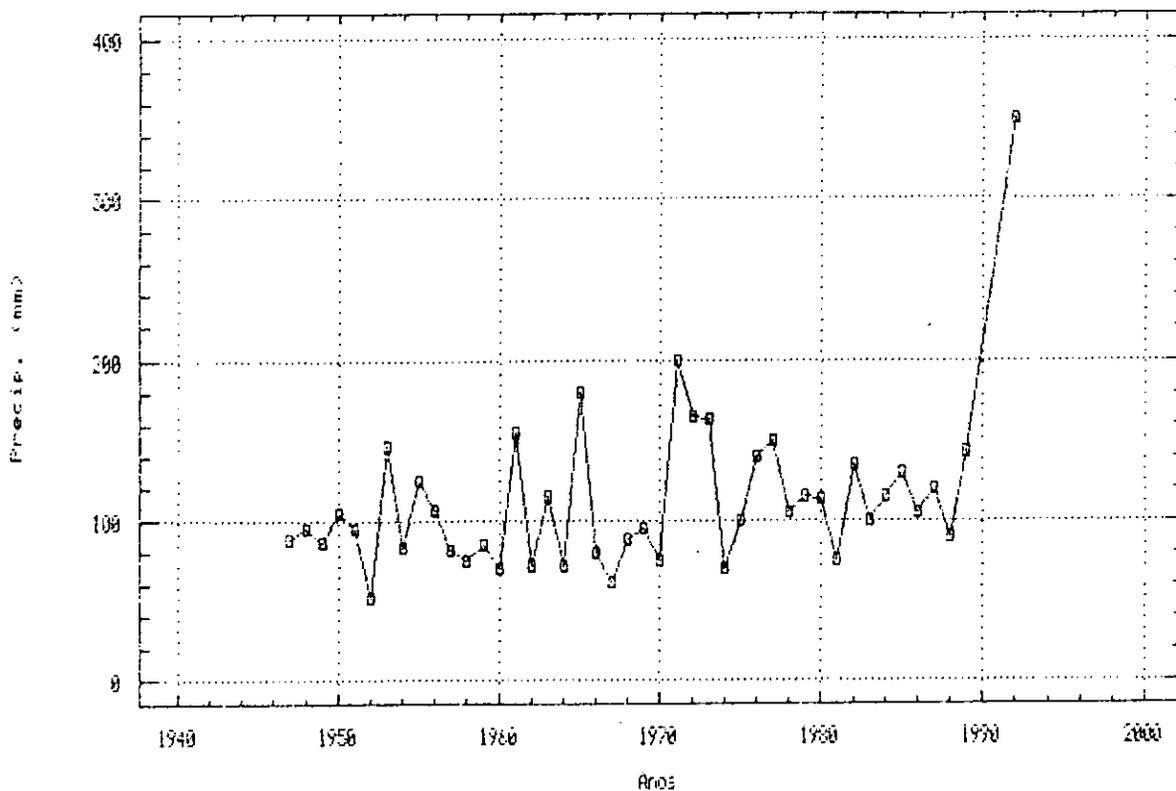
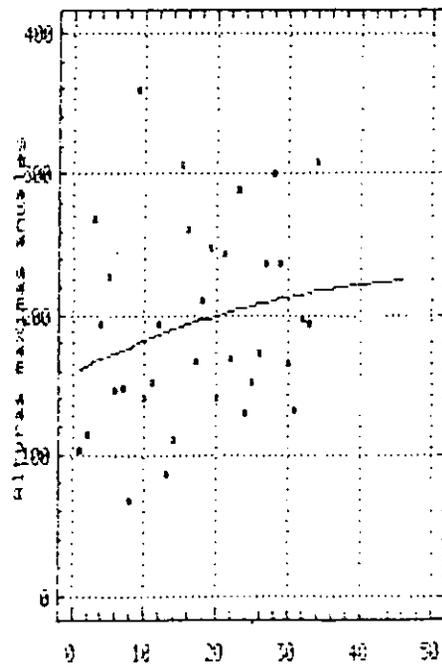
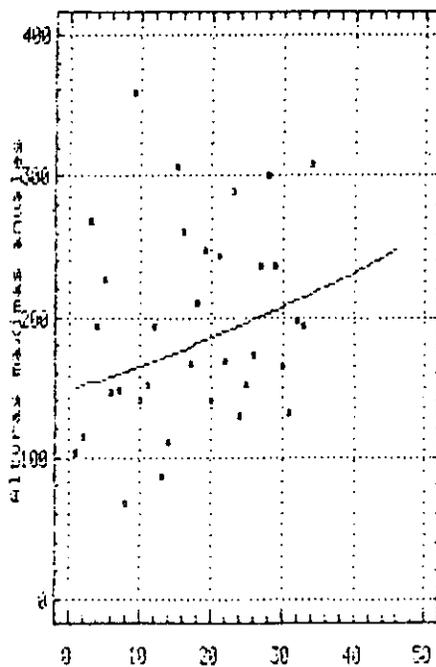
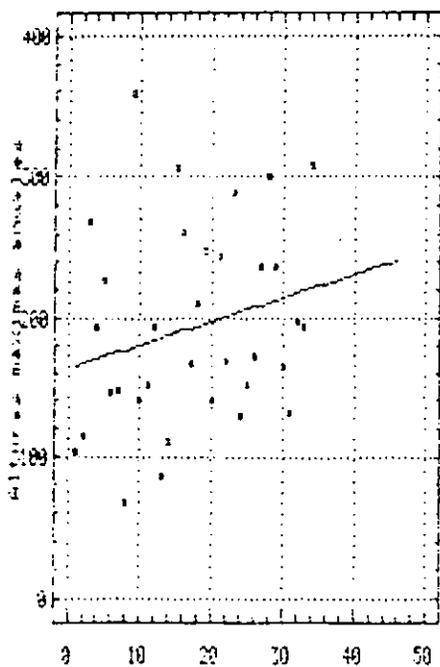


GRAFICO 4

Tendencia Lineal de la Serie
 $163.979+1.675174T$

Tendencia Exponencial de la serie
 $EXP(4.95853+0.0111982*T)$

Tendencia Cuadratica de la serie
 $159.233+2.466174T-0.0225999*T^2$



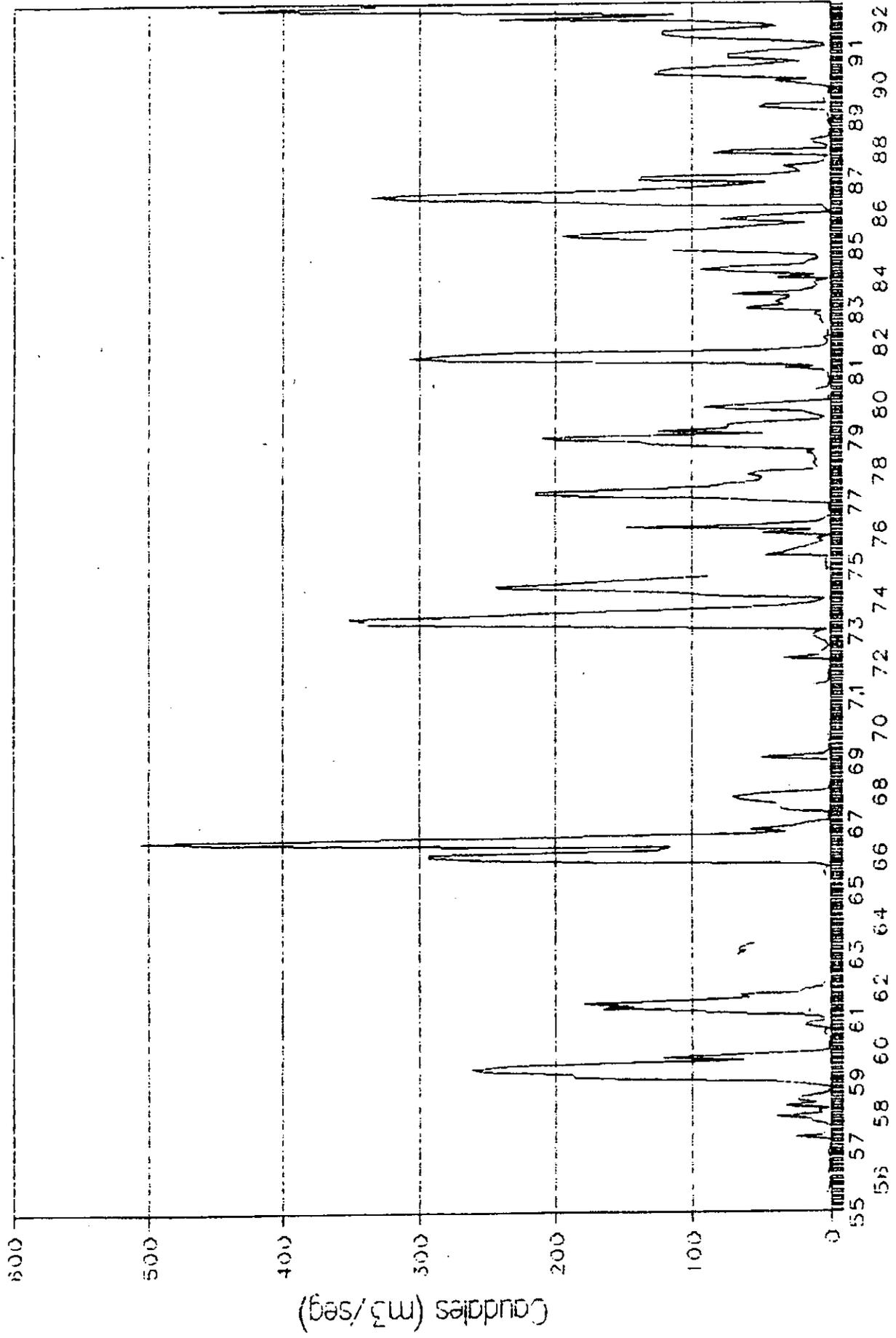
ALTURAS MAXIMAS ANUALES
 FORTIN OLMOs

GRAFICO 6

A° GOLONDRINAS

CAUDALES MAXIMOS MENSUALES

FORTIN OLMOS (55-92)



AÑOS

envergadura. En el gráfico 6 están los resultados del análisis de las tendencias de las alturas hidrométricas máximas anuales en Fortín Olmos.

Durante 1992 se aforaron los caudales picos en las secciones de Fortín Olmos y El Bonete, con valores de 440 y 550 m³/seg respectivamente. En La Higuera, no fué posible medir en el pico, por las grandes velocidades que se registraban (aforo con cable y bote), pero se estima que pasaron caudales superiores a los los 600 m³/seg, ocupando un ancho de paso del orden de los 250m. En la sección sobre el río Salado producida por la ruta provincial Nro. 39, se registró en el pico un caudal de aproximadamente 850 m³/seg. La cronología de las mediciones de caudales o alturas en los picos fué:

Lag. La Loca:	H máx = 1,30 m	2/5/92
Fortín Olmos:	Q máx = 450 m ³ /seg	12/5/92
El Bonete:	Q máx = 550 m ³ /seg	13/5/92
La Higuera:	H máx = 5,38 m	14/5/92
R 39 (Crespo):	Q máx = 850 m ³ /seg	15/5/92

Se estima que la recurrencia de las alturas máximas registradas en la crecida de 1992 son del orden de 15 años, de acuerdo a los registros de Fortín Olmos. Se consideró esta estación por ser la más completa y confiable.

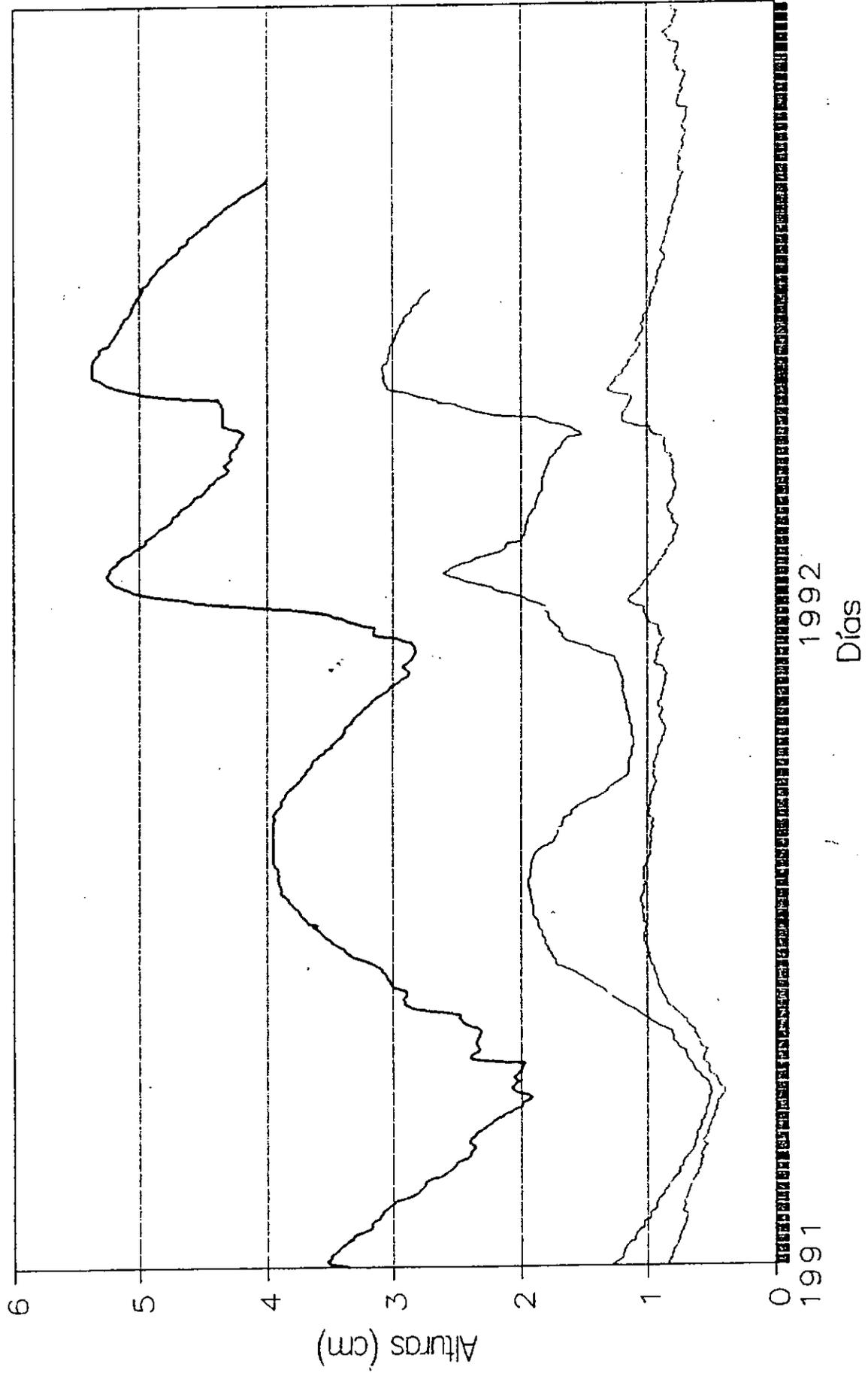
En el gráfico 7 se ploteó el registro de los hidrómetros de la laguna La Loca, del Golondrinas en Fortín Olmos y del Calchaquí en La Higuera. Puede observarse el comportamiento acompasado de las ondas de crecidas, comenzando por la sección ubicada en el extremo de aguas arriba en la laguna La Loca.

4.- DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CONDUCCION EN LAS SECCIONES DEL GOLONDRINAS CALCHAQUI.

Considerando todos los elementos vertidos hasta el momento, puede decirse que el arroyo Golondrinas y el río Calchaquí presentan condiciones de escurrimiento diferenciadas. Para estimar cuantitativamente la capacidad de conducción de cada tramo consideramos la sección de Fortín Olmos sobre el Golondrinas y la de La Higuera sobre el río Calchaquí, en función de la mayor cantidad de información relevada.

Con los datos disponibles se construyó para cada sección un gráfico que relaciona el ancho promedio que ocupa el curso de agua para cada caudal registrado (gráficos 8 y 9). Para los

COMPARACION ALTURAS HIDROMETRICAS
DIARIAS (ENERO 1991 - NOVIEMBRE 1992)



— Fortín Olmos — La Loca

ARROYO BOLONDIRINAS - TRAMO FORTIN OLIVAS
RELACION CAUDAL - ANCHO DE OCUPACION

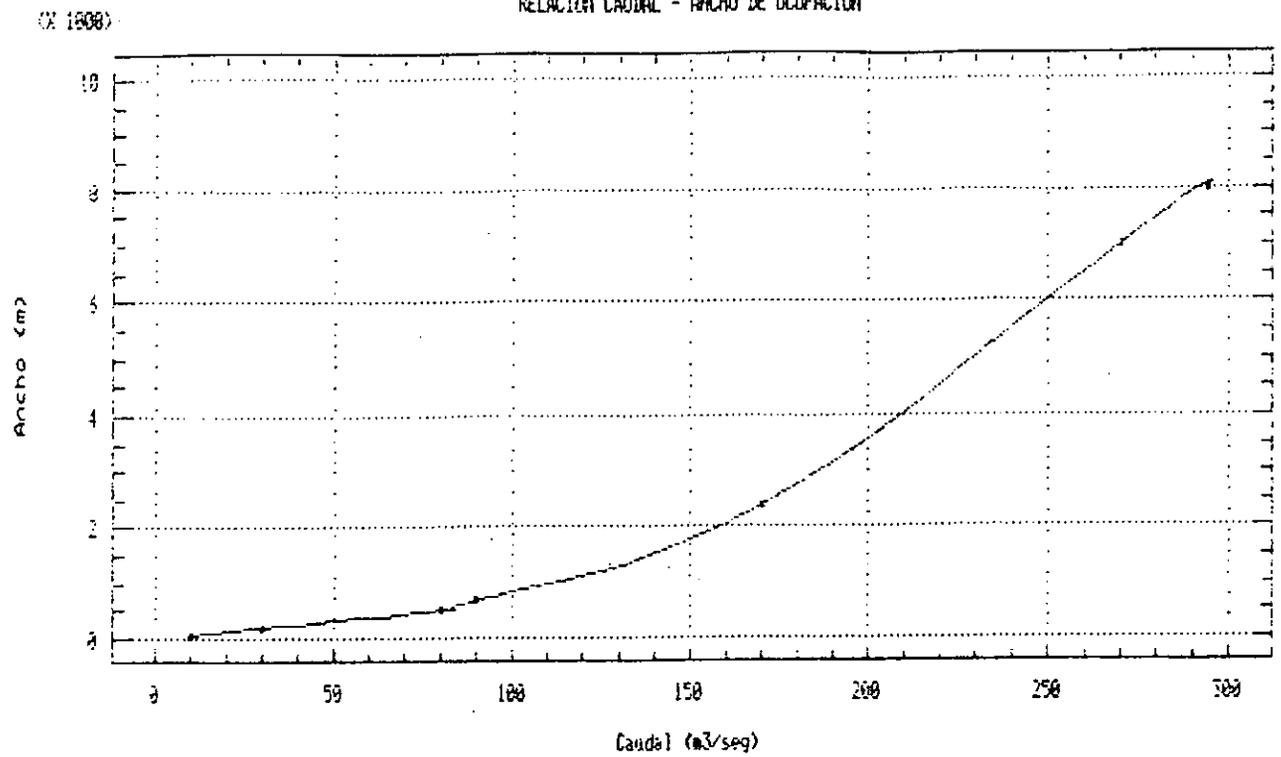


GRAFICO 8

ARROYO BOLONDIRINAS - LA HIGUERA
RELACION CAUDAL - ANCHO DE OCUPACION

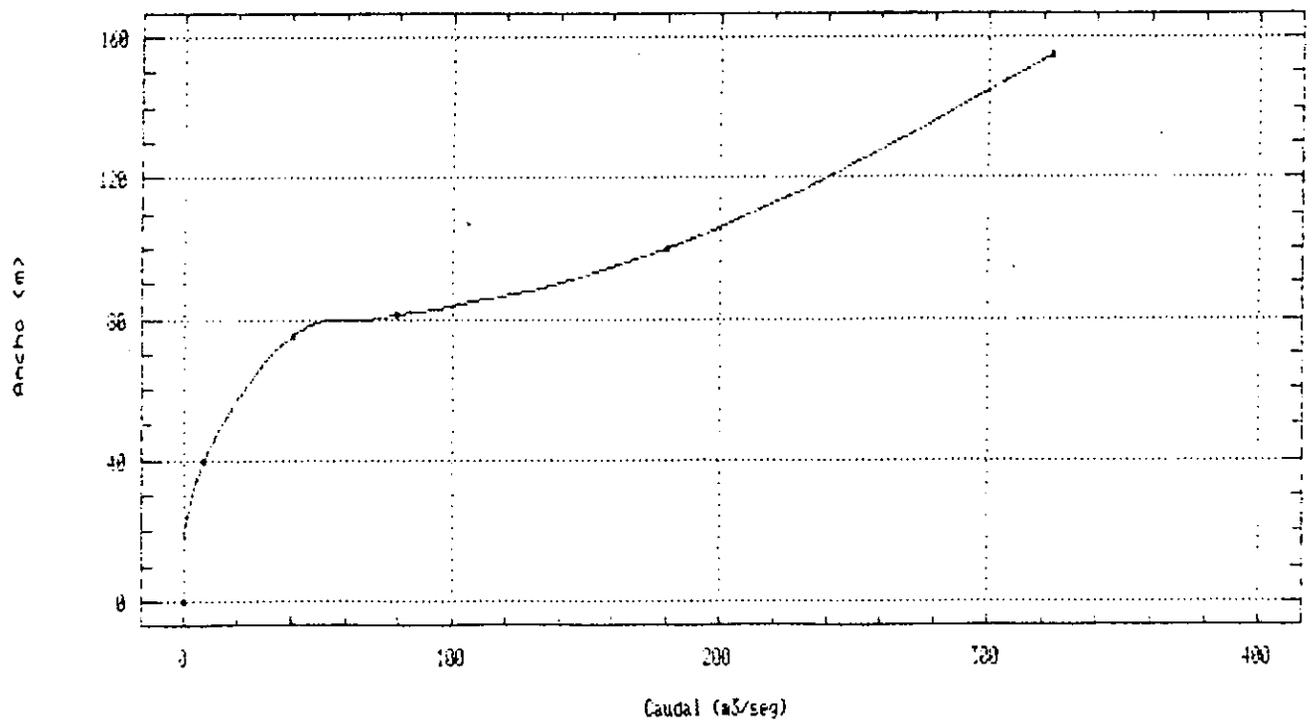


GRAFICO 9

valores de escurrimiento en cauce, no se consideró el espacio ocupado por el sistema lagunario. El trabajo se realizó con apoyo en fotografías aéreas, considerando los registros de alturas hidrométricas, los aforos, perfiles topográficos y el seguimiento de las variaciones del curso por imágenes satelitarias LANDSAT.

La comparación de ambos gráficos es elocuente con respecto al incremento de la capacidad de evacuación que se da en el Calchaquí. Allí puede verse que un caudal de 300 m³/seg en Fortín Olmos (el cuál fué alcanzado y/o superado por lo menos en 5 oportunidades entre 1955 y 1992) ocupa una faja de inundación del orden de 8.000 m de ancho. Este mismo caudal puede ser escurrido en la sección de La Higuera en un ancho de 150 m. La capacidad de conducción del cauce inferior del Calchaquí en este punto (80 m de ancho) es de 100 m³/seg.

Con respecto al Golondrinas, el cauce inferior (de 200 m de ancho) puede transportar alrededor de 40 m³/seg, y la primera terraza de inundación (de 700 m) transporta entre 90 y 100 m³/seg.

Considerando la curva de duración de caudales medios diarios en Fortín Olmos, entre 1955 y 1992 (gráfico 10), se obtiene que durante el 85% del tiempo el arroyo eroga caudales iguales o menores a 100 m³/seg.

El arroyo Golondrinas, a pesar de sus características de baja capacidad de conducción, es un sistema fluvial organizado, por lo que todo aporte adicional puede ser transportado, traduciéndose el incremento de caudal en una mayor ocupación de su valle de inundación. Este, constituye una franja continua entre 5 y 12 km a todo lo largo del curso, en períodos de grandes crecidas. En estos casos es donde interfiere con las actividades productivas que se desarrollan dentro de dicho valle. De acuerdo a los registros de Fortín Olmos (1955-1992), menos del 8 % del tiempo, el arroyo ha ocupado mas de 2.000 m de su ancho, con caudales superiores a 160 m³/seg.

Dado que este es el tramo más conflictivo, se han desarrollado gráficos en donde se puede estimar cuál será el incremento en el ancho de ocupación del arroyo, para distintos caudales adicionales en cada estado del sistema (gráfico 11). Se presenta este análisis como punto de referencia de la situación más crítica que puede presentarse en el tramo del Golondrinas, por su ubicación aguas arriba del sector en cuestión. Se considera que el curso de agua, al recibir progresivamente aportes, va incrementando su capacidad de conducción hacia aguas abajo.

La curva (*) del gráfico 11, representa una estimación del incremento en el ancho del arroyo para cada estado del mismo, considerando que se le incorpore un caudal adicional de 20 m³/seg. Puede verse que, para caudales inferiores a los 80-100

FRECUENCIAS DE CAUDALES – FORTIN OLMOS
PERIODO 1955 – 1992

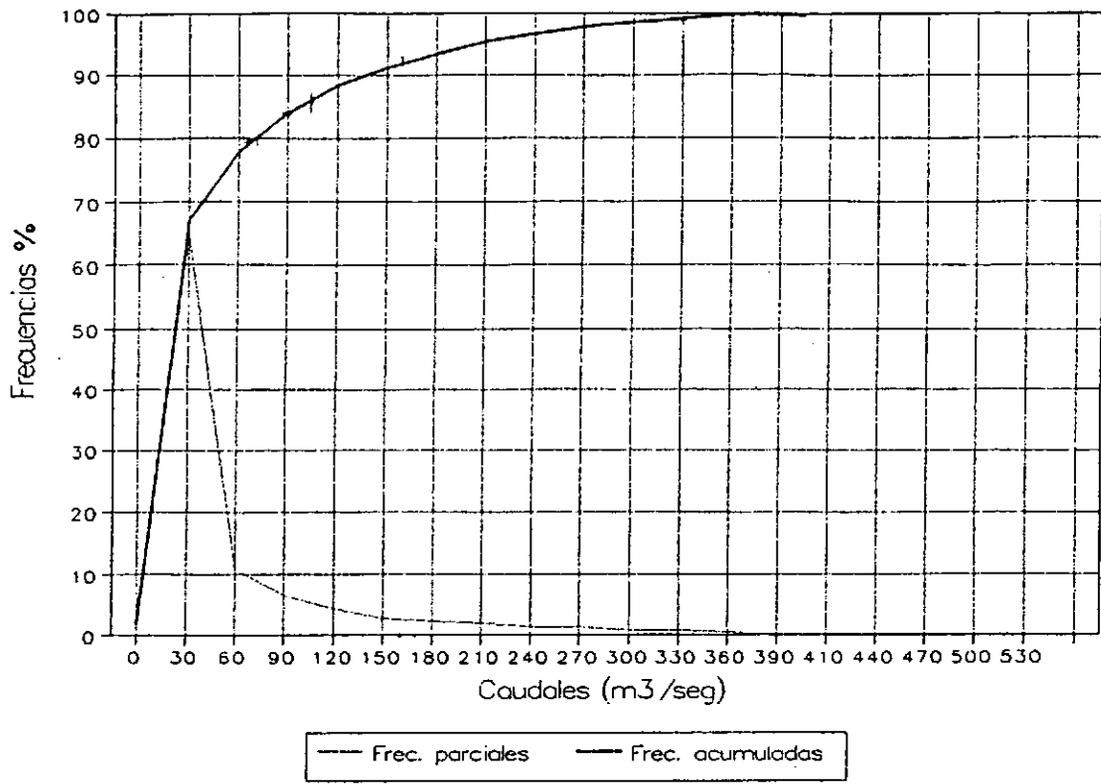


GRAFICO 10

ARROYO GOLONDRINAS - TRAMO FORTIN OLMOS
RELACION CAUDAL - ANCHO DE OCUPACION
INCREMENTOS PRODUCIDOS CON Q. ADICIONAL DE 20 m³/s.

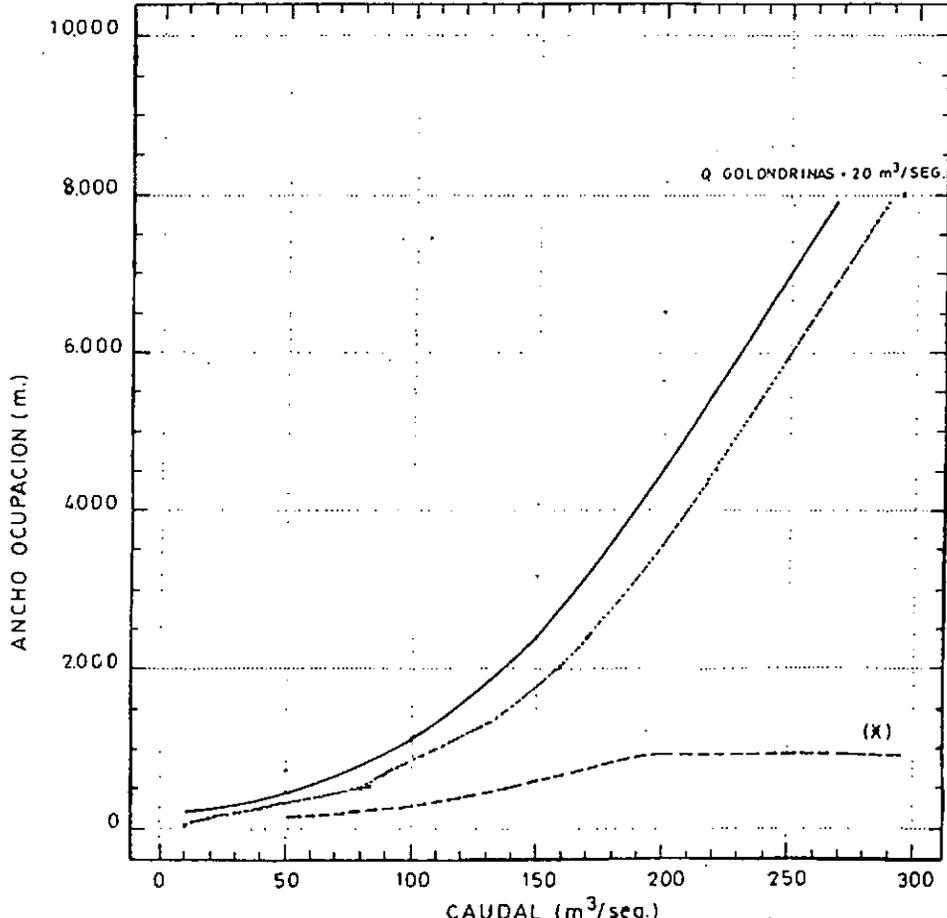


GRAFICO 11

m³/seg, se produce un ensanchamiento de entre 200 y 300 m, y el arroyo los contiene en su valle inferior de inundación. Según los registros históricos, estos tienen una duración de más del 85 % del tiempo (gráfico 8). Cuando el arroyo transporta caudales entre 100 y 200 m³/seg, el ensanchamiento que se produciría está entre los 300 y 800 m, valor que se mantiene estable hasta los caudales máximos. Es importante destacar que, cuando el arroyo supera los 100-150 m³/seg, lo hace respondiendo a una inundación generalizada en el área oeste, en donde se produce recubrimiento del 100 % de la superficie adyacente al curso de agua.

Otro elemento a tener en cuenta es la distinta oportunidad de ocurrencia de los anegamientos en la zona oeste y los comienzos de las crecidas del Golondrinas. Esto se ha detectado a través de imágenes satelitarias en varias oportunidades. En estos casos, se da un período de tiempo en que los ingresos de los canales ocurren cuando el cauce está desocupado, no generando interferencia alguna en el valle de inundación.

5.- INFLUENCIA DE LAS OBRAS CONSTRUIDAS Y A CONSTRUIR

Se analizará en este punto la repercusión en el sistema de las obras de canalizaciones construidas y a construir tanto en el noroeste santafesino (incluyendo la zona de influencia santiagueña), como las existente en el suroeste chaqueño. Por otra parte, se considerarán también, las obras de compensación hidrológicas proyectadas y las que están actualmente en ejecución.

5.1 - Obras de saneamiento construidas con desagüe sobre el sistema Golondrinas - Calchaquí:

Los sistemas de canales construidos son, en general, de pequeña a mediana envergadura, ya que se estima que la mayoría puede evacuar de 0,5 a 2 m³/seg, y ninguno supera los 4 m³/seg. Casi todos tienen sección irregular a lo largo de la traza, y no cumplen con el requisito de ganar amplitud hacia aguas abajo, sino que por el contrario, van disminuyendo su sección a medida que van llegando hacia áreas más bajas y deshabitadas. Tal es así que, salvo los ejecutados por el Comité Hidrovincial de Tostado, que llegan al río Salado, ninguno de todo el resto de los construidos llegan a un curso organizado de escurrimiento. Este hecho ocasiona graves problemas localizados en los puntos de finalización de las obras.

A fin de poder analizar el problema, esquematizamos la influencia de las obras construidas en tres sectores (ver plano 03):

1- Sistema de canales del Suroeste chaqueño con terminalidad en el área próxima a Gato Colorado: el área de aportes se extiende al Norte de la localidad de Santa Silvina. De acuerdo a las dimensiones de los que desaguan de alguna manera en las inmediaciones de la Cañada de las Víboras, se estima que pueden aportar como máximo entre 6 y 8 m³/seg. El efecto que estos producen sobre el sistema Golondrinas se considera que es amortiguado en gran medida por la distancia que debe recorrer el agua a través de una zona deprimida de gran tamaño. Esta almacena en períodos de inundación miles de hm³ en superficie (10 m³/seg significa un aporte de menos de 1 hm³/día).

2- Sistema de canales del noroeste santafesino situados al norte de la ruta provincial Nro. 32: comprende las obras realizadas por los comités de cuenca de Villa Minetti, San Bernardo y Santa Margarita - El Nochero. Los canales que llegan a las cercanías de la Cañada de las Víboras aportan alrededor de 6 m³/seg en situación de máxima. Existe un canal que llega a las cercanías del arroyo Golondrinas, pero de muy pequeñas dimensiones. Según el relevamiento por imágenes satelitarias recientes (1992), puede verse que en situaciones de inundación regional, este produce un efecto mas bien de retardo del escurrimiento por embalse del agua contra el montículo, producto de la excavación.

3- Sistema de canales del noroeste santafesino situados entre la ruta provincial Nro. 32 y el río Salado: comprende las obras realizadas por el Comité Hidroviál de Tostado, las del Comité de Cuenca de Pozo Borrado, parte de las encaradas por el Comité de Villa Minetti-San Bernardo, y las situadas en el límite con Santiago del Estero. Todo este sistema de obras tiene dos puntos de llegada a la ruta 13, y, al momento de realizado el estudio no había conexión con el arroyo Golondrinas. De acuerdo a las dimensiones de los canales en el tramo próximo a la ruta, los caudales máximos pueden sumar 3 m³/seg, en las inmediaciones de la hidroviál 290-s y la ruta provincial nro. 13 (incluye el canal interdistrital Tostado-Pozo Borrado, el de la 291-s y el de la 290-s). Los caudales de llegada a la ruta provincial Nro. 77 de esta línea son sensiblemente mayores. Más al sur se encuentra el canal que transcurre paralelo a la ruta provincial 190-s, con una erogación máxima aproximada de 1 m³/seg.

Los dos primeros conjuntos de obras tienen influencia sobre el Golondrinas desde la sección sobre la ruta provincial Nro. 40 (próxima a Fortín Olmos) hacia el Norte. El tercer conjunto de obras desagua en el tramo entre la ruta nacional Nro. 98 y la laguna El Palmar.

5.2 - Obras de compensación hidrológica del sistema Golondrinas-Calchaquí:

A - Sistema de canales de la laguna La Loca hacia el arroyo Malabrigo: comprende la adecuación de los canales principal y secundario (ver plano 03), que no funcionan desde su construcción. Actualmente, se está finalizando el canal secundario (que puede transportar en crecidas un caudal de 6 m³/seg), previniéndose el comienzo del principal en una próxima etapa. Este sistema, con una capacidad de evacuación total máxima del orden de 14 m³/seg producirá un efecto de compensación hidrológica sobre el sistema Golondrinas, al aliviar la entrada de caudales al mismo derivando las aguas hacia el arroyo Malabrigo.

B - Influencia de la Línea Paraná: este conjunto de obras tiene el objeto de conducir los excedentes del desagüe de áreas del Chaco (ver plano 04). Estas producirán un impacto diferente sobre el sistema Golondrinas según el tramo del que se trate.

Los tramos I y II (actualmente a comenzar su construcción), conjuntamente con la sección del tramo III, derivarán los excedentes que actualmente conduce el canal construido sobre la traza del tramo III, y que desagua en los campos próximos al límite con Santa Fe. El impacto de esta obra se verificará principalmente en el sistema de la Cañada Ombú (en las nacientes del Arroyo del Rey). Asimismo, el canal ya construido en el Chaco sobre la traza del Tramo III, produce un desvío hacia el Este de los aportes que se generan en el área de influencia del canal de Du Graty. Estos, en el estado natural de la región, escurrían hacia el sur, por una serie de bajos interconectados, al oeste del monte de La Viruela, aportando hacia el Golondrinas.

El tramo IV proyectado es el que tendrá el mayor impacto sobre el arroyo Golondrinas. Este no solo conducirá hacia el Paraná los aportes de los canales ya construidos (area próxima a Gato Colorado), sino que tendrá un efecto secundario muy importante en todo el frente de aportes del sur chaqueño.

5.3 - Modelación matemática y evaluación de los efectos de las obras:

De la simple comparación entre los caudales instantáneos que pueden conducir las obras y los que puede transportar el sistema fluvial (aún por el arroyo Golondrinas), puede deducirse la influencia relativa que estos tendrán. Es decir que, éstos

pueden ser evacuados con un bajo impacto en las actividades productivas de la zona de influencia de ese curso de agua. Pero, dado que todas las obras terminan en un punto alejado del cauce del arroyo, y por otra parte, que era necesario verificar una acción permanente en el tiempo, se desarrolló un estudio hidrológico integral en un sector del área de aportes.

El área analizada está ubicada entre la ruta provincial Nro. 32 y el río Salado (ver planos 01 y 05), de alrededor de 1.100.000 has. Es la que ingresa sus escurrimientos al tramo ubicado entre El Bonete (ruta nacional nro. 98) y el río Salado por el lado Oeste. Esta zona involucra al área de influencia de los comités de cuenca de Pozo Borrado, Tostado, y una parte de los de Villa Minetti y San Bernardo.

El estudio consistió en la aplicación del modelo matemático de simulación hidrológica de llanuras inundables (MODBAL), desarrollado por esta Unidad Técnica. Se trata de una estructura de cálculo conceptual, de parámetro distribuido, es decir que considera unidades de área menores en donde se realiza el cálculo. En el plano 05 puede verse la modulación y topología que sirvió de base a la modelación. Para cada módulo se obtiene una estimación de las siguientes variables: volumen de inundación en superficie, caudales escurridos entre las secciones de transferencias entre módulos, niveles freáticos, humedad del suelo, evapotranspiración real y erogación de los canales proyectados y/o construidos.

El paso de tiempo usado es de un cuarto de mes, ejecutándose el cálculo seriado, abarcando el período entre enero de 1960 y mayo de 1992. De esta manera, se simularon las inundaciones de gran magnitud ocurridas dentro de este lapso de tiempo, determinando su importancia relativa en cada palmo de terreno. También se pudo analizar el comportamiento actual de las inundaciones con las obras ya construidas, la situación futura, con las proyectadas y la que se hubiera producido si no existieran ningún tipo de obras.

Se utilizaron datos diarios de 50 estaciones pluviométricas, previo análisis de consistencia. El dato de evapotranspiración potencial fué determinado a partir de la evaporación de tanque registrada en estaciones próximas a la zona, con paso de tiempo mensual.

Por otra parte, este modelo integra otras variables como los parámetros del suelo (capacidad de almacenamiento, composición de los estratos profundos, permeabilidad, etc), dinámica hídrica superficial y evolución de los cuerpos de agua. Los resultados fueron contrastados con mediciones de caudal en las secciones determinadas por el terraplén ferroviario que une Tostado y Villa Minetti, las rutas nacionales Nro. 95 y 98, y por la ruta provincial Nro. 13. Además se testearon los niveles freáticos calculados con datos medidos, y el comportamiento de

todas las variables en general. Estas se interrelacionaron en forma lógica sin tendencias erróneas a lo largo del extenso periodo de tiempo analizado.

Este modelo ha sido usado en trabajos anteriores, por lo que para mayor ampliación de su base teórica, se deberá remitir a los informes producidos a tal efecto.

Para analizar el comportamiento del sistema Golondrinas-Calchaquí, se estableció como condición de entrada el caudal registrado en base al hidrómetro de Fortín Olmos, sobre la ruta provincial Nro. 40.

A los fines de este estudio, y como dato de referencia, para el análisis, se presentan los resultados obtenidos en el sector de influencia de la hidrovial 290-s, por afectar al tramo más desfavorable del sistema (arroyo Golondrinas).

Se realizaron corridas en tres situaciones diferentes del sistema:

a- sistema natural, sin obras.

b- sistema con las obras ya construidas, cuyos caudales estimados pueden verse en el gráfico 12.

c- sistema con obras construidas y proyectadas, considerando un caudal sobre el Tramo I de la 290-s (versión de mínima), de 6 m³/seg, y el adecuamiento del tramo entre la ruta provincial Nro. 77 y la 13 (ver gráfico 13).

A fin de facilitar el análisis, se ha dispuesto la representación gráfica de los resultados, detallando las distintas situaciones ocurridas en algunos puntos de interés.

Se consideraron a modo de ejemplo, los resultados obtenidos en inundaciones reales, de distinta envergadura. Estas tienen una magnitud diferente según se trate del curso del arroyo o de sectores de la región de aportes.

Por ejemplo, en el gráfico 14 se representa la simulación obtenida para el módulo 30. En este sector finalizan actualmente el canal ya construido sobre la ruta 290-s y el denominado "interdistrito". Estos canales terminan en campo abierto (en las inmediaciones de la ruta provincial nro.13), sin que exista un sistema de transporte natural que los conduzca ordenadamente, produciendo un efecto localizado sobre este módulo (cuya superficie es del orden de las 110.000 has) y sobre el módulo número 24, por insuficiencia de sección. En dicho gráfico, puede verse la estimación en distintas situaciones de la inundación ocurrida en el año 1984, representada por volúmenes de inundación en superficie. La situación con obras ya construidas es altamente perjudicial, ya que produce un empeoramiento sensible de la situación de anegamiento, llegando a

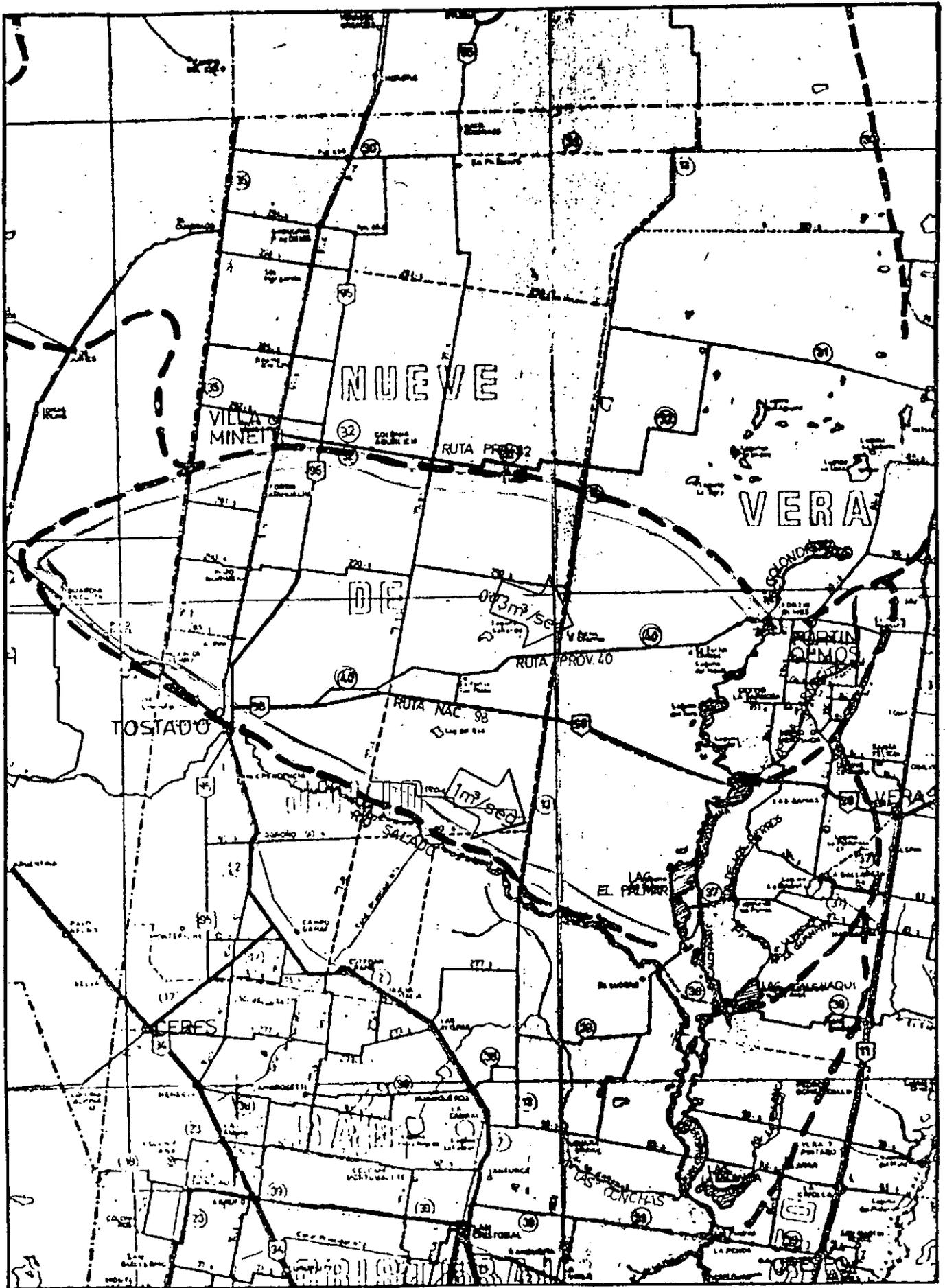


GRAFICO Nº 12

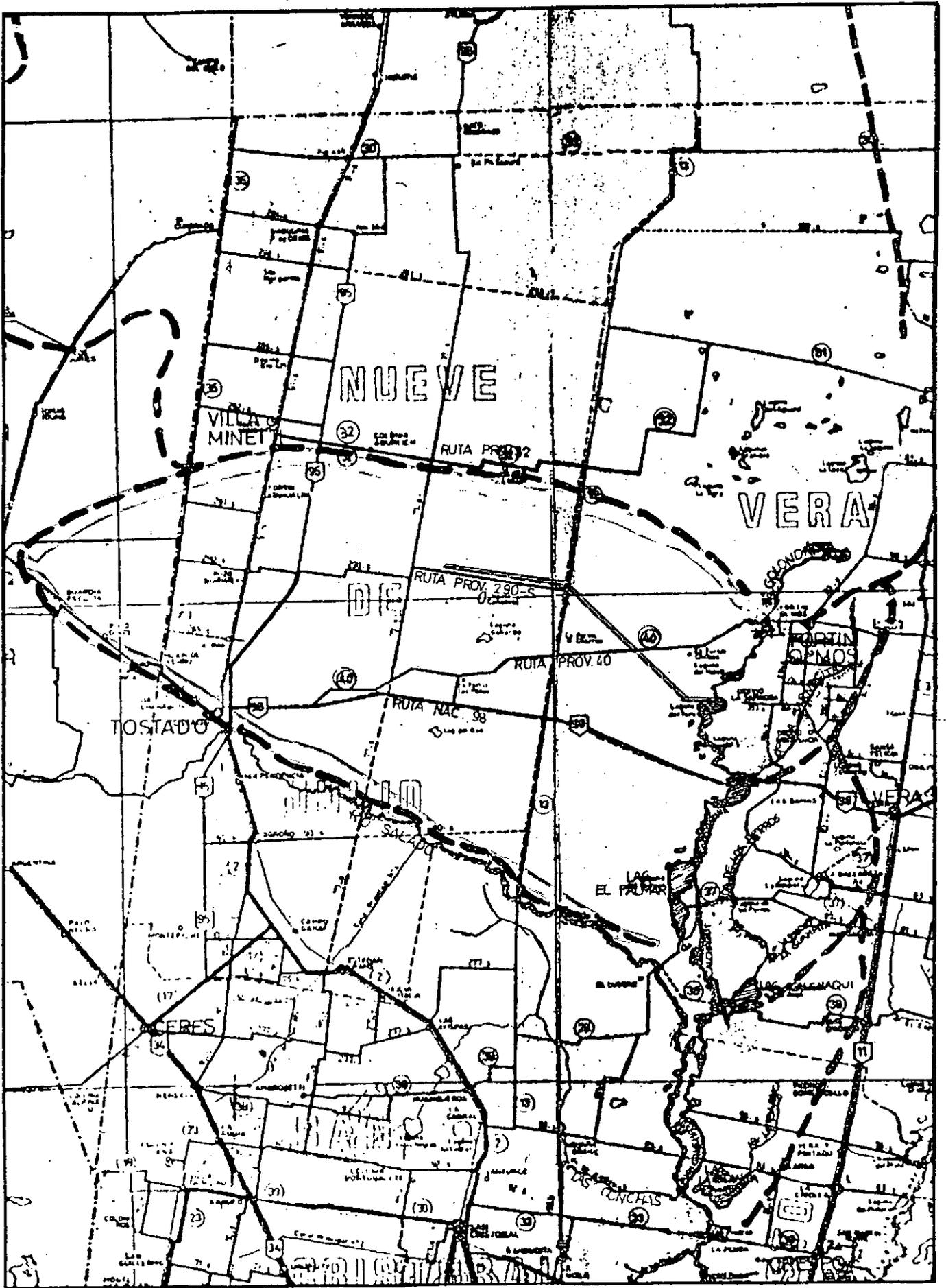
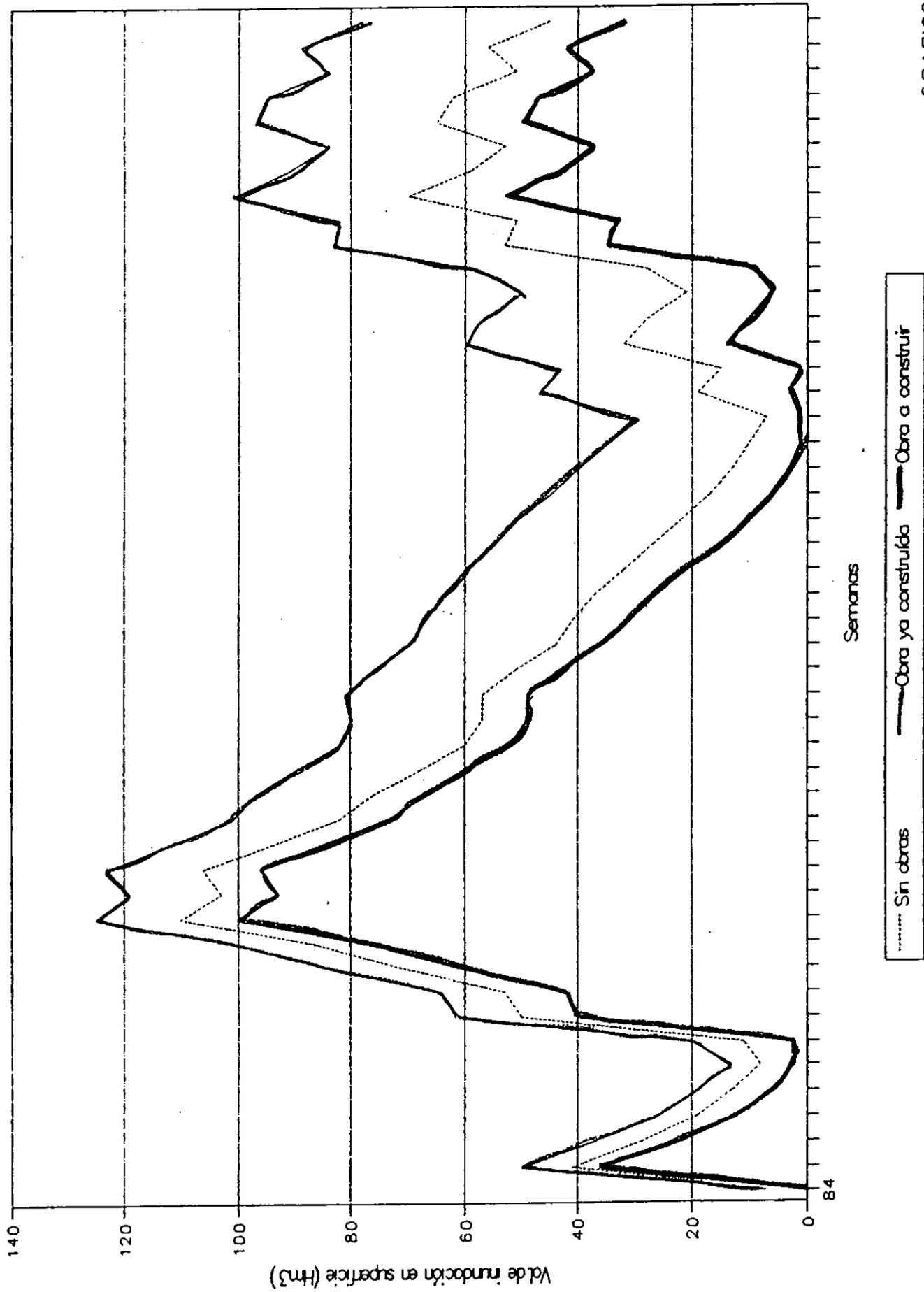


GRAFICO N° 13

AREA CANAL 290 ENTRE R. 13 Y A° GOLONDRINA
MODULO 30 (Enero - Diciembre 1984)



duplicar el volumen yacente en superficie en algunos periodos de tiempo, en relación a lo que se hubiera producido si no existieran obras construidas. Vemos que en caso de construirse la obra de paso hacia el Golondrinas (canal 290 - Tramo I), en su versión de mínima, la situación de inundación del módulo sería de un mejoramiento en relación a la situación del sistema natural, sin ninguna obra construida.

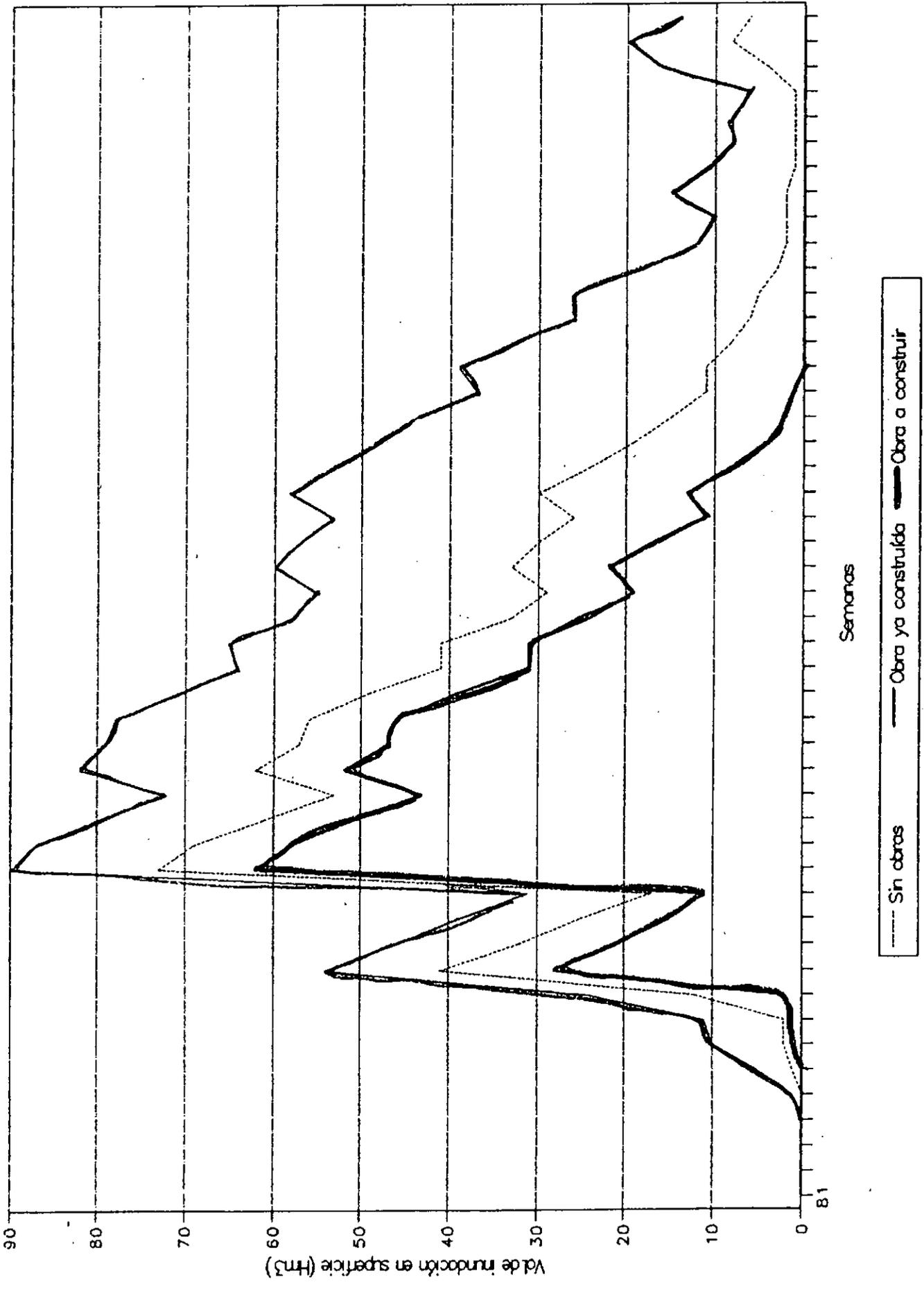
Para el caso de la inundación de 1981, en el módulo 30, este efecto es todavía más categórico (ver gráfico 15). Esto es así, ya que va en relación a los volúmenes relativos yacentes en superficie: a menor volumen de inundación, mayor es el impacto de las obras, tanto el perjuicio de las ya construidas, como el beneficio de las a construir.

Con respecto al impacto sobre el sistema Golondrinas-Calchaquí, en los gráficos 16 y 17 puede verse la comparación de los volúmenes escurridos por semana, en las crecidas de 1981 y 1984, en una sección aguas abajo de la Laguna El Toro (transferencia entre módulos 36 y 37). Los gráficos representan los resultados de la simulación, que calcula la transferencia de volúmenes sobre el Golondrinas, considerando los entrantes por la sección de la ruta provincial Nro. 40 (condición de borde) y los escurrimientos en cuenca y por los hipotéticos canales en la zona de aporte.

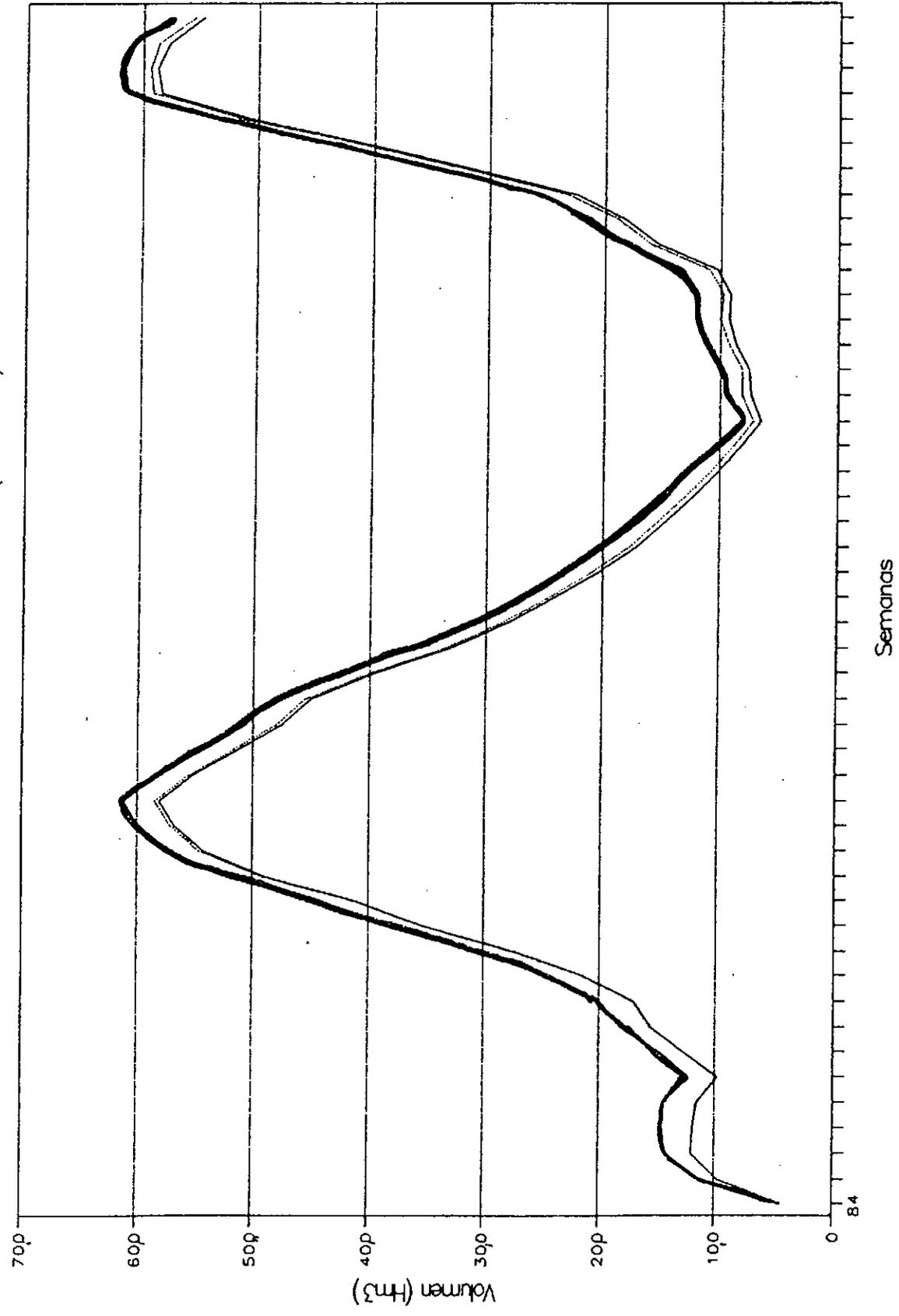
Según puede verse en los gráficos 16 y 17, la estimación realizada pone en relieve el bajo impacto producido por los canales construidos. En la situación de 1981, se confunde con la curva de la situación sin obras. En el caso de 1984, hay una separación apenas perceptible respecto a la situación sin obras. Considerando el caso del proyecto del tramo I de la hidrovial 290-s, podemos ver una muy pequeña influencia en el año 1981 (menor al 1 o 2 %). En el año 1984, los volúmenes que pasaron tuvieron un pico del orden de 1/3 de los que pasaron en 1981, por lo cuál, el impacto parece relativamente mayor. De acuerdo a los registros de Fortín Olmos, en el año 1984 los picos de caudales estimados, apenas si alcanzaron los 100 m³/seg (con lo cuál estamos cercanos al escurrimiento encauzado del arroyo), mientras que en 1981, alcanzaron a 300 m³/seg, constituyendo una crecida de carácter extraordinario.

En el gráfico 18, se representa las simulaciones obtenidas para la crecida extraordinaria de 1973, en donde los caudales picos superaron los 350 m³/seg en Fortín Olmos. Allí puede verse que no se registra un impacto sensible sobre los volúmenes escurridos. Esto se da por la importancia relativa de los caudales erogados por el canal respecto a los que transporta el arroyo en ese evento.

ÁREA CANAL 290 ENTRE R. 1 3 Y COLONDRINAS
 MODULO 30 (Enero -- Diciembre 1981)

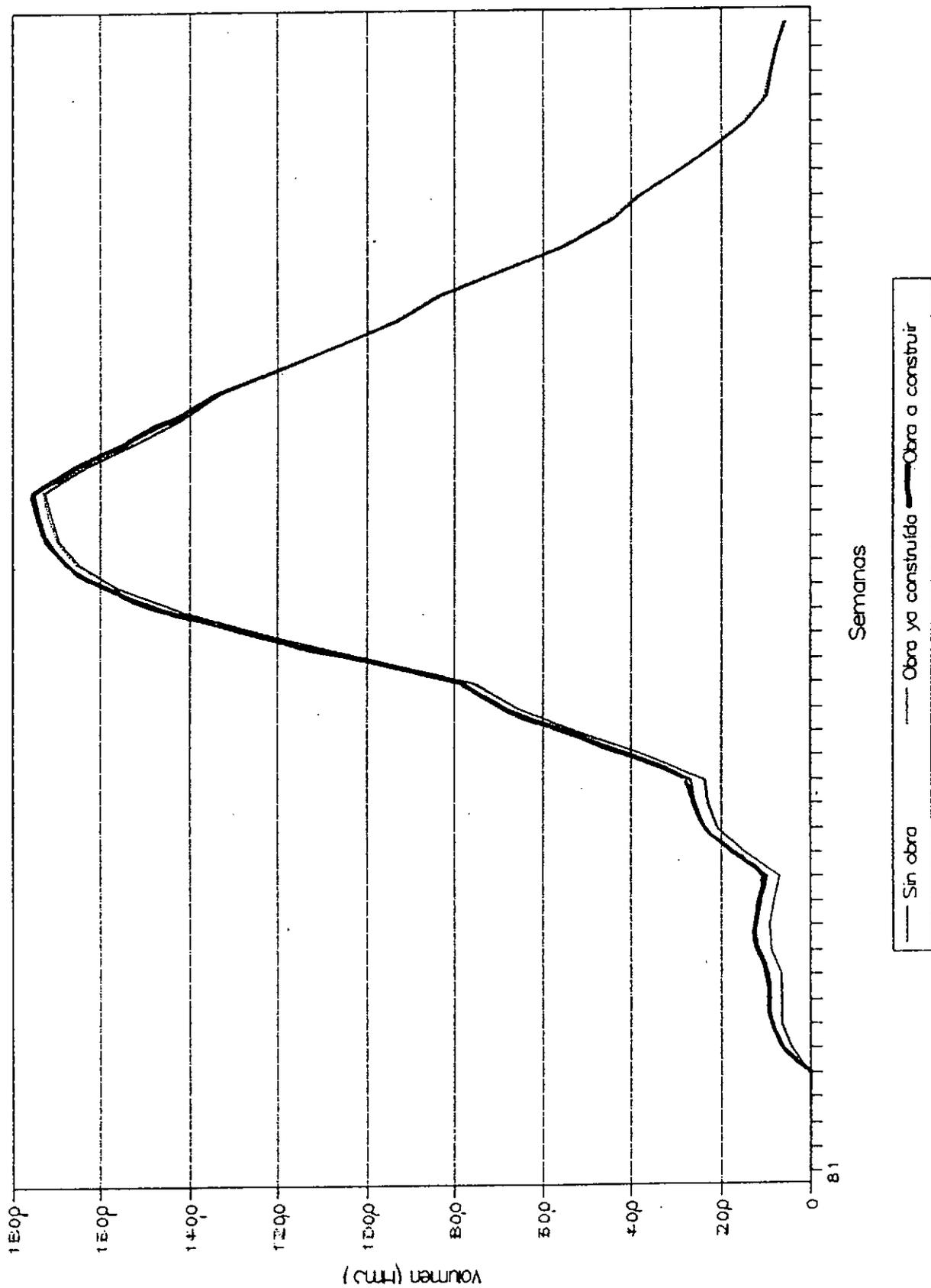


VOLUMENES ESCURRIDOS POR EL GOLONDRINAS
 AGUAS ABAJO LAGUNA EL TORO (1984)

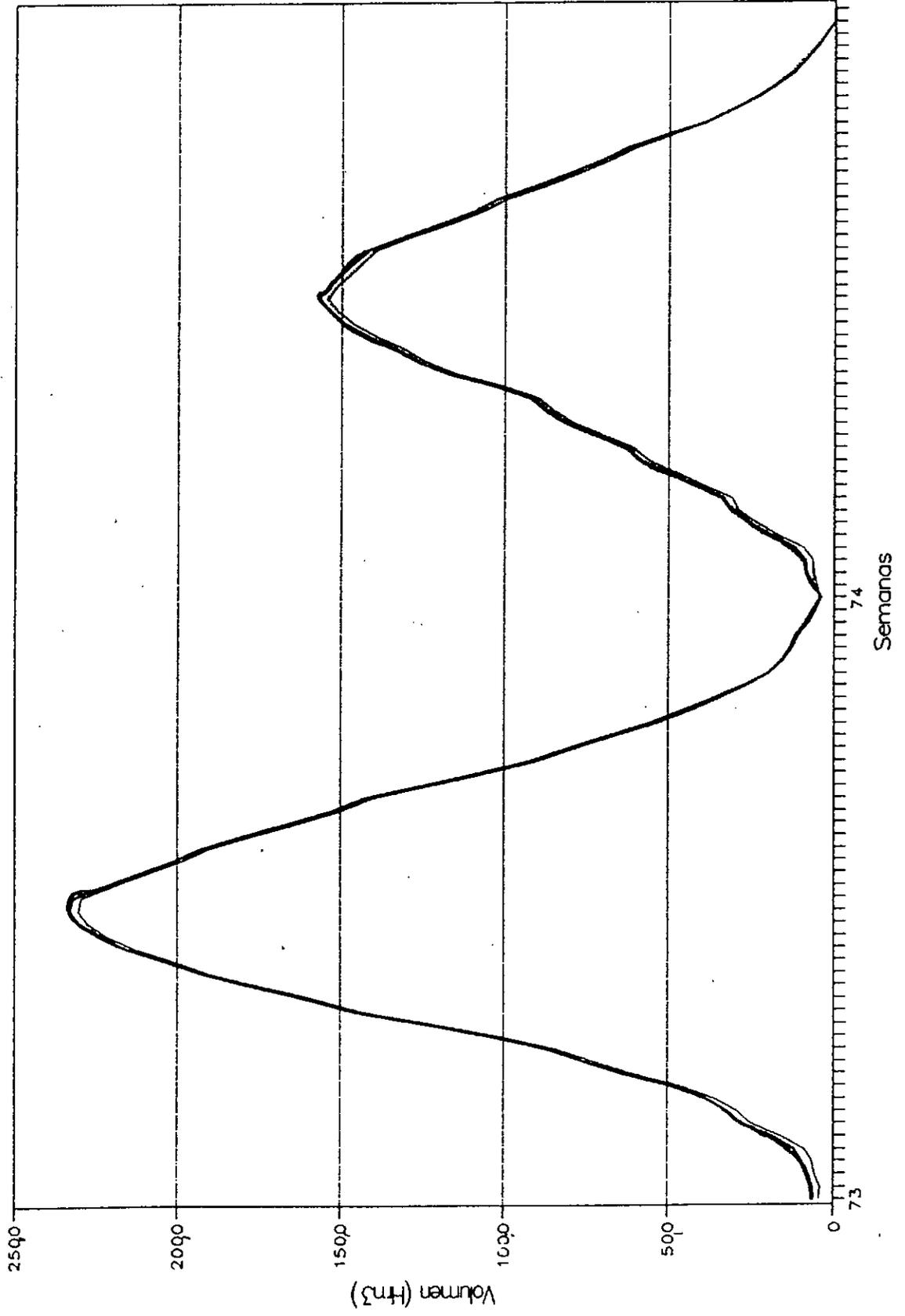


— Sin obra - - - Obra ya construida - - - Obra a construir

VOLUMENES ESCURRIDOS POR EL GOLONDRINAS
 AGUAS ABAJO LAGUNA EL TORO (1981)



VOLUMENES ESCURRIDOS POR EL GOLONDRINAS
 AGUAS ABAJO LAGUNA EL TORO (73 - 74)



----- Sin obra
 ----- Obra ya construida

6.- CONCLUSIONES

1- El sistema Golondrinas - Calchaquí presenta dos tramos diferenciados respecto a la capacidad de escurrimiento:

a) el arroyo Golondrinas, hasta la salida de la laguna El Palmar: aquí se registran las menores pendientes, debiendo ocupar una faja de inundación de varios kilómetros para poder transportar los caudales generados en máximas crecidas. Estas se producen generalmente cuando hay una situación de anegamiento generalizado en el área de aportes del Oeste. Por lo tanto, un incremento del orden de los 20 m³/seg aplicado directamente sobre el curso, no producirá una variación sensible de la situación imperante en el valle de inundación del arroyo.

Además, aunque el cauce y valle de inundación tienen baja capacidad de escurrimiento, se trata de una vía de drenaje continua y organizada, por lo tanto, todo caudal artificial que se le agregue, puede ser transportado. Este incremento de caudal se traduce en un aumento de la faja de ocupación del arroyo.

De acuerdo a estudios estadísticos de los datos registrados en Fortín Olmos, puede decirse que durante el 85 % del tiempo, el curso tendrá posibilidades de evacuar un caudal adicional de 20 m³/seg, sin producir desbordes. En los períodos de crecidas, el arroyo incrementará su ancho en un 10% como máximo, dentro de una situación de inundación generalizada.

b) el río Calchaquí, desde la salida de la laguna El Palmar hasta su confluencia con el río Salado: el estudio de la dinámica hídrica de su faja de escurrimiento, y las mediciones efectuadas en algunas secciones, indican que este tramo, aún en los períodos de aguas máximas, conduce los caudales en forma encauzada. El máximo ancho observado fué del orden de los 200 a 300 metros en la sección de aguas abajo de la laguna Calchaquí, cuando se estima que escurrían alrededor de 600 m³/seg.

Esto significa que el río puede absorber caudales de 20 m³/seg o aún mayores, sin que se produzca un impacto sensible en la ocupación de su valle de inundación.

2- De los estudios realizados sobre las causas de la ocurrencia de las últimas inundaciones se puede deducir que:

a) se aprecia un progresivo aumento de la frecuencia y magnitud de las crecidas, y que este es atribuible fundamentalmente al aumento progresivo del promedio interanual de la lluvia. Diversos estudios sobre las tendencias de esta variable así lo demuestran.

b) las obras construidas, si bien producen un efecto de agravamiento de esta situación, sus dimensiones y características constructivas relativizan su influencia global sobre el sistema a

valores no significativos hasta el momento. El verdadero perjuicio que ocasionan las obras construidas es sobre los campos en donde cada una termina.

3- El sistema Golondrinas Calchaquí constituye la única vía de escurrimiento ordenado que permite el saneamiento de extensas áreas productivas del Noroeste santafesino. Ultimamente se han revisado los análisis que descartaban otra salida hacia el Paraná, por sus altos costos para una eficiencia muy escasa, reiterándose sus resultados (pueden consultarse los informes realizados a tal fin).

Si bien este sistema ofrece limitaciones en cuanto a su capacidad de conducción en el tramo de aguas arriba (arroyo Golondrinas), se considera que los caudales de diseño de los canales producirán un impacto asimilable por el sistema.

Por otra parte, en el tramo del Golondrinas, es posible realizar algunas obras de bajo costo que podrán mejorar su capacidad de escurrimiento. Estas ya han sido identificadas, y se han iniciado los estudios para determinar su factibilidad técnica.

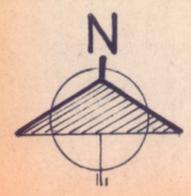
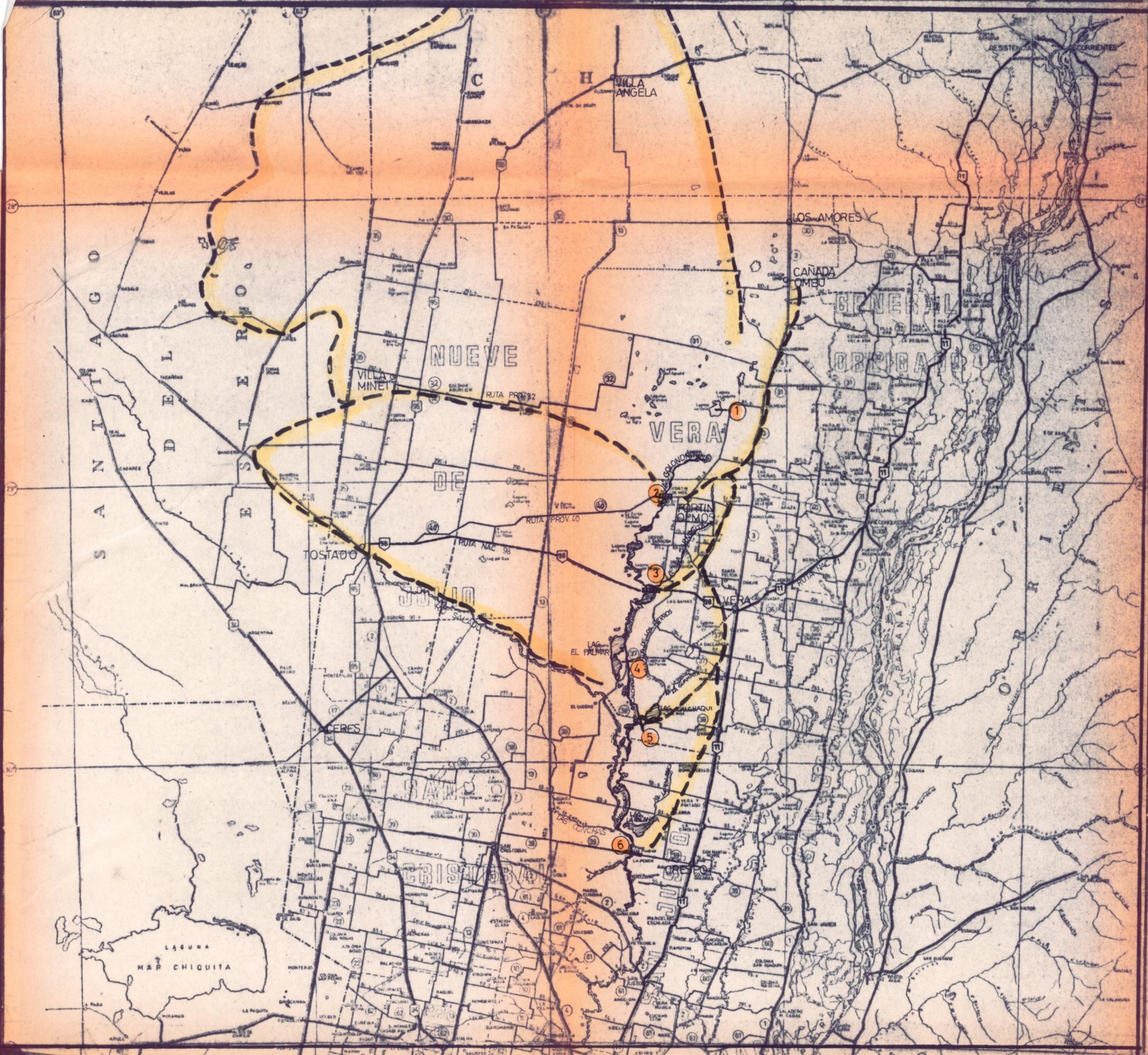
Además, se considera que, cuando finalicen las obras de la Línea Paraná y los canales Principal y Secundario de la laguna La Loca con salida hacia el Malabrigo, producirán un efecto de compensación hidrológica sobre los caudales que minimizará la influencia de los canales.

La relación numérica de caudales de las obras actuales y futuras sobre el golondrinas y su compensación de salida es:

Canales Principal (a licitar próximamente) y Secundario (finalizado) desde la laguna La Loca hacia el arroyo Malabrigo: 14 m³/s

Canal entre ruta provincial nro.32 y laguna Isoatí (Interlagos) (en etapa de proyecto): 10 a 15 m³/s

Canal Hidrovial 290-s (en inicio de construcción): 5 m³/s



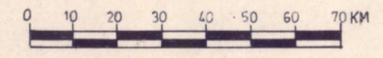
REFERENCIAS

— AREAS DE APORTES

SECCIONES DE REGISTROS

- ① LAG. LA LOCA (GOLONDRINAS)
- ② RUTA PROV. N°40 PROXIMO A FORTIN OLMOS (GOLONDRINAS)
- ③ RUTA NAC. N° 98 EN PARAJE EL BONETE (GOLONDRINAS)
- ④ RUTA PROV. N° 37 (CALCHAQUI)
- ⑤ CAMPO LA HIGUERA (CALCHAQUI)
- ⑥ RUTA PROV. N°39 PROXIMO A CRESPO (SALADO)

ESCALA GRAFICA



CONVENIO BILATERAL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES-PROVINCIA DE SANTA FE

OBRA: SISTEMA GOLONDRINAS-CALCHAQUI
EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

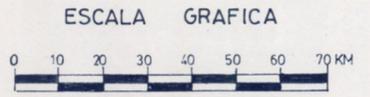
DESCRIPCION:
UBICACION Y AREAS DE APORTE

ESTUDIO		DI BUJO	PROF. BIROLLO M.	FECHA: FEB' 93
PROYECTO	ING. VINZON E.	DIRECTOR PROYECTO	ING. FRATTI R.	PLANO N° 01



REFERENCIAS

-  AREAS DE APORTES
-  ZONA DE INFLUENCIA DE LOS CANALES (ESQUEMATICA)
- CANALES LAG. LA LOCA
-  CANAL REACONDICIONADO
-  CANAL A REACONDICIONAR

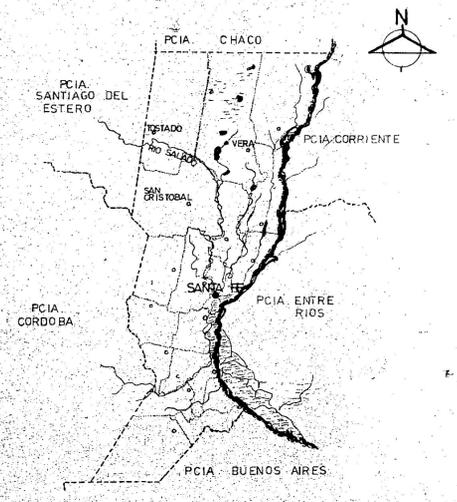


CONVENIO BILATERAL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES - PROVINCIA DE SANTA FE

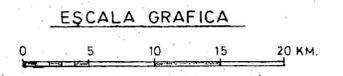
OBRA: SISTEMA GOLONDRINAS-CALCHAQUI
EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

DESCRIPCION:
SISTEMA DE CANALES CONSTRUIDOS

ESTUDIO		DIBUJO	PROF. BIROLLO M.	FECHA: FEB '93
PROYECTO	ING. VINZON E.	DIRECTOR PROYECTO	ING. FRATTI R.	PLANO N° 03



- PUNTO DE CONCENTRACION DE AGUAS EN RUTA 13
- INGRESO DE APORTES EXTERNOS
- TENDENCIA DEL TRASVASAMIENTO
- LINEA DE MAXIMA INDEPENDENCIA
- LINEA DIVISORIA DE AGUAS
- ZONA DE ESTUDIO

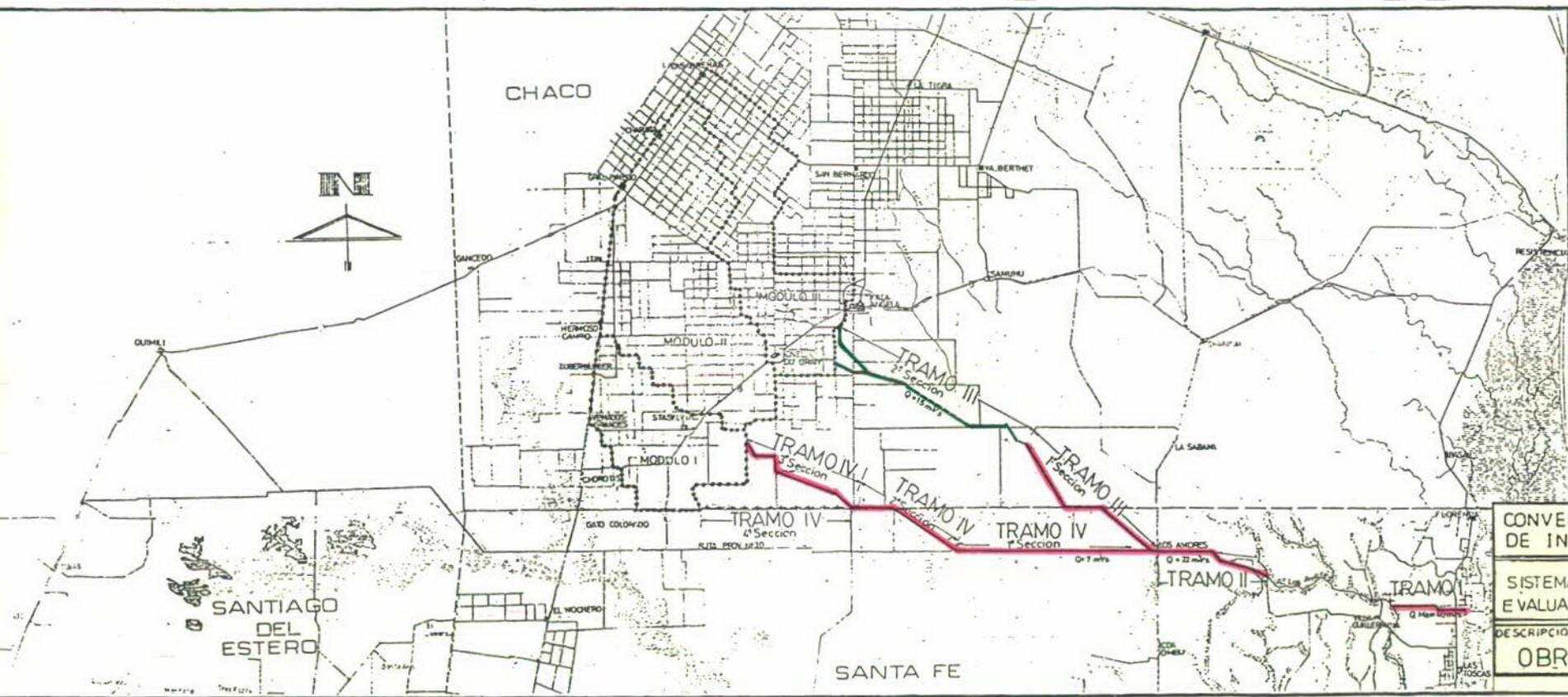


CONVENIO BILATERAL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES PROVINCIA DE SANTA FE

OBRA: SISTEMA GOLONDRINAS - CALCHAQUI
EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION

DESCRIPCION: AREA DE APLICACION DEL MODELO HIDROLOGICO

ESTUDIO	TCO. VICINO H TCO. CABRE M.	DIBUJO	PTC. VILLORDO J. PROF. BIROLLO M.	FECHA	ESC. 1:250.000
PROYECTO	ING. VINZON E. ING. PASTOR E.	DIRECTOR PROYECTO	ING. FRATTI R.	PLANO	Nº 05



REFERENCIAS

-  CANAL CONSTRUIDO
-  OBRA HIDROVIAL CON PROYECTO EJECUTIVO
-  OBRA HIDROVIAL TOPOGRAFIA EN EJECUCION
-  LIMITE DE MODULOS

<p>CONVENIO BILATERAL CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES - PROVINCIA DE SANTA FE</p>	
<p>SISTEMA GOLONDRINA - CALCHAQUI EVALUACION DE SU CAPACIDAD DE CONDUCCION</p>	
<p>DESCRIPCION:</p> <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">OBRA LINEA PARANA</p>	<p>PLANO Nº 04</p>