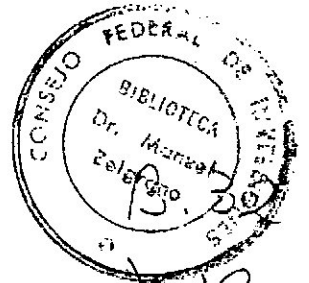


1407



X.12
 H.1112
 Santa Fe

EVALUACION HIDROLOGICA DEL PLAN DE OBRAS

DEL DISTRITO TOSTADO

Elsa A. Vignini
 Ricardo A. Frotti
 Estelita R. Kouri

I N D I C E

CAPITULO I: Evaluación Hidrológica.

- 1- Introducción y Objetivos.
- 2- Descripción y Formulación matemática del modelo.
 - a- Lectura de datos.
 - b- Programa principal.
 - c- Infiltración.
 - d- Evapotranspiración.
 - e- Evolución del almacenamiento superficial por escurrimiento.
- 3- Aplicación del modelo al área de influencia de las obras en el Distrito Tostado.
 - a- Modulación y Topología.
 - b- Estimación de Parámetros.
 - c- Datos de entrada.
 - d- Evaluación del sistema con el funcionamiento de las obras.
- 4- Simulación de la inundación 1981.
- 5- Simulación de la inundación 1984.
- 6- Análisis de resultados.
- 7- Conclusiones.
- 8- Tablas.
 - a- Inundación 1981 - Evaluación del sistema actual.
 - b- Inundación 1981 - Evaluación del sistema con las obras proyectadas.
- 9- Gráficos.

//2.-

CAPITULO II: Análisis Estadístico de Precipitaciones.

- Estaciones base.
- Análisis para 30 y 60 días.
- Conclusiones.
- Gráficos.

C A P I T U L O I

EVALUACION HIDROLOGICA

Ing° Elsa A. VINZON
Ing° Ricardo A. FRATTI
Ing° Estela R. KRUSE

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

Para el estudio hidrológico del área de influencia de las obras del distrito Tostado, se utilizó el modelo matemático desarrollado por esta Unidad Técnica, y que interpreta el funcionamiento de sistemas de grandes llanuras inundables. Este modelo tuvo como objetivo el conocimiento y evaluación hidrológica de áreas dentro del sistema Bajos Submeridionales, así como también el estudio de los efectos producidos por las modificaciones al estado natural provocado por las obras proyectadas. Esto es, con el fin de establecer su diseño óptimo, teniendo en cuenta las // restricciones de diverso género establecidas.

Se estudiaron dos situaciones reales de inundación de distinto nivel de criticidad, obteniéndose una aproximación de comportamiento actual y futuro de las variables del sistema.

2. DESCRIPCION Y FORMULACION MATEMATICA DEL MODELO.

Las condiciones naturales del sistema más relevantes que se tuvieron en cuenta para la formulación del modelo matemático son:

- * El relieve tiene muy baja energía (con pendientes que oscilan entre 5 y 30 cm./Km.).
- * Esgurrimiento mantiforme y multidireccional, que se verifica a nivel regional sólo en grandes eventos y alcanza valores significativos únicamente en áreas de gran acumulación superficial.
- * Marcada preponderancia de los volúmenes almacenados en superficie /// frente a los de escurrimiento.
- * Los suelos pesados son predominantes, con baja permeabilidad y buena capacidad de almacenamiento.
- * Los niveles freáticos se mantienen en general cercanos a la superficie lo cual es determinante para la generación de situaciones de inundación..

- * La permanencia del agua en superficie es muy prolongada para períodos de máxima debido a la época de ocurrencia de las precipitaciones (verano-otoño), el escaso escurrimiento, la baja infiltración y la inexistencia de un sistema de escurrimiento definido y con la capacidad de conducción necesaria.
- * La gran extensión del área a modelar y su difícil acceso, que en los períodos de inundación se agrava por el deterioro total de la red vial existente (caminos de tierra).
- * Se deben establecer las condiciones de borde del área a modelar, pues no existe independencia física del sistema.
- * Predominio de las transferencias de masas verticales frente a las horizontales, y un déficit metodológico para su evaluación.
- * La necesidad de desarrollar técnicas para la medición de las variables fundamentales del sistema, entre las que sobresale el almacenamiento superficial y subterráneo.
- * Las series históricas de caudales (generalmente usadas para calibrar en áreas de escurrimiento organizado), no son aplicables en este caso, como único y definitivo dato de contraste, por su escasa magnitud frente a otras variables.

Los elementos descriptos, y la necesidad de conocer tanto el funcionamiento regional del sistema como sus distintos componentes en sectores localizados, llevó a realizar un modelo a paso diario, determinístico conceptual de índole descriptiva y analítica que contiene funciones explícitas que describen los procesos que tienen lugar entre la entrada y la salida. Es decir, el sistema se trata co-

mo un conjunto de áreas distribuidas en el espacio y se simula el comportamiento interno de cada una, considerando coordenadas de tiempo, con algoritmos que permiten individualizar cada uno de los procesos.

La elección de este tipo de modelo (y dadas las características especiales del área) implica gran laboriosidad en su implementación pero proporciona una serie de ventajas, por ejemplo:

- * Con respecto a la predicción, el hecho de representar los mecanismos físicos del sistema hace que la validez de los resultados no esté limitada por los eventos usados para el ajuste de los parámetros.
- * Permite trabajar mediante aproximaciones sucesivas. Esto es importante, ya que por razones de índole metodológicas, operativas y económicas se hace muy difícil la obtención de datos para la estimación de los parámetros y sobre todo para el ajuste y calibración. Por otro lado, es necesario brindar respuestas a los requerimientos técnicos de cada etapa del proyecto.
- * Proporciona gran detalle en los resultados, ya que se puede individualizar el comportamiento de cada uno de los principales componentes (oscilación freática, evolución de la inundación en cada punto, humedad del suelo, etc.). Esto hace que la información generada por el modelo pueda ser utilizada en estudios de diversa índole del medio físico, tanto natural como modificado (por ejemplo, calidad de agua, impacto ecológico de las obras, erosión, etc.).

El modelo puede aplicarse tanto al total del área del sistema (del orden de 40.000 Km²) como a sectores menores, siempre que sea posible establecer las condiciones de borde.

Para simular el sistema, el modelo se basa en una división en / módulos (subáreas), en donde se determinan los almacenamientos super- ficial y subterráneo y el flujo de masas dentro de la celda y entre/ celdas vecinas, regido por las ecuaciones de continuidad y las leyes de transferencias verticales y horizontales.

La subdivisión se realiza teniendo en cuenta la homogeneidad de/ las características hidrológicas (que permita asignar un sólo valor/ a cada parámetro por módulo), la máxima independencia de los cuerpos de agua y la mayor definición de las secciones de transferencias, se- gún elementos de dinámica hídrica superficial naturales y artificia- les.

El balance en el sistema subterráneo considera transferencias // fundamentales las siguientes: infiltración, flujo vertical en el es- pacio no saturado del suelo, variación del nivel freático por evapora- ción, infiltración, pérdida profunda y aporte del almacenamiento su- perficial por efecto localizado. Tanto el escurrimiento hipodérmico/ como el subterráneo se consideran nulos, ya que su magnitud es des- / preciable referido a otras variables, dada la escasa pendiente del / terreno y la baja permeabilidad del medio poroso.

A nivel de superficie, se considera el análisis en dos ámbitos / diferenciados:

- a) el área no anegada, en donde, cuando hay precipitación los térmi- nos de balance afectan en mayor medida al sistema subterráneo y a la generación de aportes a las áreas anegadas (las que se incre- mentan en detrimento del área de las primeras). Para los días en/

que no se genera lámina superficial, el sistema opera sólo sobre el reservorio subterráneo.

- b) el área anegada, donde se considera evaporación y precipitación / directa, aportes hacia el reservorio subterráneo y los flujos su perfciales horizontales materializados por: aporte de las áreas no anegadas y escurrimiento mantiforme entre reservorios anega- / dos.

En el aspecto computacional, el programa está escrito en FOR-// TRAN IV y tiene cinco miembros principales, contabilizando un total de 1.300 sentencias ejecutables. Su funcionamiento global se esquemmatiza en el diagrama de bloques adjunto.

a) Lectura de datos:

Permite la lectura de siete archivos de entrada y la asignación de valores de las variables y condiciones iniciales, realiza un balance mensual entre precipitación y evaporación (por módulo y regional) e imprime los datos paramétricos de entrada.

b) Programa principal:

Es el programa llave, que maneja la participación de los demás miembros estableciendo las condiciones de entrada a cada uno.

Comprende también el cálculo del flujo del almacenamiento su perfcial hacia el subterráneo, de la pérdida por evaporación di recta del primero y el aporte superficial del área no anegada, / la determinación de las modificaciones introducidas por las o-// bras proyectadas, un sistema de detección de errores y la sistematización e impresión de resultados.

c) Infiltración:

Este bloque simula el flujo vertical de humedad en el estrato no saturado del suelo, calculando la variación del perfil de humedad, la oscilación del nivel freático y la evolución de la lámina de precipitación en la superficie del terreno.

Se considera suelo homogéneo, dividido en estratos cuyo espesor se determina junto con el intervalo de tiempo de tal forma que aseguren la estabilidad de los resultados del método.

Las ecuaciones que intervienen en el análisis son:

* Velocidad de flujo:

$$v = - K \left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] \quad (\text{Fórmula de Darcy para flujo vertical})$$

donde: v = velocidad de flujo.

ψ = tensión de humedad.

z = profundidad.

k = conductividad capilar.

* Conductividad:

$$k = K_0 \cdot e^{-\alpha \psi} \quad (\text{Rijtema})$$

donde: K_0 = conductividad capilar para $\psi = 0$

α = constante.

* Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = - \frac{\partial v}{\partial z}$$

donde: m = contenido de humedad

t = tiempo

Utilizando la expresión de Rijtema para la permeabilidad/capilar, se integra la ecuación de flujo. La ecuación resultante permite calcular, partiendo de una condición inicial de humedad, la entrada y salida de flujo de cada estrato. Utilizando la ecuación de continuidad se obtiene la variación del perfil de humedad y, por ende, las variables restantes.

d) Evapotranspiración:

El programa correspondiente a esta subrutina permite calcular el agotamiento del reservorio subterráneo (espacio no saturado y acuífero freático) en las áreas libres de inundación.

Considera el descenso del nivel freático determinado por relaciones empíricas que lo vinculan con la evapotranspiración potencial y la profundidad del mismo. Las mismas han sido ajustadas estadísticamente mediante datos piezométricos y evaporimétricos obtenidos en un área piloto dentro de la zona de estudio.

El agotamiento del reservorio no saturado se realiza teniendo en cuenta la profundidad máxima de influencia de la evapotranspiración. Esta resulta de considerar la profundidad radicular y la humedad de los primeros estratos. La pérdida de agua de cada estrato hasta esa profundidad se calcula en función del almacenamiento y la posición en el perfil de cada uno.

La pérdida total (evapotranspiración real) será:

$$EVR = (W + C) * EVP,$$

cumpléndose que: $W + C \leq 1$

EVR = evapotranspiración real.

W = factor de descenso del nivel freático.

C = factor de descuento de la humedad del suelo.

EVP = evapotranspiración potencial.

e) Evolución del almacenamiento superficial por escurrimiento:

Esta subrutina se utiliza cuando la acumulación de agua en superficie permite una interconexión entre las subáreas con un tirante tal que el escurrimiento tenga significación. Se utilizó un modelo hidráulico que es una aproximación al desarrollado por SOGREAH - UNESCO para el delta del río Meckong.

El área inundada en cada módulo está definida por una curva que la relaciona con el tirante efectivizado en el centro del módulo. Esta relación es característica de cada subárea y define el almacenamiento superficial, existiendo por ende una relación biunívoca entre el volumen y el tirante.

Debido a la lentitud con que se da el escurrimiento en estas zonas, se pueden despreciar los términos de aceleración de la ecuación de flujo, por lo que se considera que la transferencia entre módulos es función solamente de la carga de agua en cada uno.

La ecuación de continuidad de un compartimiento i entre los tiempos t y $t + \Delta t$ es:

$$A_{i,t} \cdot \Delta h_i = A_{i,t+\Delta t} + \Delta t \cdot \sum_k Q_{ik}$$

donde: $A_{i,t}$ = área inundada en el instante t .

Δh_i = variación de la altura del módulo en Δt .

A_{Pi} = significa la variación del almacenamiento producido por el aporte de la superficie no anegada dentro del módulo más la precipitación directa menos las pérdidas.

$\sum^k Q_{ik}$ = transferencia total entre el módulo i y todos a los que está interconectado.

La magnitud del input que provoca las variaciones de nivel determina el paso de tiempo empleado para el cálculo, a fin de minimizar el error propio de la discretización.

En el tercer término de la ecuación anterior, se consideran las leyes de transferencia entre módulos. Estas pueden ser: a) de tipo fluvial, que se expresan con la fórmula de Manning, pudiendo introducir distintos tipos de pérdida de carga o condicionamiento para el escurrimiento; b) de tipo vertedero, es decir considerando sus ecuaciones en los casos que el escurrimiento debe superar obstáculos para materializar la transferencia.

Aplicando la ecuación de continuidad y de flujo en cada módulo, y por un proceso de discretización por diferencias finitas, se construye un sistema de ecuaciones algebraicas, lineal e implícito en Δh_i y explícito en el tiempo. Este constituye una aproximación al sistema de ecuaciones en derivadas parciales de 2do. grado no lineales de tipo parabólico.

Como técnica de solución se adoptó la triangulación de Gauss y sustitución inversa, ya que, además de ser el método

do que menor cantidad de operaciones elementales requiere, // esta cantidad de operaciones puede reducirse aún más al tratarse de una matriz dispersa.

3. APLICACION DEL MODELO AL AREA DE INFLUENCIA DE LAS OBRAS EN EL DISTRITO TOSTADO.

a) Modulación y topología.

El área total modelada es de 1.540 Km² y fue subdividida/ en 14 subáreas, según puede verse en el plano 1 a escala // 1:250.000 adjunto. Esto, además de las conexiones a nivel de/ escurrimiento superficial se realizó en base a la carta de es/ currimiento y de niveles de inundación a escala 1:80.000, con/ siderando también la infraestructura vial y ferroviaria y las imágenes satelitarias existentes para estados de inundación / del área.

b) Estimación de parámetros.

El modelo utiliza un conjunto de parámetros que pueden va/ riar de un módulo a otro según varíen sus características hi/ drológicas e hidráulicas. Estos se agrupan según las instan-/ cias de almacenamiento en:

- Parámetros del reservorio subterráneo: son los que caracte- rizan el almacenamiento en el espacio saturado y no satura- do del suelo y el flujo vertical, siendo los más importan-/ tes: porosidad total, porosidad eficaz, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y relación entre contenido de humedad-tensión-conductividad hidráulica.

Se partió de una estimación regional de dichos paráme-/ tros en base a algunas determinaciones de campo, a la aso-/

ciación con suelos afines, utilizando también mapas de // suelos (con información sobre granulometría, salinidad, condicciones de hidromorfismo, etc.), geomorfológicos, de vegetación, de uso de la tierra y de niveles de inundación. Pre-/vviamente se había realizado el análisis de sensibilidad de los parámetros y la calibración para algunos tipos de suelos, con contraste de datos piezométricos en situaciones de escurrimiento nulo.

Se corroboró previamente la extrapolación de estos datos al área de influencia de las obras de Tostado con contraste de datos piezométricos de la misma.

Se dedicó especial atención a estos parámetros por ser/los que determinan las variables de mayor peso en el comportamiento de este tipo de sistema.

- Parámetros del reservorio superficial, son los que regulan / el escurrimiento en las áreas de transferencia (como la función tirante-resistencia al escurrimiento, altura de no // flujo y otros) y los que caracterizan el almacenamiento superificial, expresados por la relación entre superficie inundada y tirante.

Para facilitar la calibración de los parámetros de escurrimiento se dispone de un programa auxiliar que calcula las relaciones del tirante y el flujo entre dos módulos para cada conexión, graficando los resultados.

Se realizó una estimación preliminar en base a mapas geomorgológicos, de vegetación y niveles de inundación, interpret

tación de imágenes satelitarias, perfiles de pelo de agua, / datos topográficos, registros de niveles y aforos en algunas secciones, etc.

c) Datos de entrada.

Se utilizaron datos pluviométricos diarios de 14 estacio- / nes del área, correspondientes al F.F.C.C. Gral. Belgrano y a / establecimientos agropecuarios. Se calculó la lluvia media por módulo con el método computacional de Diskin (polígonos de /// Thiessen), utilizando el programa desarrollado por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional / del Litoral.

Se contó además con información evaporimétrica diaria de la estación meteorológica de Tostado, operada por el I.N.C.Y.T.H.

d) Evaluación del sistema con el funcionamiento de las obras.

Una vez que se ha finalizado el ajuste de una inundación / para la situación del sistema actual, se efectúa la corrida pa / ra evaluar el comportamiento de las obras, para distintas alter / nativas de diseño.

En este caso, en donde se trata de canales, se va descon- / tando el volumen erogado cada día y en cada módulo afectado, / del almacenamiento superficial. Esto se hace de acuerdo a la / capacidad de conducción remanente del canal en ese punto y a la capacidad de aporte del módulo, según una curva que lo relacio / na al pelo de agua en el punto más bajo.

Para considerar el efecto del adecuamiento hidráulico del / terraplén ferroviario, se varían los parámetros de escurrimien / to en las secciones correspondientes.

Es importante destacar que se estima que los canales producirán un efecto nulo sobre el abatimiento freático por descarga directa a los mismos.

Esto es debido a que el escurrimiento horizontal subterráneo es despreciable, la profundidad media de los canales es escasa (alrededor de 1 m.) y la traza no se proyectó en la parte baja del gradiente topográfico.

El sistema de obras evaluado está compuesto de canales para defensa de la ciudad de Tostado y para saneamiento del área rural y del incremento del alcantarillado ferroviario. Lo integran seis canales entre los que hay tres a construir, uno a // reacondicionar y dos existentes, y 20 m. de luz de alcantarillas en el Ferrocarril.

La última alternativa evaluada, que totaliza $25 \text{ m}^3/\text{seg.}$ para todo el sistema de canales, es la siguiente:

- Canal C1: a reacondicionar. $Q = 2 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Canal C2: denominado "El Basural", a construir. $Q = 2 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Canal C3: existente. $Q = 5 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Canal C4: paralelo a la Ruta Nacional N° 95. Existente. // $Q = 2,5 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Canal C5: denominado Canal 2. A construir. $Q = 6,5 \text{ m}^3/\text{seg.}$
- Canal C6: denominado Canal 3. A construir. $Q = 7 \text{ m}^3/\text{seg.}$

4. SIMULACION DE LA INUNDACION DE 1981.

Se seleccionó esta situación de inundación para el ajuste definitivo de la simulación por disponerse de información que permitió obtener una buena aproximación a la situación real. Esta es:

- * Datos piezométricos en un sector del área, en una fecha que permitió establecer la condición inicial de humedad del suelo, teniendo en cuenta además, las características de la zona y el balance de humedad de los meses anteriores.
- * Información sobre la evolución de la inundación del área proporcionada por imágenes satelitarias. Esto hizo posible en primer lugar, estimar cuantitativamente el almacenamiento superficial alcanzado en las cercanías del pico del evento (imagen del 23 de Marzo de 1981). En segundo lugar, se pudo apreciar la permanencia de la inundación a través de la imagen del 31 de Mayo de 1981 que, aunque presenta bastante nubosidad, permite una evaluación cualitativa de la situación de la región en general.

Además, su proximidad en el tiempo permitió la identificación de las variaciones producidas en la red vial y ferroviaria (que condicionan variaciones en los parámetros de escurrimiento), así como también contar con innumerables referencias que pudieron ser utilizadas para acotar el suceso real.

El período simulado comprende desde el 1° de Enero al 31 de Mayo de 1981. Las tablas adjuntas proporcionan los valores de algunas de las variables obtenidas: altura de agua en el punto más bajo del módulo (en cm.), porcentaje de superficie inundada, volumen de inundación (en Hm^3) y profundidad promedio del nivel freático. Estos resultados están presentados en forma de una matriz por mes, cuyas filas están definidas por los días y las columnas corresponden a los módulos.

En el gráfico N° 1 puede observarse, discriminado por módulos, el volumen de inundación obtenido en la simulación y el estimado/

en la imagen satelitaria. Dicha estimación se realizó teniendo en cuenta los patrones de tonalidad y textura de la imagen, mediciones de profundidad media de agua en algunas secciones, perfiles / topográficos, la vegetación natural, el uso actual del suelo y la carta de escurrimiento y niveles de inundación.

5. SIMULACION DE LA INUNDACION DE 1984.

El área de estudio sufrió, en la primera mitad de 1984 la inundación de mayor envergadura de las que se tenga antecedentes. Esto es así, ya que si bien es muy difícil calcular la recurrencia / de la inundación, del estudio de precipitaciones máximas en 60 // días se obtiene una recurrencia que supera los 30 años (ver capítulo II).

Así lo indican también las referencias de alturas alcanzadas / en diversos puntos y la inédita inundación del casco urbano de // Tostado.

Se simuló este evento, ya que se consideró importante por un / lado, evaluar un fenómeno natural de tal magnitud y por otro conocer el impacto del sistema de obras sobre el mismo, que se sabe es mayor al previsto a controlar.

Los resultados pueden considerarse como aproximados, ya que no se dispuso de información satelitaria, debido a nubosidad y a la / disminución de tomas durante el período por mal funcionamiento // del satélite.

La simulación se realizó con los parámetros ajustados para // 1981, teniendo en cuenta las modificaciones de la infraestructura

vial y ferroviaria. Los resultados se contrastaron con datos y referencias obtenidas por encuesta a los productores establecidos en el área.

6. ANALISIS DE RESULTADOS.

Se presentan algunas de las variables modeladas en gráficos // que permiten una fácil visualización del comportamiento del sistema en su estado actual y con las obras proyectadas. Esto se realiza tanto para el total del área como para sectores en los que interesa individualizar su comportamiento.

* Año 1981.

- En los gráficos 2 y 3 se aprecia la evolución de la inundación en todo el área, expresada en volumen de inundación y en porcentaje de superficie inundada respectivamente. En ambos se aprecia una disminución importante provocada por las obras. Como datos ilustrativos y con referencia al Gráfico 3, podemos decir:

. Está estimado que el 22 % de la superficie total corresponde a áreas de menor capacidad de uso potencial por su mayor marginalidad y permanencia de inundación. Este porcentaje es superado durante 30 días con las obras proyectadas, mientras que en la situación sin proyecto lo fue durante más de 100 días y en mayor grado. El resto del tiempo la inundación ocupa porcentajes de superficie muy inferiores al umbral de referencia.

. Durante el periodo en que la inundación supera el área marginal, se alcanza un total del 30 % (8 % de área de mayor capacidad de uso), salvo en un periodo de sólo 8 días en que el pico alcanza al 40 % (18 % de áreas más productivas).

- Los gráficos 4 y 5 proporcionan un ejemplo de lo que se producirá en las áreas de mejores condiciones para la agricultura y donde las obras producirán mayor impacto de saneamiento, como es la comprendida entre la Ruta Provincial N°/ 35 y el Ferrocarril General Belgrano.

Con referencia a la superficie afectada, puede verse // que la inundación queda reducida a valores inferiores al // 10 % en casi todo el tiempo, superándose este valor durante aproximadamente 30 días, con picos que apenas sobrepasan el umbral definido por el área de mayor riesgo.

- Como ejemplo de funcionamiento individual de las obras se / graficaron los resultados correspondientes a las áreas de / influencia de los canales 2 y 3 (gráficos 6, 7, 8 y 9).

Ambos canales disminuyen notablemente la inundación, // siendo mayor el impacto producido por el canal 2, ya que el canal 3 atraviesa áreas de mayor acumulación y permanencia/ del agua, evidenciado por un mayor porcentaje del área marginal. En este análisis hay que tener en cuenta además que/ cada obra abarca áreas con distintos niveles de saneamiento porque su respuesta a la inversión es diferente:

* Año 1984.

La inundación que se produce en este año no es controlada totalmente por el sistema de obras, ya que su magnitud es muy superior a la prevista en el proyecto. En el gráfico 10 se ve reflejada la diferencia respecto de la ocurrida en 1981. No / obstante, podemos destacar los siguientes efectos:

- En el gráfico 11 se representa la evolución de la inundación en el área más cercana a Tostado (módulo 3 del plano 1) que fue la causante en mayor medida, del anegamiento del casco urbano. La disminución del volumen que se produce (mayor al 50 % en el pico) se puede considerar suficiente como para esperar que un evento similar no reitere el fenómeno sopor_tado por dicha localidad.

- En los gráficos 12 y 13, se representa la evolución de la inundación y el impacto de las obras. De ellos se deduce que el saneamiento tiene más impacto en el área comprendida entre el Ferrocarril Gral. Belgrano y la Ruta Provincial N° / 35, de mayor uso potencial. En el gráfico 13, y a modo de ejemplo, puede verse que analizando un período de más de 100 días de duración, la inundación superó el 80 % de la superficie la mayor parte del tiempo. En la situación con obras se supera durante 30 días el 40 % de la superficie, lo /// cual significa un mejoramiento importante de la situación.

* Efectos de las obras sobre el Río Salado.

Teniendo en cuenta que el río Salado presenta en esta zona una escasa capacidad de conducción se ha estimado aproximadamente el efecto que los canales producirán en su funcionamiento.

En los gráficos 14 y 15 se puede observar la evolución de los aportes generados por todo el área de estudio, tanto en el sistema actual, como con el funcionamiento de las obras para las inundaciones de 1981 y 1984 respectivamente.

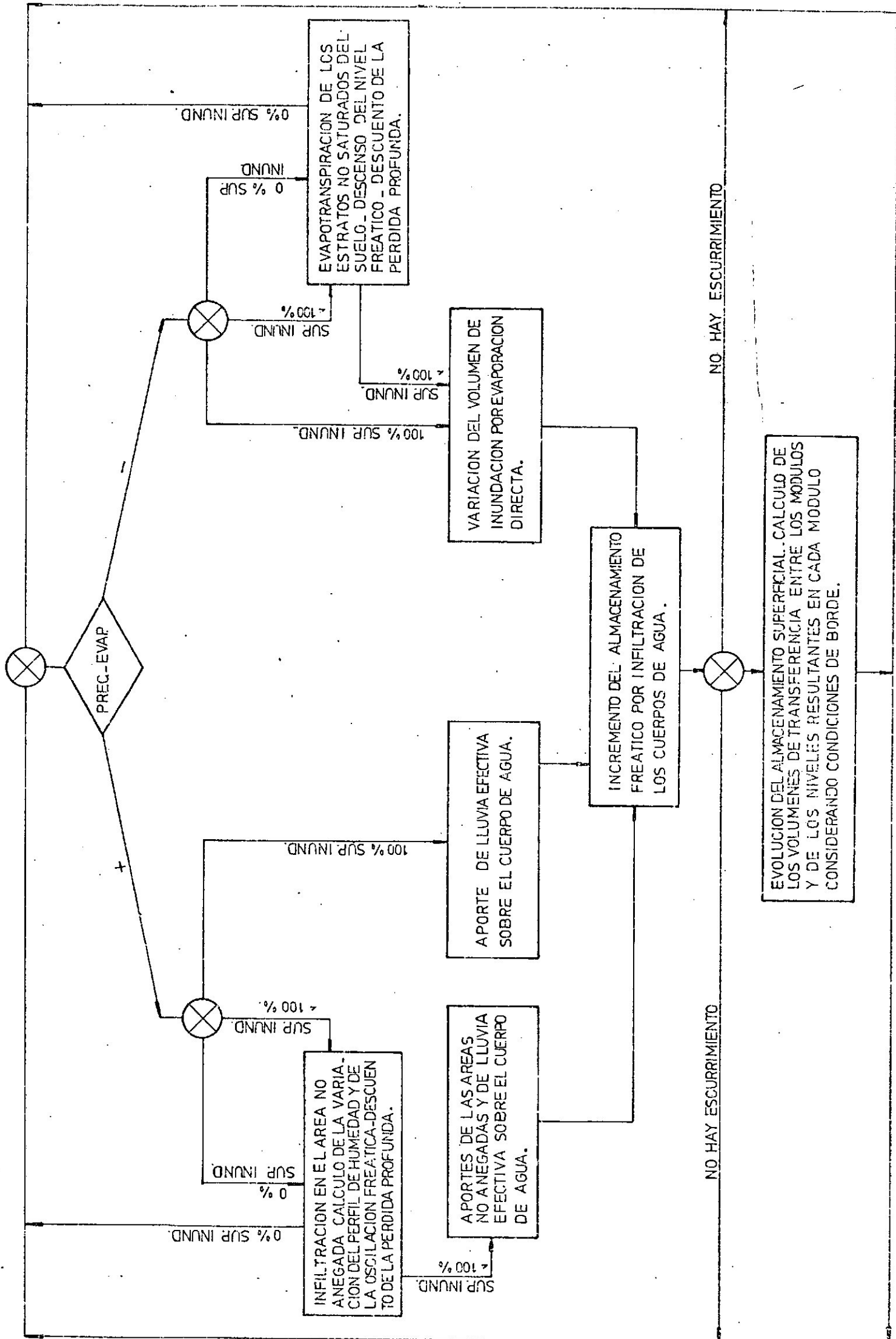
Para 1981 durante los 150 días analizados, solamente por / un día se alcanza el pico de $25 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Durante 120 días los / caudales permanecen inferiores a $10 \text{ m}^3/\text{seg.}$, valor que se estima asimilable por el río en cualquier situación.

Para 1984, queda reflejado en el gráfico que la existencia de los canales incrementará la crítica situación del río, a lo sumo en un 10 al 15 % de su pico. Esto es así, ya que la máxima diferencia es de $20 \text{ m}^3/\text{seg.}$, habiéndose llegado a aforar en la sección de la Ruta Provincial N° 2 cercana a Tostado alrededor de $160 \text{ m}^3/\text{seg.}$

7. CONCLUSIONES.

- * Se considera que el modelo conceptual utilizado para el estudio, refleja con exactitud este tipo de sistema hidrológico. A demás, permite lograr una aproximación satisfactoria en los resultados a pesar de la falta de observaciones continuas para / la calibración. Esto es, debido a que utiliza parámetros que / representan características físicas, que pueden ser medidos o / calibrados en forma parcial.
- * Las dificultades propias de la calibración de un modelo de parámetro distribuido, aplicado a áreas extensas, quedan minimizadas por la metodología de regionalización utilizada.
- * Para el año 1981, en los 120 días analizados para el área total, el sistema de obras reduce la superficie inundada al 40 % / durante 8 días, al 30 % durante 22 días y el resto del tiempo / por debajo del 22 % considerado como de escasa potencialidad / de uso.

- * Para el mismo año, en la zona de mayor potencialidad y aptitud agrícola (al Oeste del Ferrocarril), la superficie inundada se reduce drásticamente, pudiéndose considerar que queda restringida a zonas de mayor permanencia del agua.
- * Si bien el sistema de obras proyectadas no controla en su totalidad una inundación de la magnitud de la de 1984, es importante destacar que produce mayor saneamiento sobre el área de mejores condiciones productivas.
- * Se considera que el sistema de obras disminuye notablemente // las posibilidades de inundación en la ciudad de Tostado para una situación como la de 1984.
- * Queda demostrado que el incremento de caudal, que las obras propuestas introducen al Río Salado, no produce grandes cambios / en el funcionamiento actual del mismo.



PREC.-EVAP.

+

-

0% SUP. INUND.

0% SUP. INUND.

100% SUP. INUND.

100% SUP. INUND.

0% SUP. INUND.

0% SUP. INUND.

100% SUP. INUND.

100% SUP. INUND.

100% SUP. INUND.

INFILTRACION EN EL AREA NO ANEGADA. CALCULO DE LA VARIACION DEL PERFIL DE HUMEDAD Y DE LA OSCILACION FREATICA-DESCUENTO DE LA PERDIDA PROFUNDA.

APORTES DE LAS AREAS NO ANEGADAS Y DE LLUVIA EFECTIVA SOBRE EL CUERPO DE AGUA.

APORTE DE LLUVIA EFECTIVA SOBRE EL CUERPO DE AGUA.

VARIACION DEL VOLUMEN DE INUNDACION POR EVAPORACION DIRECTA.

EVAPOTRANSPIRACION DE LOS ESTRATOS NO SATURADOS DEL SUELO. DESCENSO DEL NIVEL FREATICO - DESCUENTO DE LA PERDIDA PROFUNDA.

INCREMENTO DEL ALMACENAMIENTO FREATICO POR INFILTRACION DE LOS CUERPOS DE AGUA.

NO HAY ESCURRIMIENTO

NO HAY ESCURRIMIENTO

EVOLUCION DEL ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL. CALCULO DE LOS VOLUMENES DE TRANSFERENCIA ENTRE LOS MODULOS Y DE LOS NIVELES RESULTANTES EN CADA MODULO CONSIDERANDO CONDICIONES DE BORDE.

8- T A B L A S

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FRÉATICO EN CM

MOD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222
3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333
4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444
5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555
6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666
7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777
8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888
9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

Febrero

ALTURA DE AGUA EN CADA MODULO (CM)

MOD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111	1111
2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222
3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333	3333
4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444	4444
5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555	5555
6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666	6666
7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777	7777
8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888	8888
9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999	9999
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000

POR CIENTO DE SUPERFICIE EMBAJADA

PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREATICO EN CM

MOD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000

Mayo

ALTURA DE AGUA EN CADA MODULO(CH)

MOD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000	10000000

PORCIENTO DE SUPERFICIE INMOBILIARIA

Abril

	ALTIMETRO (CM)	PORCIENTO DE SUPERFICIE INUNDADA	VOLUMEN DE INUNDACION EN HM3
MOD	100	10	4.20
	95	15	4.80
	90	25	6.00
	85	35	7.20
	80	45	8.40
	75	55	9.60
	70	65	10.80
	65	75	12.00
	60	85	13.20
	55	95	14.40
	50	100	15.60
	45	100	16.80
	40	100	18.00
	35	100	19.20
	30	100	20.40
	25	100	21.60
	20	100	22.80
	15	100	24.00
	10	100	25.20
	5	100	26.40
	0	100	27.60

9- G R A F I C O S

II

A

G

O

D

E

CUATRO BOCAS

POZO BORRADO

CHARABONES

TOSTADO

INDEPENDENCIA

F. TRES POZOS

14

5

2

4

8

9

1

3

7

10

6

11

13

12

C1

C2

C3

C4

C5

C6

290-s

290-s

290-s

95

95

95

95

77

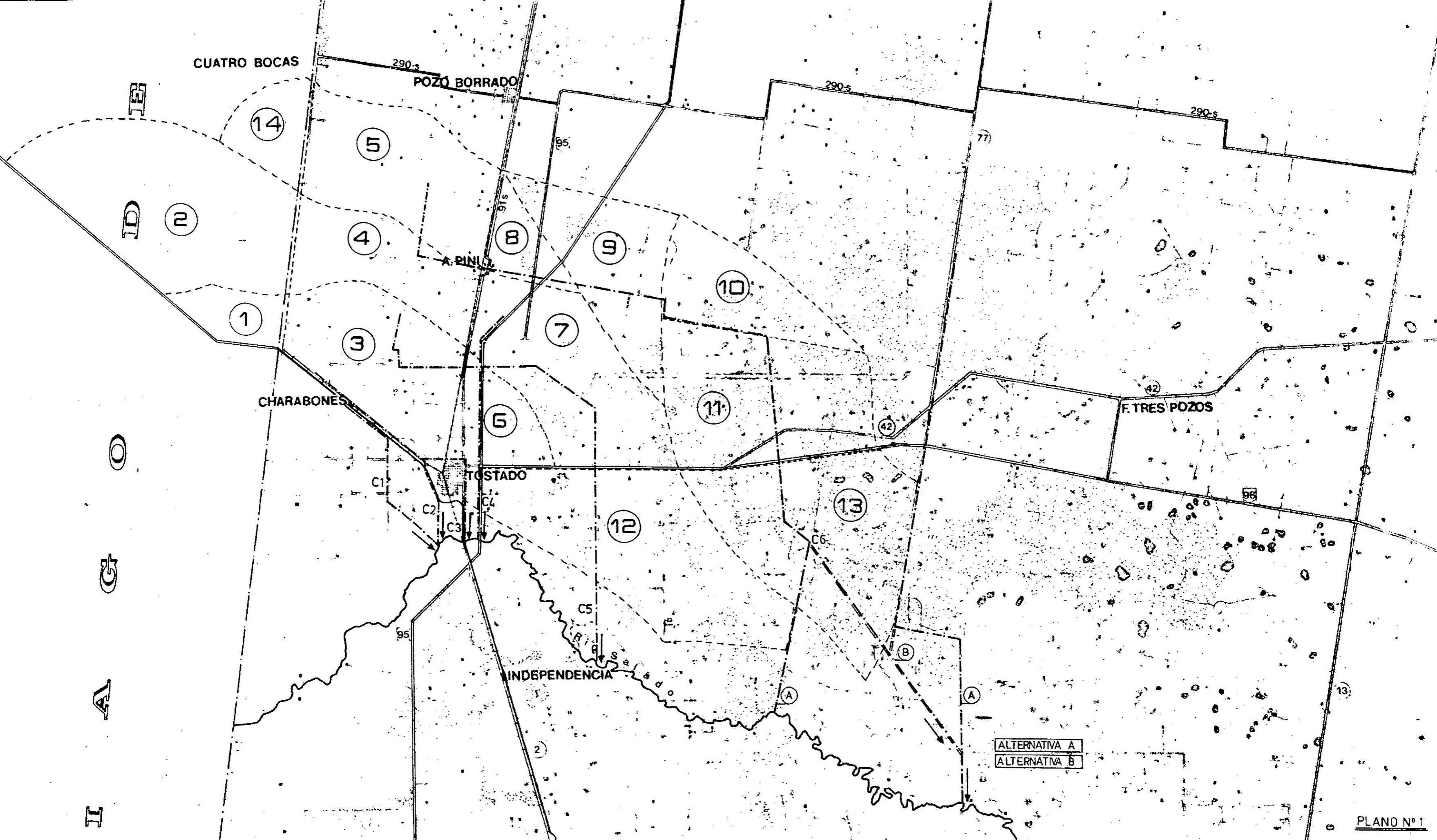
42

42

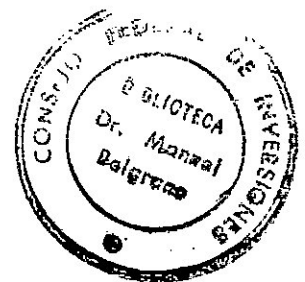
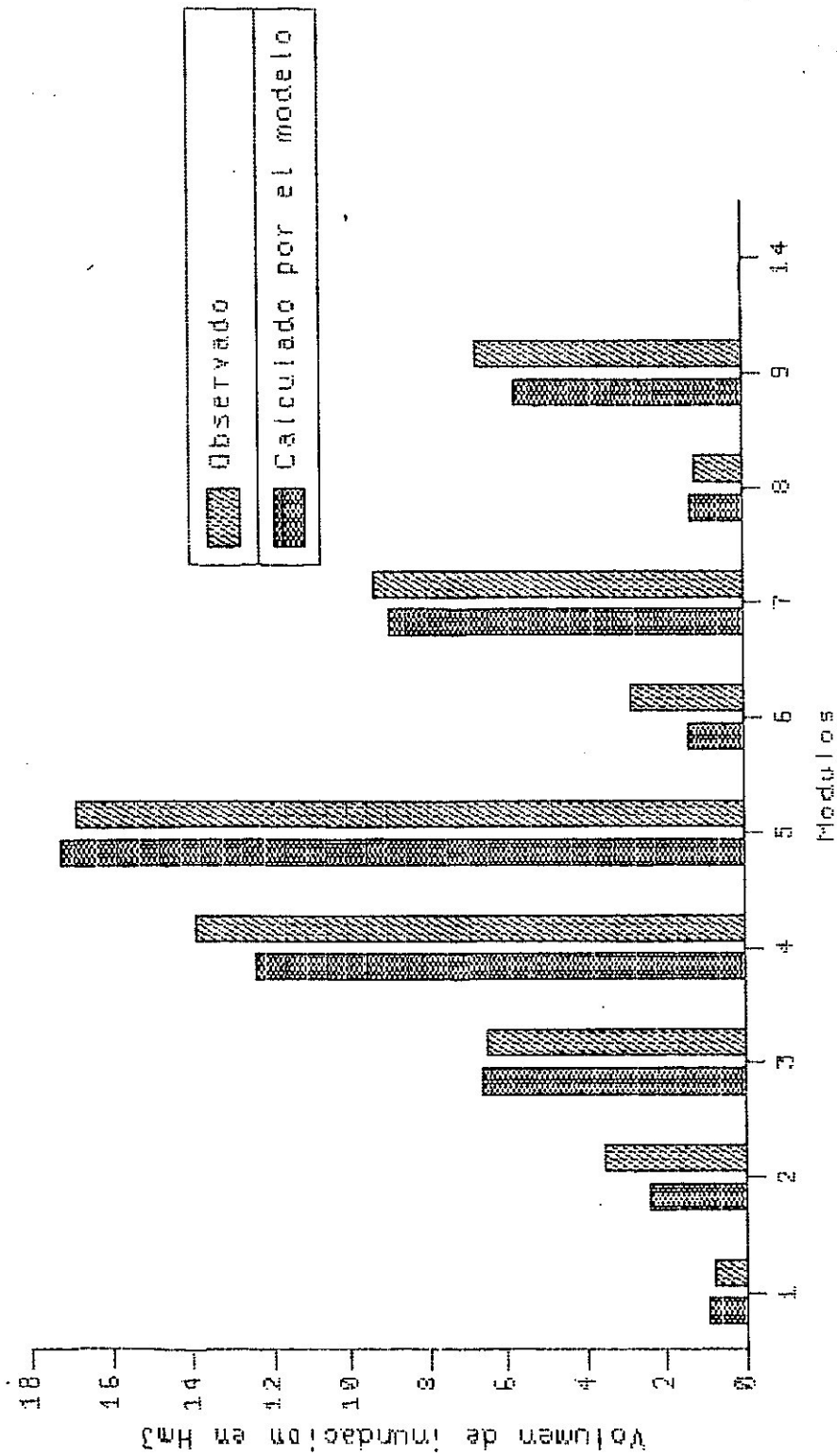
98

13

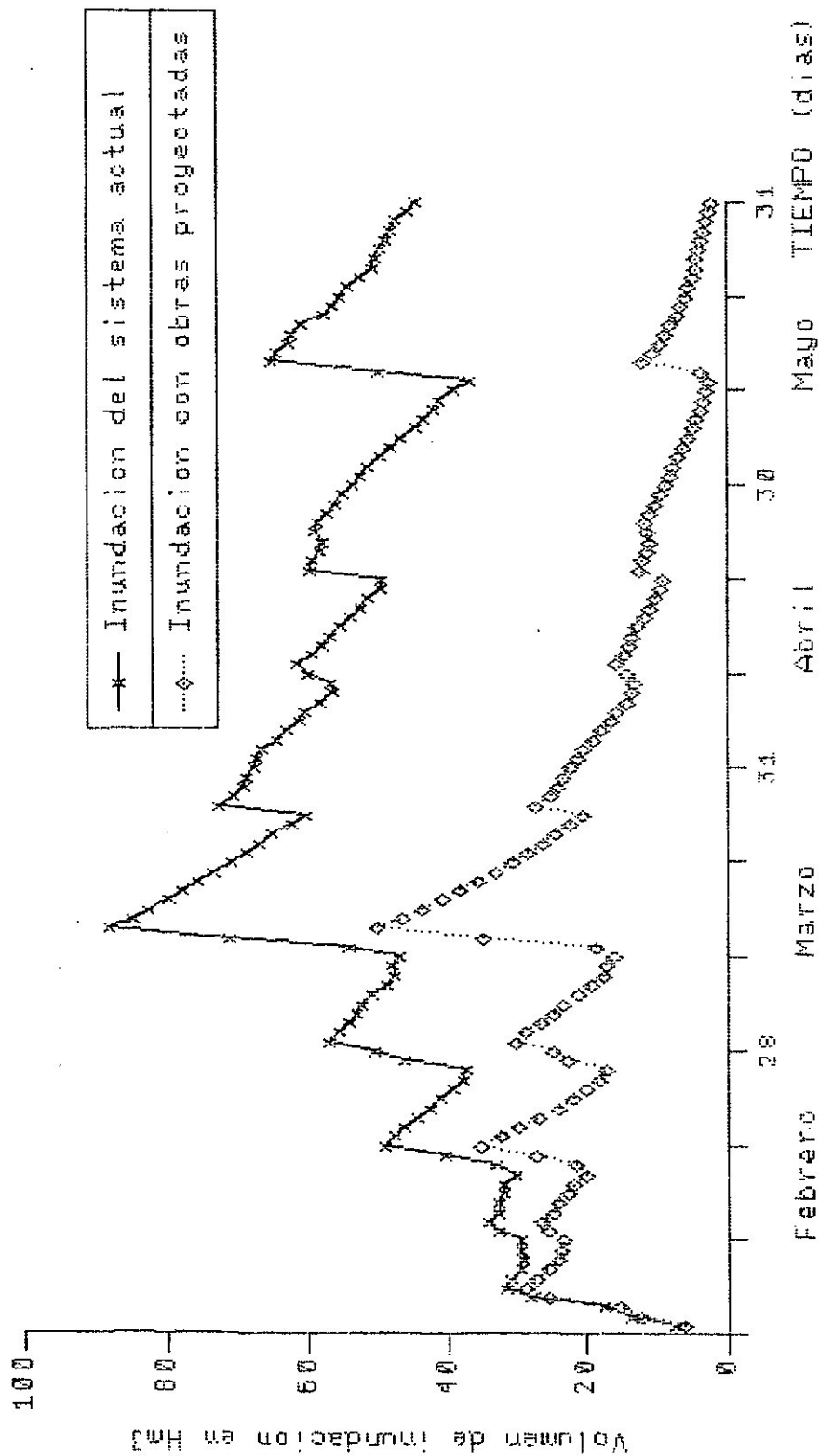
ALTERNATIVA A
ALTERNATIVA B



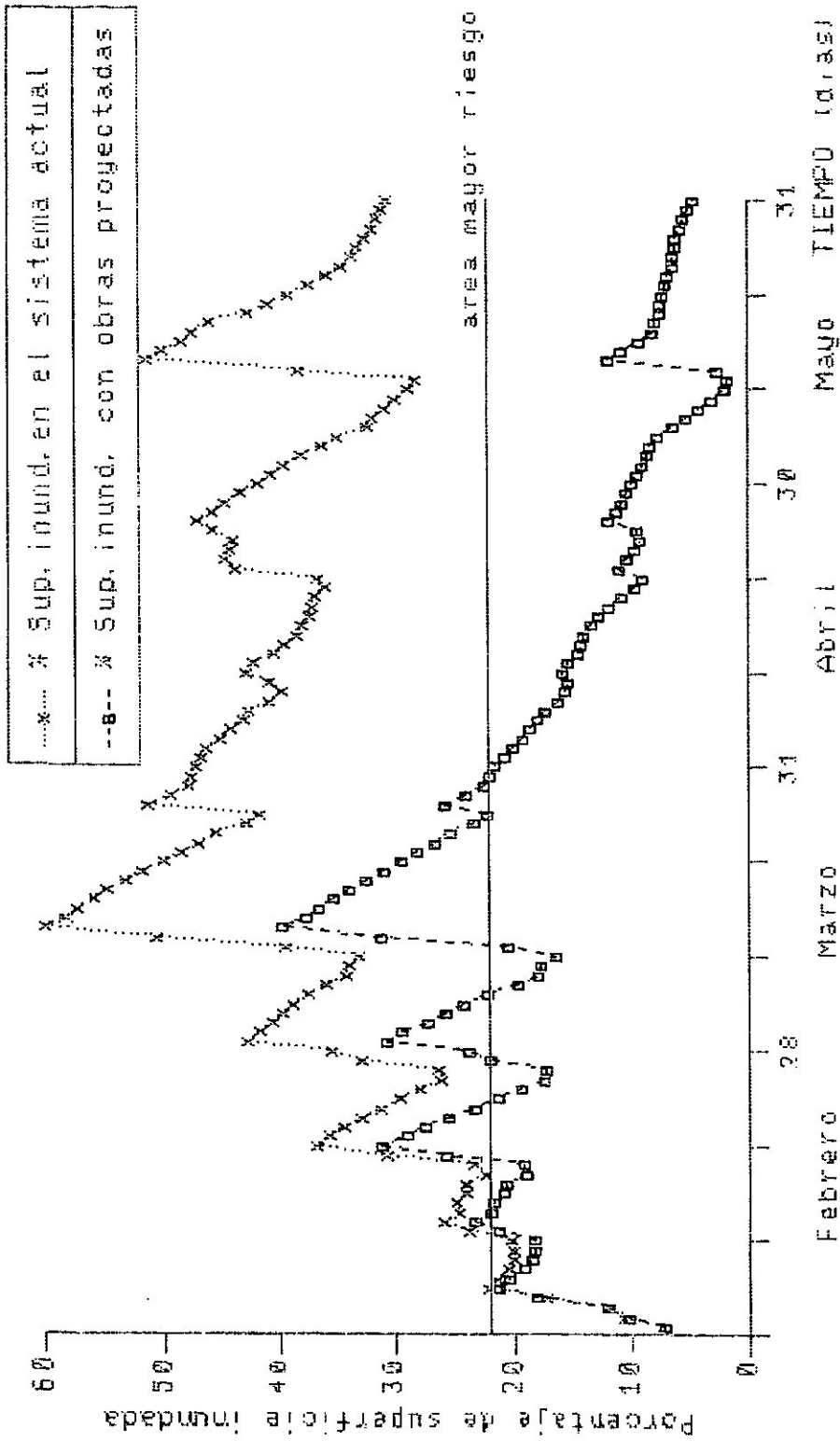
SITUACION DE INUNDACION DEL 23 DE MARZO DE 1981
COMPARACION ENTRE LOS VOLUMENES OBSERVADOS Y CALCULADOS



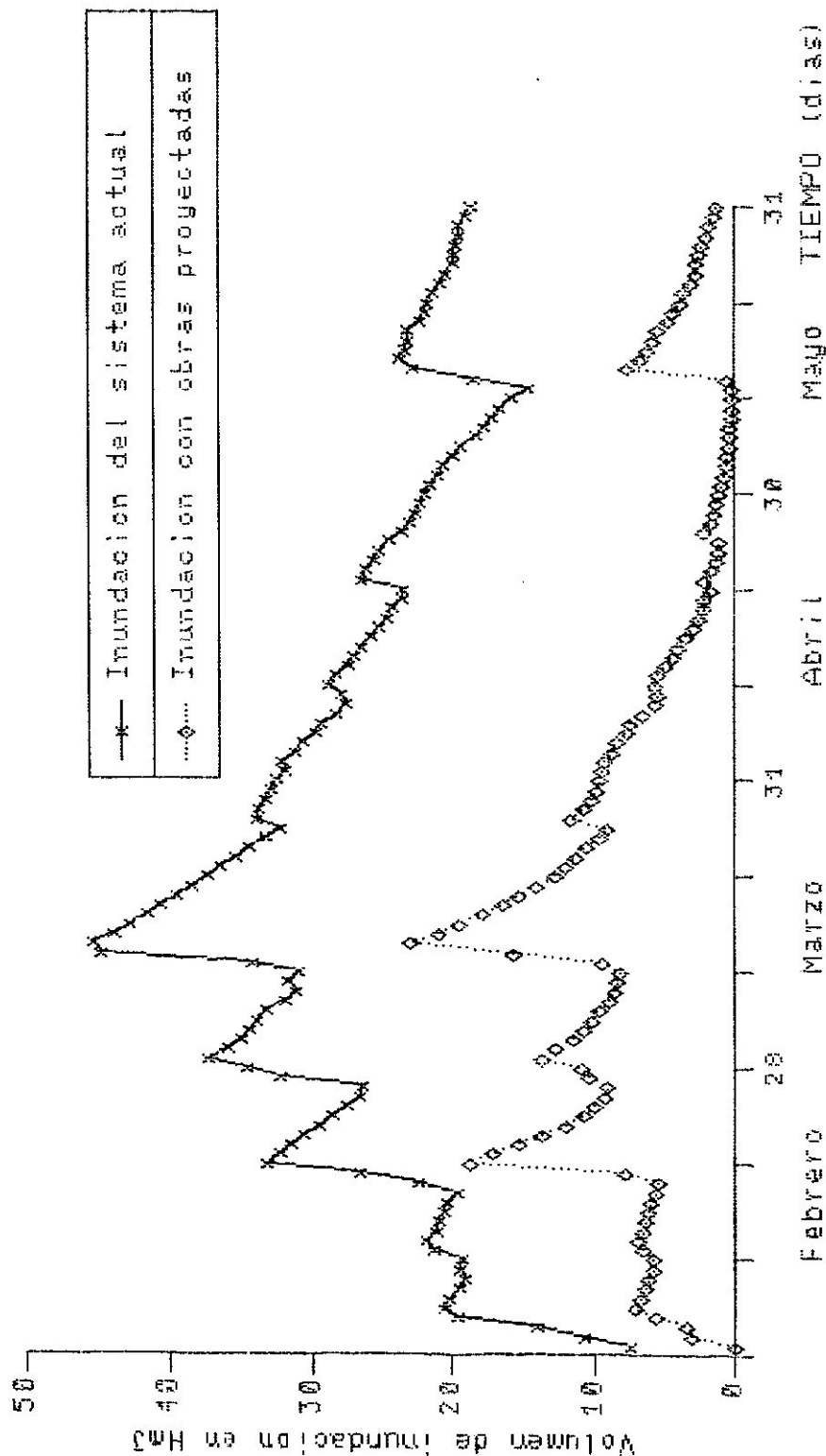
AREA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE OBRAS
EN EL DISTRITO TOSTADO



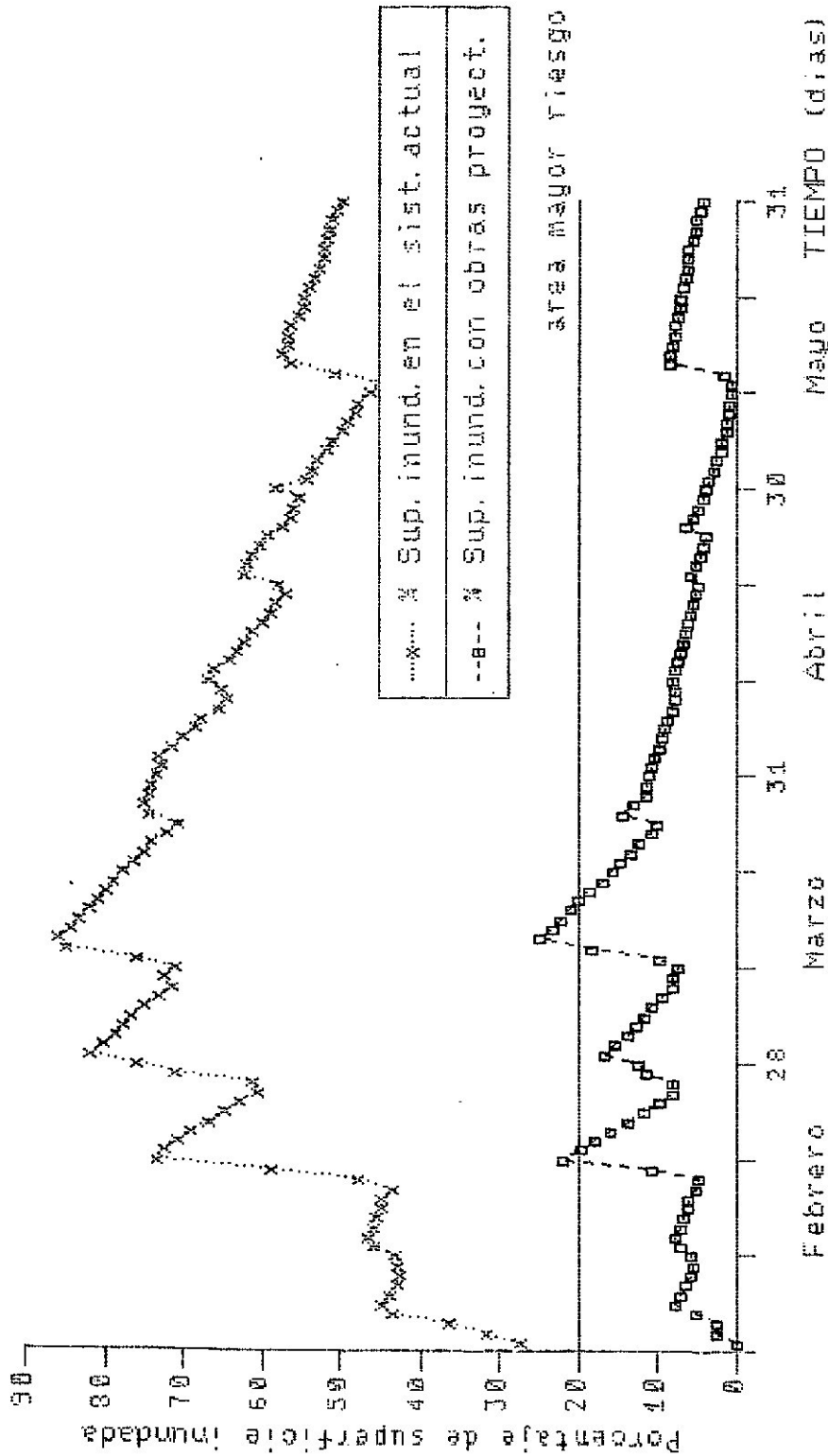
INUNDACION 1981
AREA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE OBRAS
EN EL DISTRITO TOSTADO



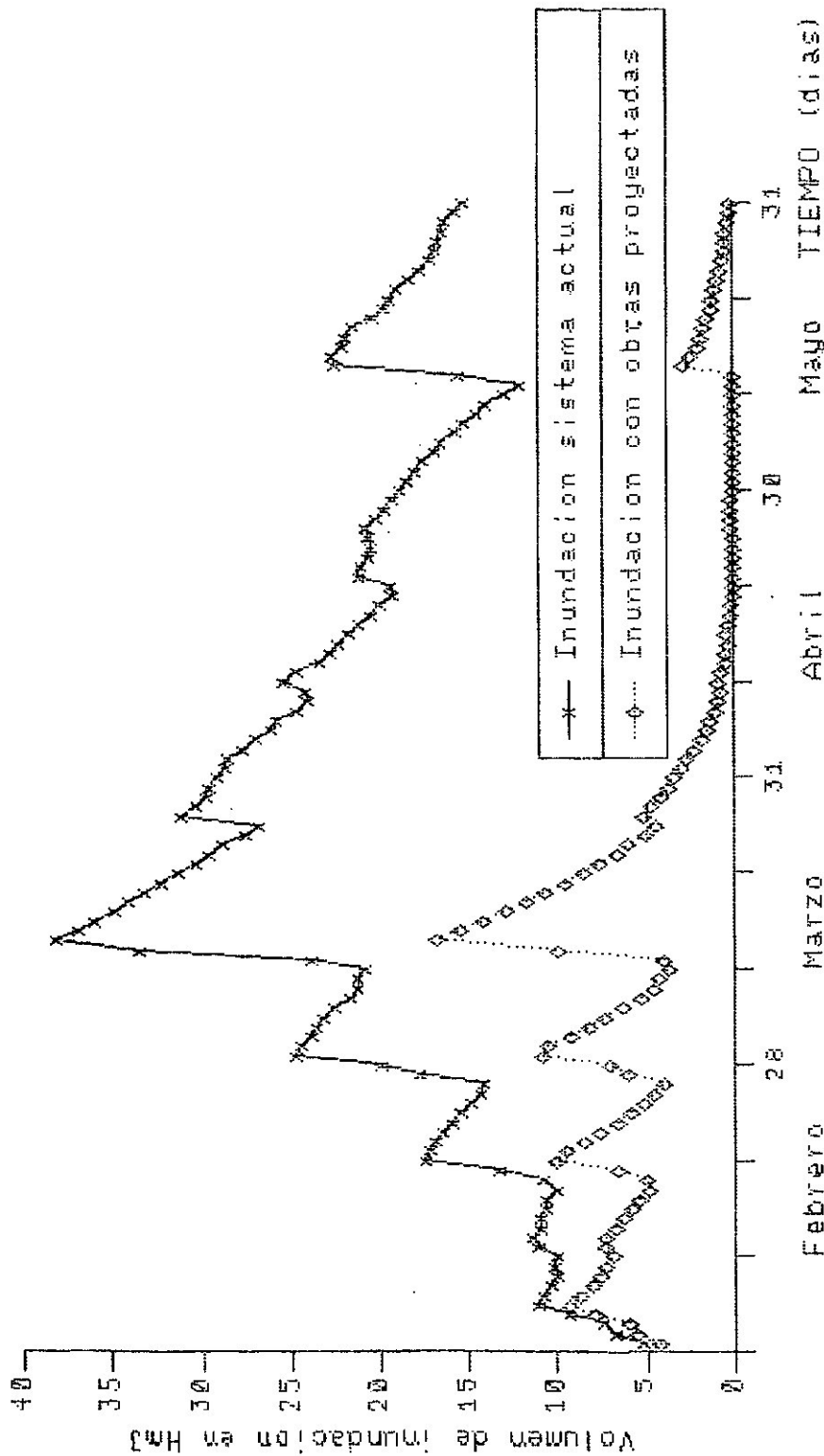
INUNDACION 1981
DISTRITO TOSTADO-AREA UBICADA
ENTRE RUTA INTERPROVINCIAL Y FFCC GRAL BELORAND



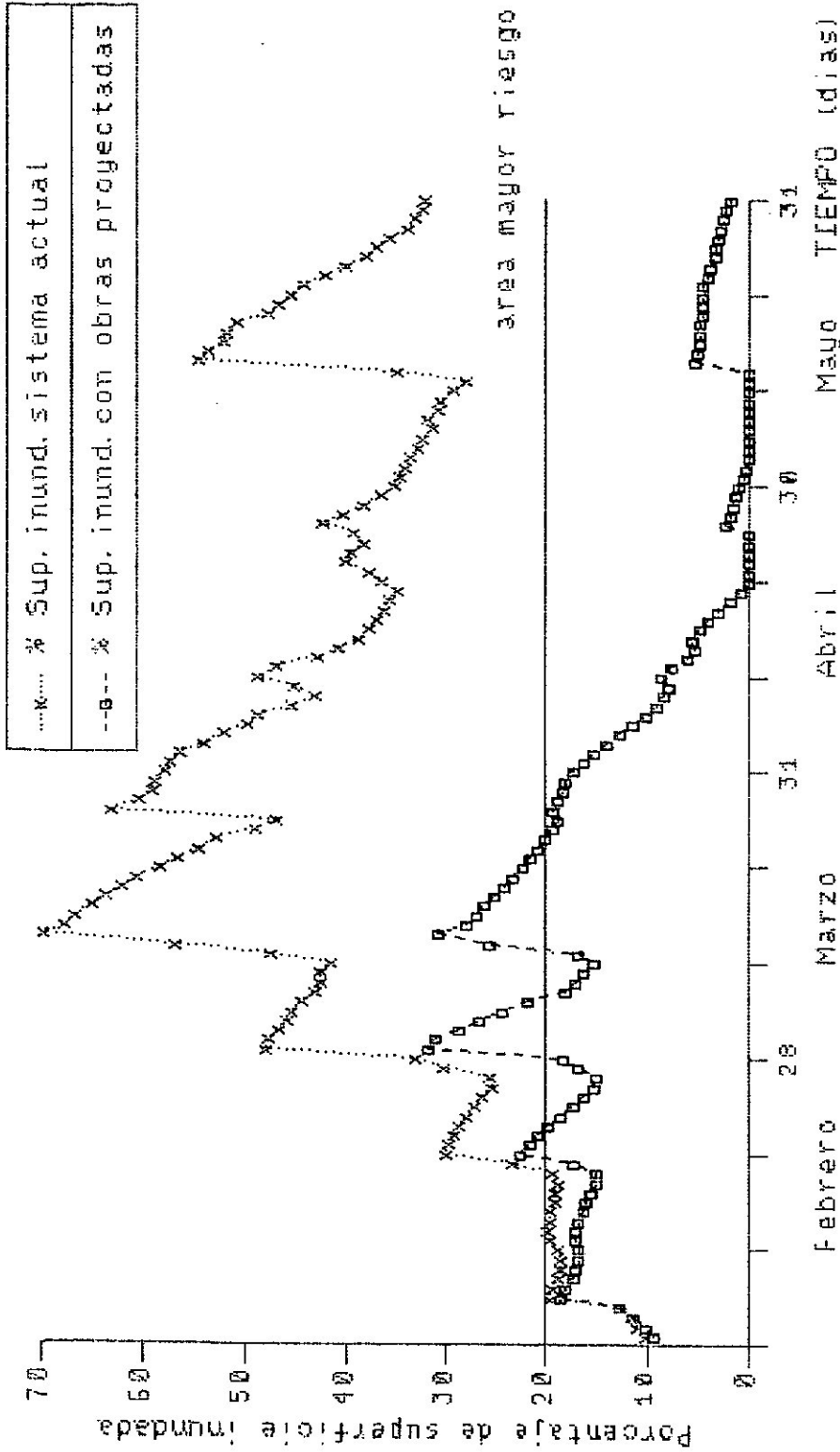
INUNDACION 1981
 DISTRITO TOSTADO-AREA UBICADA
 ENTRE RUTA INTERPROVINCIAL Y FFOC GRAL BELGRAND



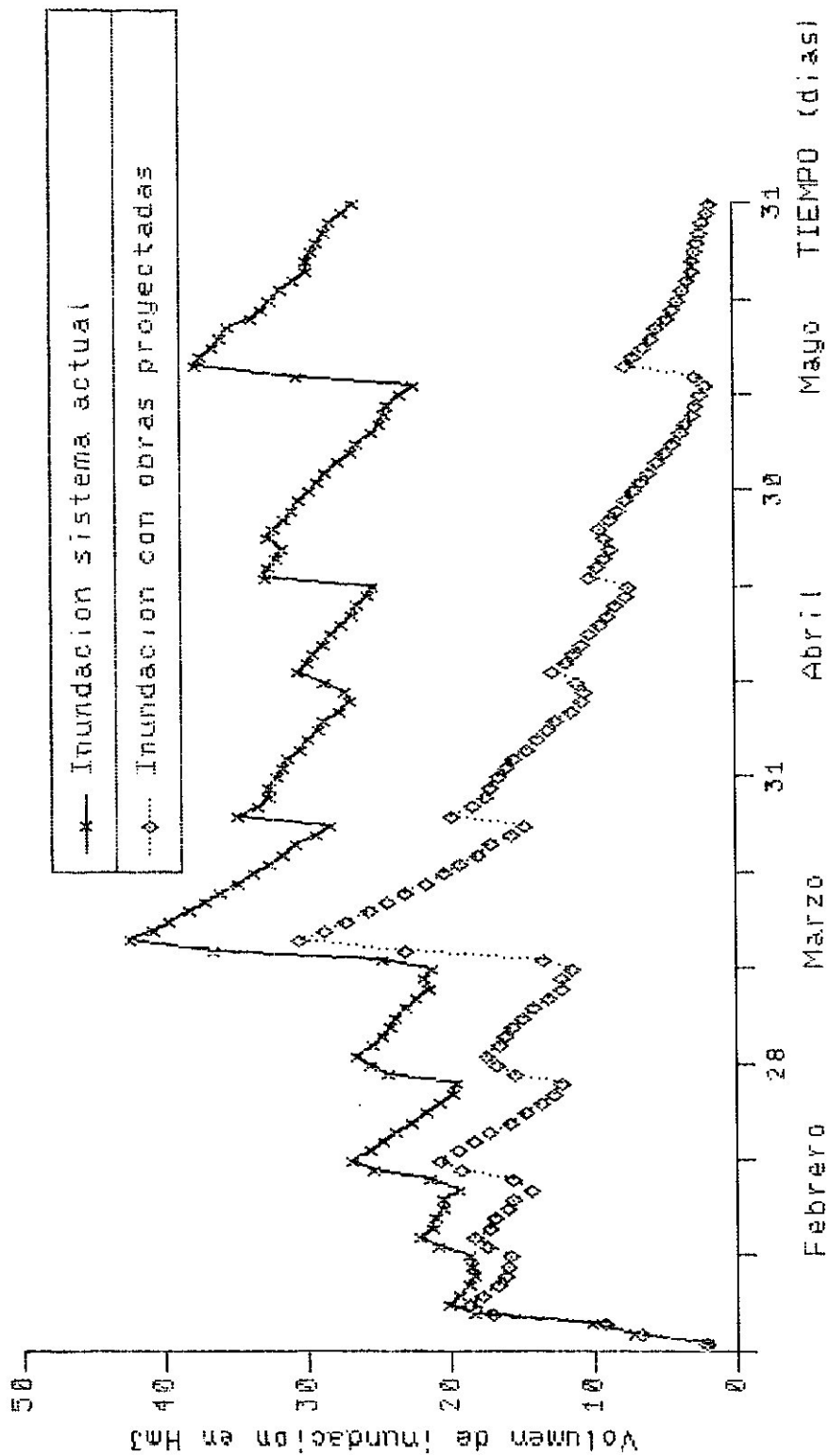
INUNDACION 1961
AREA DE INFLUENCIA DEL CANAL 2



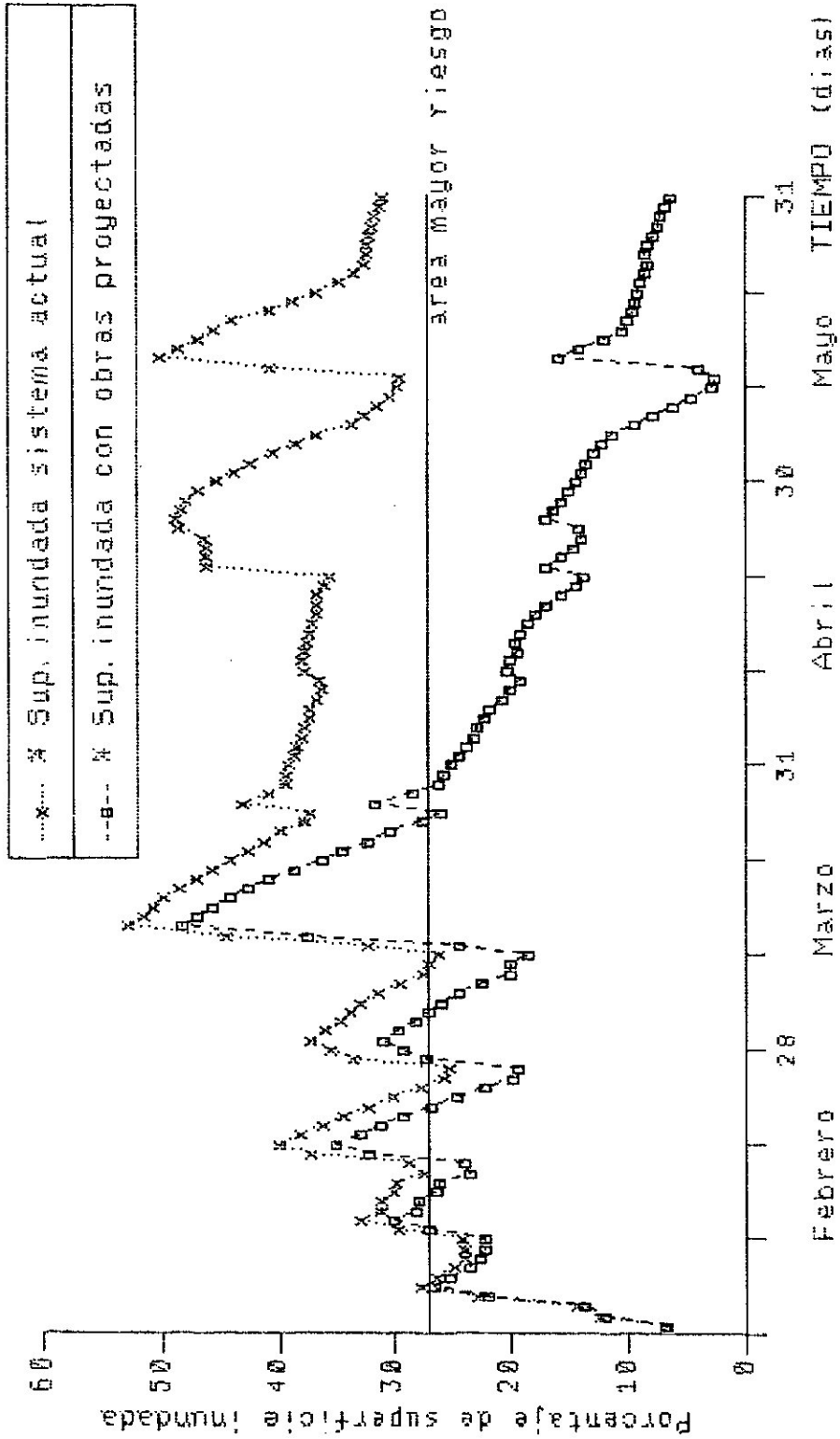
INUNDACION 1981
AREA DE INFLUENCIA DEL CANAL 2



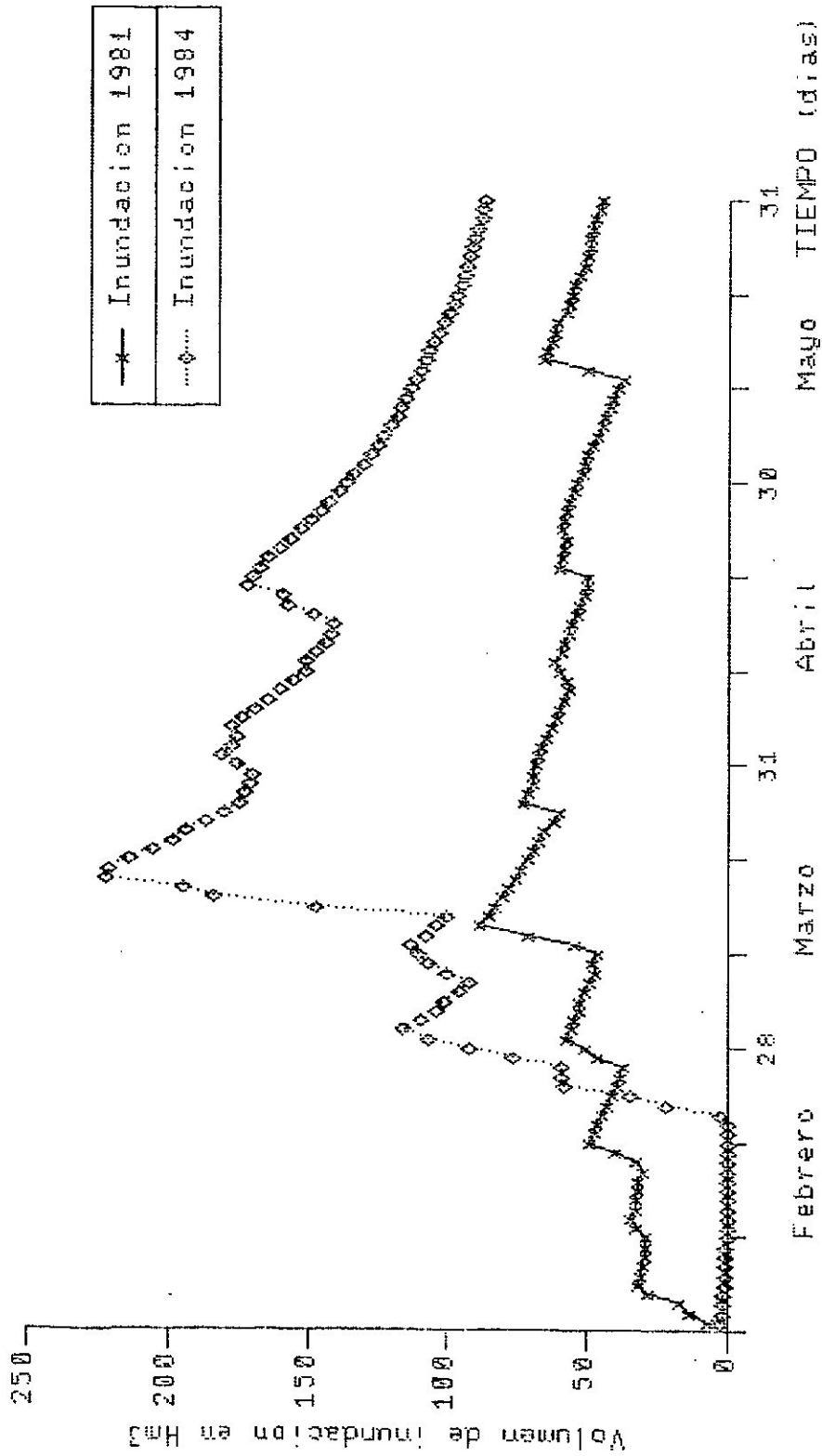
INUNDACION 1981
AREA DE INFLUENCIA DEL CANAL 3



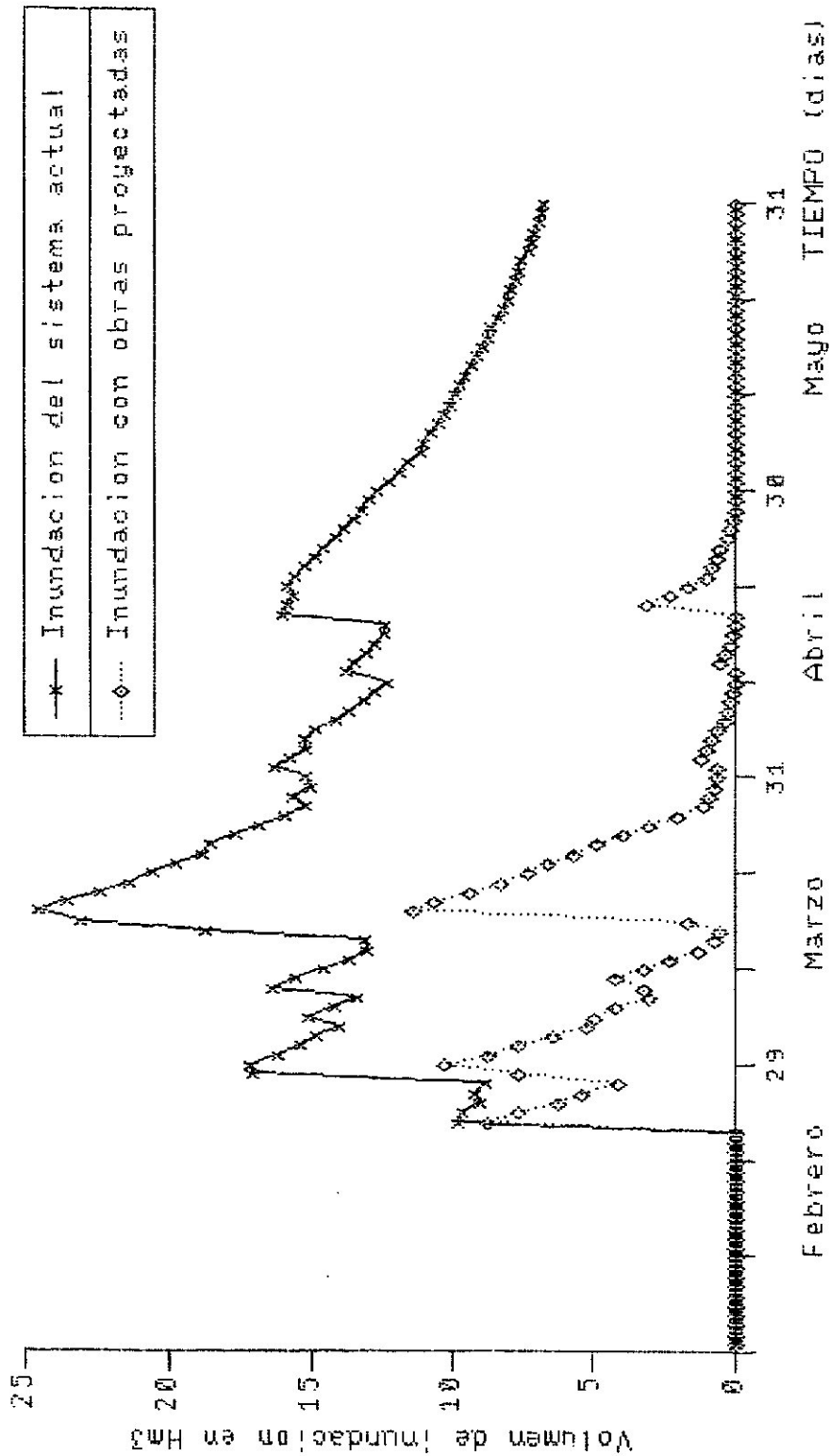
INUNDACION 1961
AREA DE INFLUENCIA DEL CANAL 3



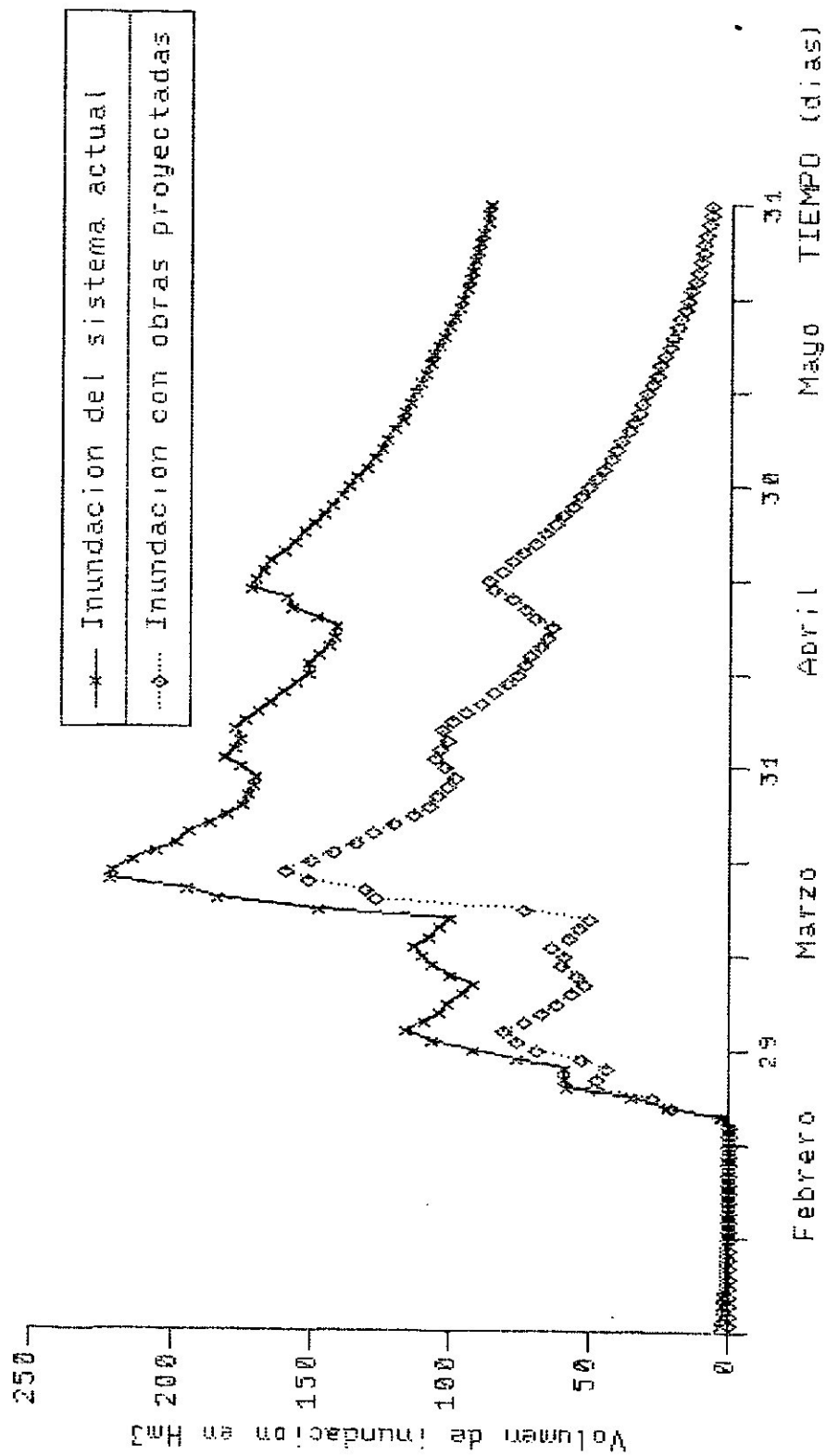
COMPARACION ENTRE LOS VOLUMENES DE INUNDACION DE 1981 Y 1984



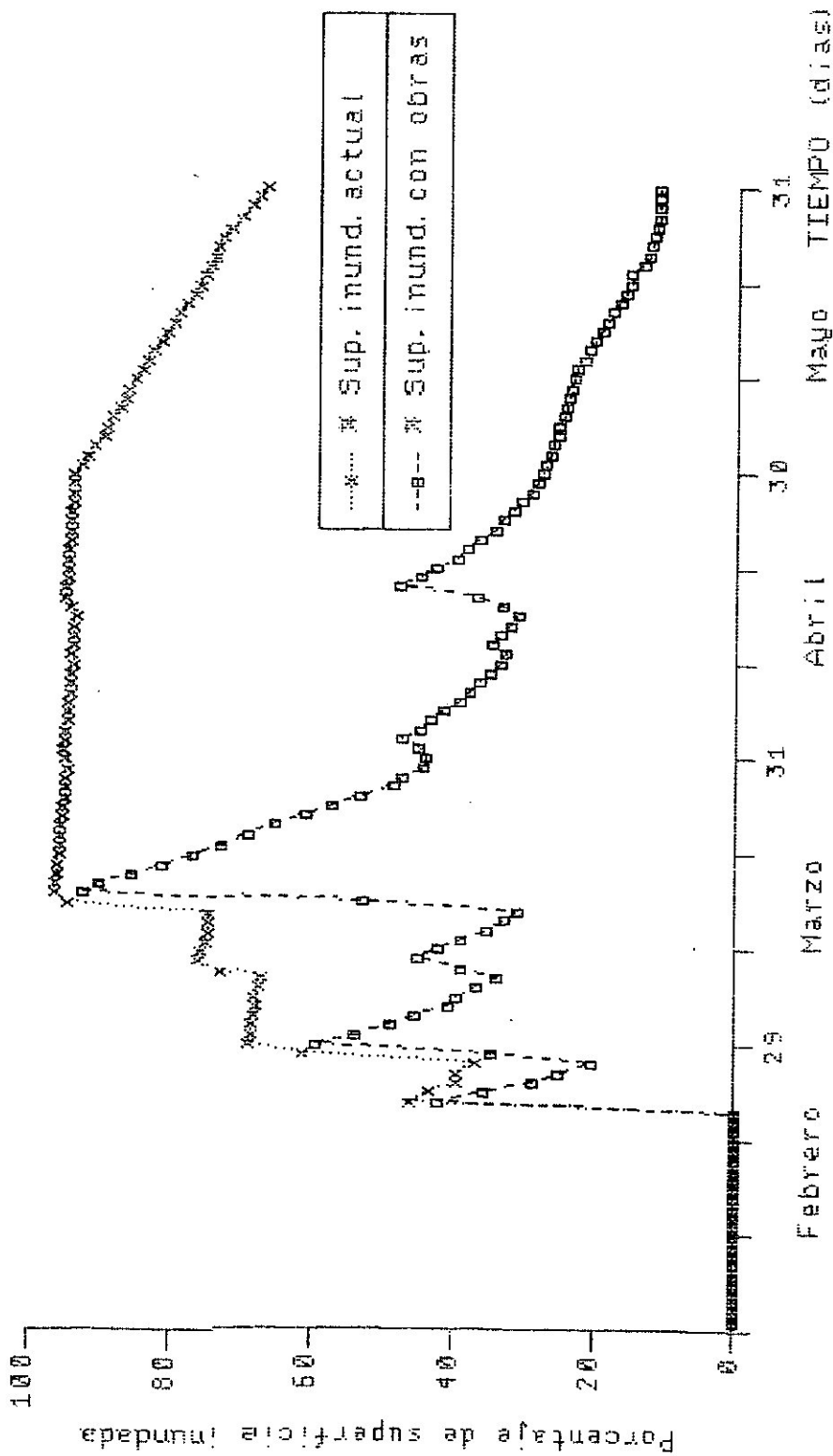
INUNDACION 1984
AREA DE APORTE A LA CIUDAD DE TOSTADO



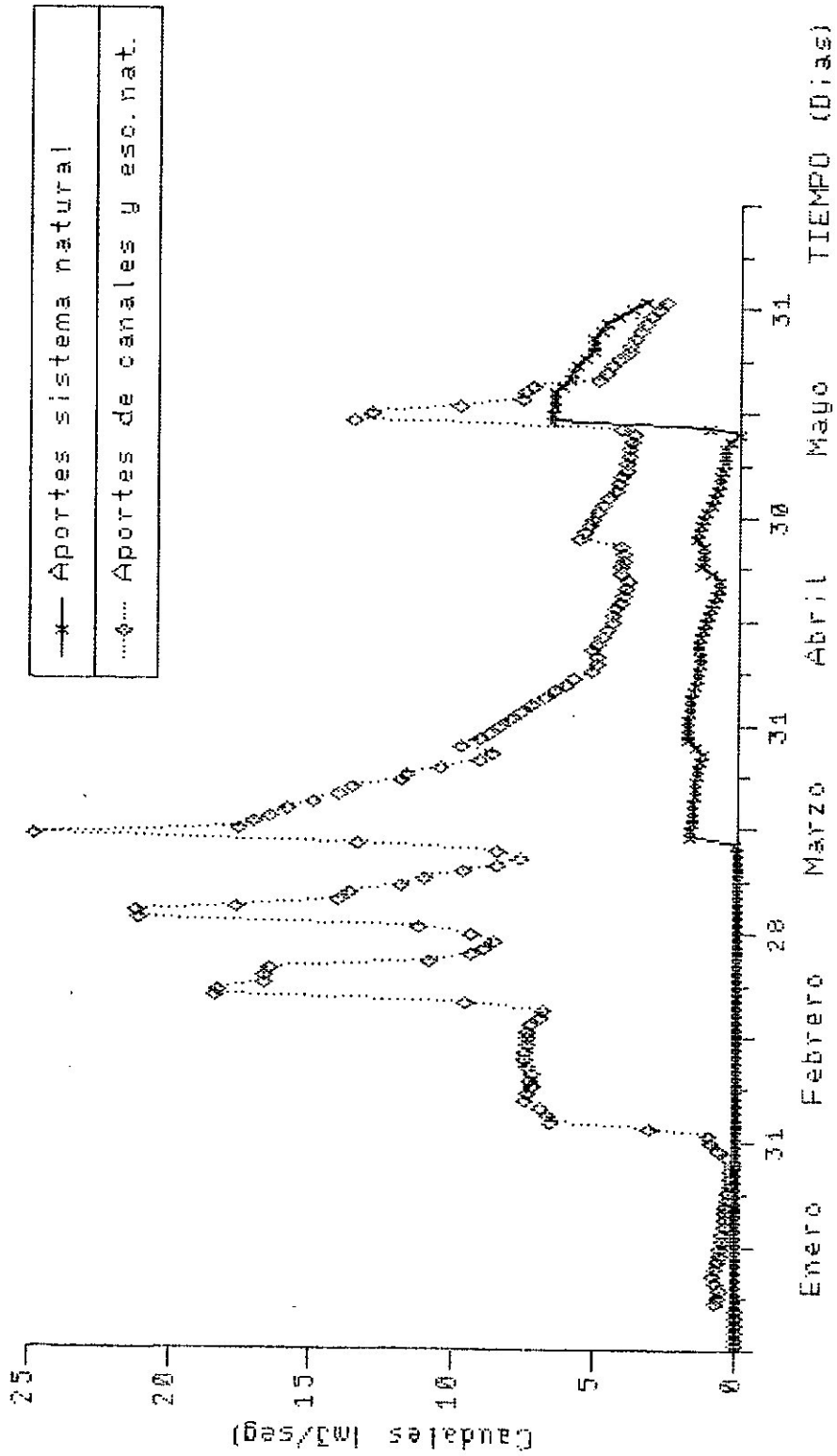
INUNDACION 1984
AREA DE INFLUENCIA DEL SISTEMA DE OBRAS
EN EL DISTRITO TOSTADO



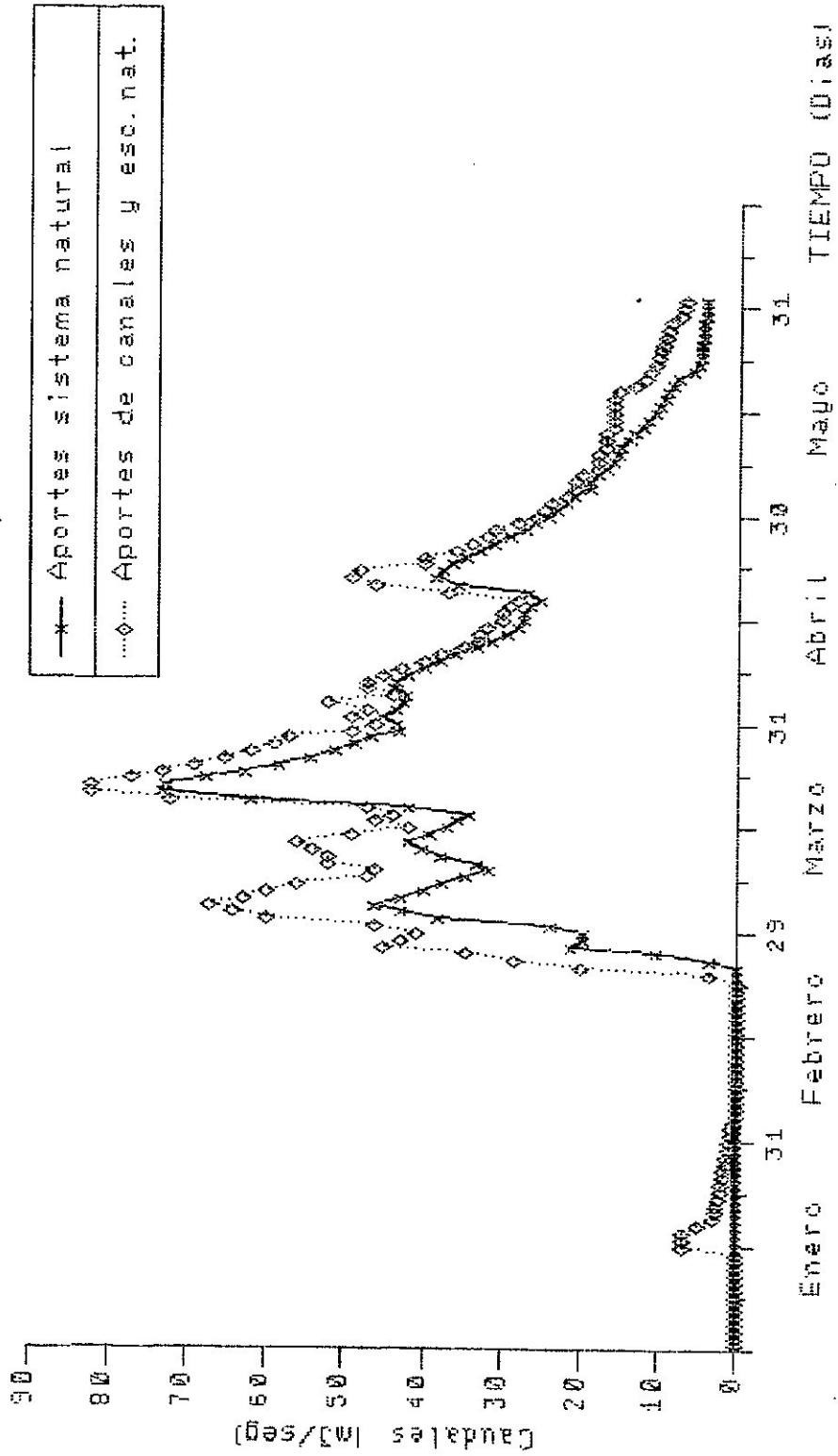
INUNDACION 1984
DISTRITO TOSTADO-AREA UBICADA
ENTRE RUTA INTERPROVINCIAL Y FFCC GRAL BELGRANO



INUNDACION 1981
EVOLUCION DE LOS APORTES TOTALES DEL AREA AL R. SALADO



INUNDACION 1984
EVOLUCION DE LOS APORTES TOTALES DEL AREA AL R. SALADO



C A P I T U L O I I

ANALISIS ESTADISTICO DE PRECIPITACIONES

Ing° Ricardo A. FRATTI
Hidrotéc. Hugo E. VICINO

Estaciones base.

Si bien en el área del distrito Tostado se cuenta con un buen número de estaciones pluviométricas, las únicas que poseen un registro de varios años son las pertenecientes al Ferrocarril General "Manuel Belgrano".

Por lo tanto, para realizar el análisis estadístico, se seleccionaron cinco de ellas, que cubren fundamentalmente la parte Oeste del área. Se trabajó entonces, con las siguientes estaciones base: Pozo Borrado, Fortín Inca, Tostado, Independencia y Logroño.

Análisis para 30 y 60 días.

La serie utilizada es la que va del año 1937-1938 a 1983-1984, a excepción de Pozo Borrado, que se inicia en 1942-1943.

Según los resultados obtenidos en trabajos anteriores, se seleccionaron las distribuciones Log Pearson III y Gumbel para los valores máximos en 30 y 60 días.

Si en cada estación analizamos los tres valores mayores de la serie, para el ajuste de máximos en 60 días las diferencias entre ambas distribuciones son menores al 14 %, se exceptuamos los 855/mm. de Logroño para 1984 cuya diferencia es mayor, aunque en este caso el valor está muy separado de la nuestra, lo que le resta confiabilidad al ajuste.

Para el caso de máximos en 30 días, las diferencias aumentan, manteniéndose sin embargo en rangos aceptables, a excepción de la estación Tostado que se comporta diferente al resto, lo que obliga a ser precavidos en las apreciaciones.

Se aplicó el test de Kolmogoroff a cada caso, con resultados/positivos.

Estación	Precipitación máxima 30 días	Recurrencia		Periodo
		Log Pearson	Gumbel	
Pozo Borrado	514	103	114	Feb-Mar 1984
	438	36	37	Feb-Mar 1974
	391	19	19	Abr 1973
Fortín Inca	540	74	98	Feb-Mar 1984
	458	28	32	Feb-Mar 1977
	449	26	29	Feb-Mar 1974
Tostado	515	142	76	Ene-Feb 1973
	498	103	61	Feb-Mar 1984
	437	35	27	Feb-Mar 1938
Independencia	534	80	110	Feb-Mar 1984
	450	31	35	Nov-Dic 1982
	441	28	31	Mar-Abr 1973
Logroño	599	127	187	Feb-Mar 1984
	430	19	20	Mar-Abr 1973
	418	17	17	Feb-Mar 1978

Estación	Precipitación máxima 60 días	Recurrencia		Periodo
		Log Pearson	Gumbel	
Pozo Borrado	625	50	48	Mar-Abr 1973
	600	37	36	Feb-Abr 1984
	598	36	36	Feb-Abr 1974
Fortín Inca	698	57	58	Ene-Mar 1974
	649	35	36	Feb-Abr 1977
	639	31	33	Feb-Abr 1984
Tostado	670	67	78	Ene-Mar 1984
	611	37	40	Ene-Mar 1973
	569	24	25	Ene-Mar 1977
Independencia	843	218	251	Ene-Mar 1984
	662	41	42	Mar-Abr 1973
	561	16	16	Dic 1982-Ene 1983
Logroño	855	143	252	Ene-Mar 1984
	580	16	17	Ene-Mar 1974
	577	16	16	Mar-Abr 1973

Haciendo el análisis de los años 1981 y 1984, en los cuales/ hubo inundaciones y se pudo realizar una estimación cuantitativa mediante mediciones de campo, se puede observar lo siguiente:

La importancia de las precipitaciones de 1984, tanto para 30 días como para 60 días se evidencia al figurar en todas las estaciones, entre los tres valores mayores de la serie. Además, su influencia es notable en el ajuste realizado, para lo que podemos denominar "serie mezclada", es decir con todas las estaciones, ya que la recurrencia en general disminuye hasta un 50 % al incluirse a 1984.

Si bien la recurrencia para 1984 varía en cada estación, se encuentra siempre por encima de los 30 años para los 60 días y superior a 60 años para los 30 días.

Los valores de precipitación de 1981 son sensiblemente menores, con recurrencia entre 3 y 8 años para los 60 días y entre 2 y 4 años para los 30 días.

Esta diferencia marcada entre las precipitaciones de 1981 y 1984, que se apreció en la magnitud de la inundación que se produjo, los caracteriza para realizar una evaluación hidrológica / en estado natural y con obras mediante el modelo matemático.

Estación	Año 1981 Precipitación máxima 30 días	Recurrencia		Precipitación máxima 60 días	Recurrencia	
		Log Pearson	Gumbel		Log Pearson	Gumbel
Pozo Borrado	269	3	3	454	8	8
Fortín Inca	237	2	2	427	4	4
Tostado	198	2	2	421	5	5
Independencia	196	2	2	395	4	3
Logroño	295	4	4	412	4	3

CONCLUSIONES.

1. Las dos distribuciones aplicadas se ajustan en forma satisfactoria.
2. Se considera que la ley Log Pearson III da valores más reales, especialmente en los máximos de la serie.
3. Se demuestra la relevancia de los montos pluviométricos de 1984, / en forma más pronunciada para máximos en 30 días.
4. La recurrencia de la precipitación máxima en 60 días para 1981, va ría entre 5 y 8 años en el área de Tostado y Pozo Borrado.

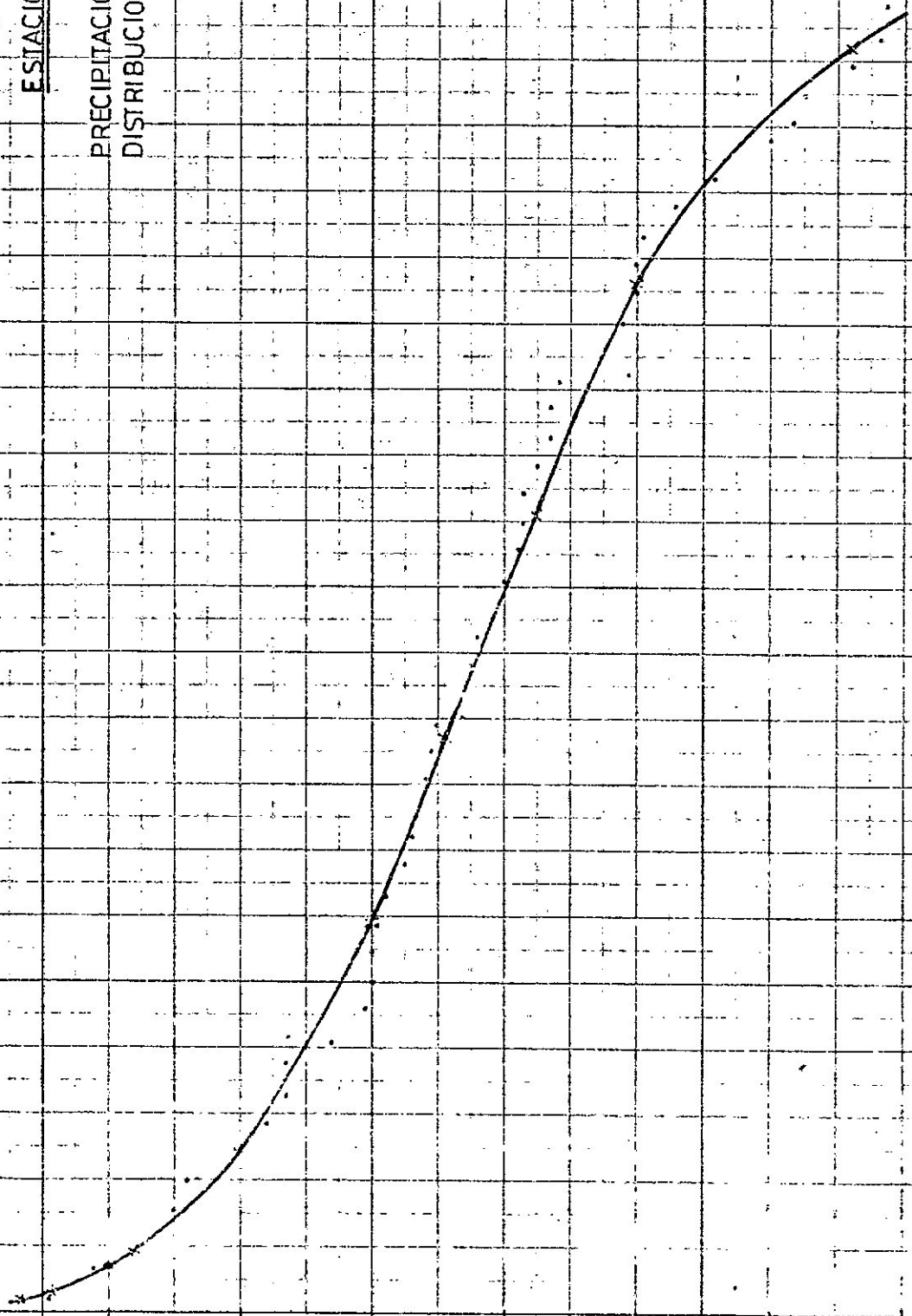
GRAFICOS

ESTACION FORTIN INCA

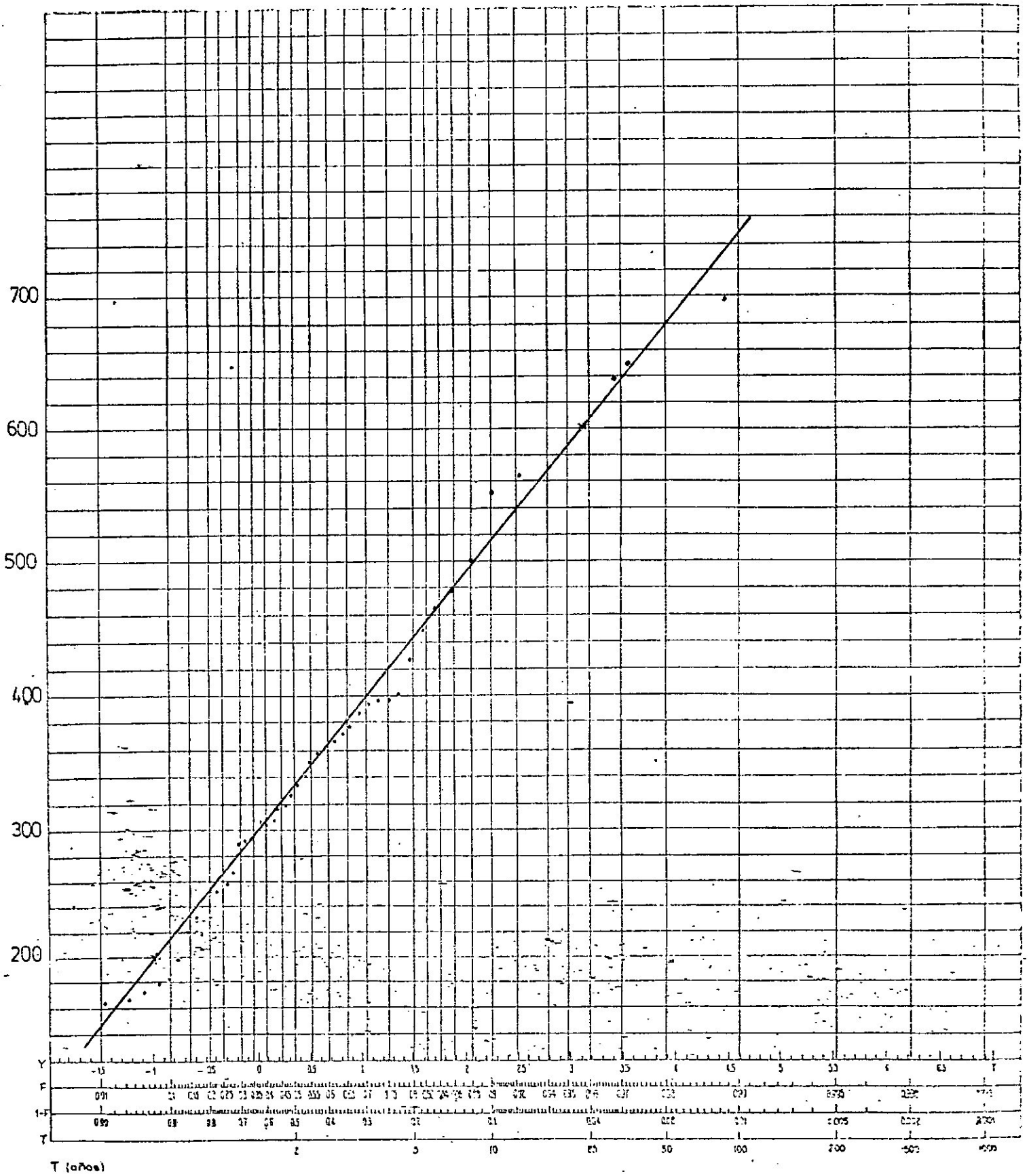
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION LOG. PEARSON III

LOG P
2.9
2.8
2.7
2.6
2.5
2.4
2.3
2.2
2.1

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10
09 08 07 06 05 04 03 02 01 0

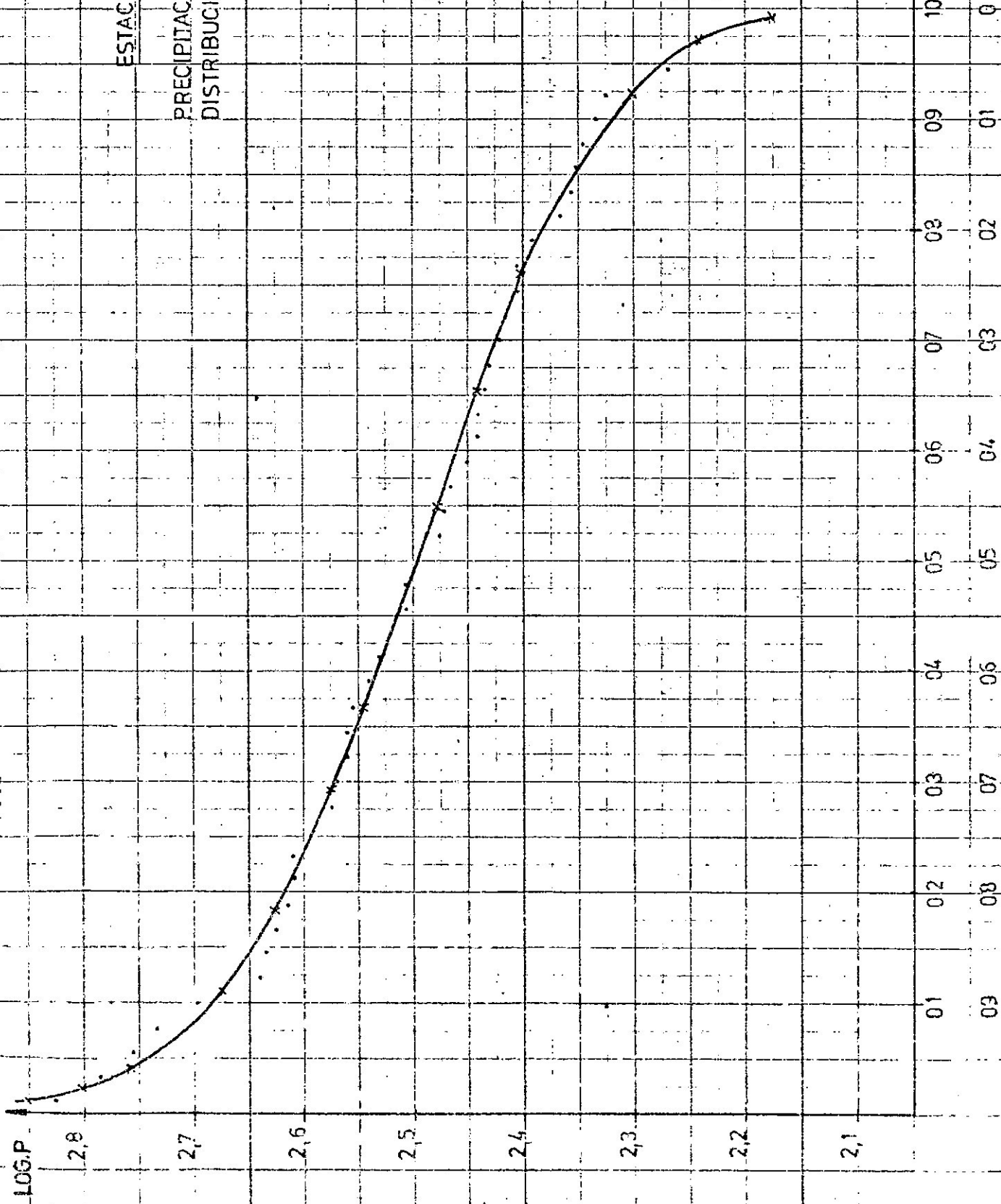


PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL

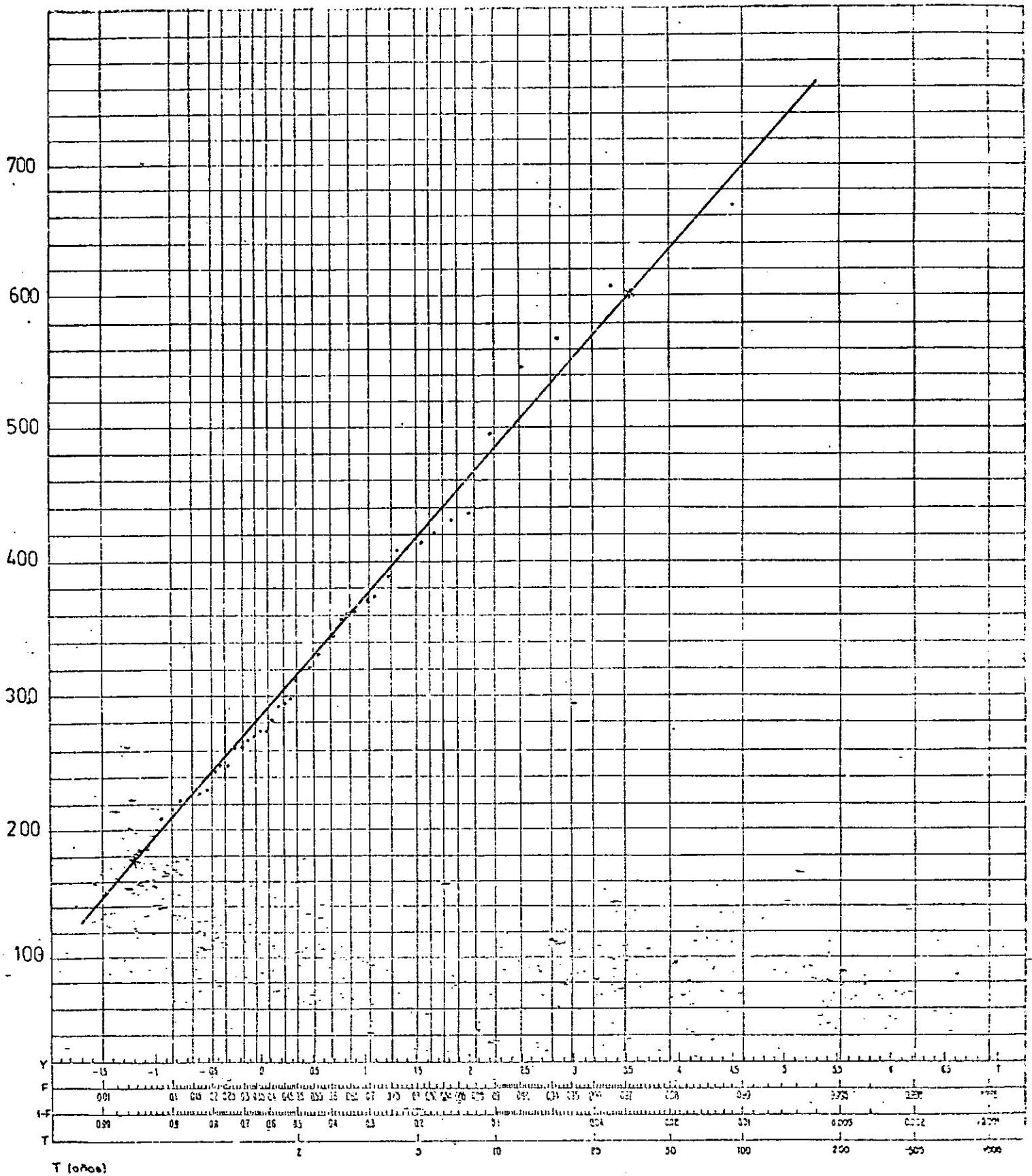


ESTACION: TOSTADO

PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION LOG PEARSON III



ESTACION: TOSTADO
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION: GUMBEL

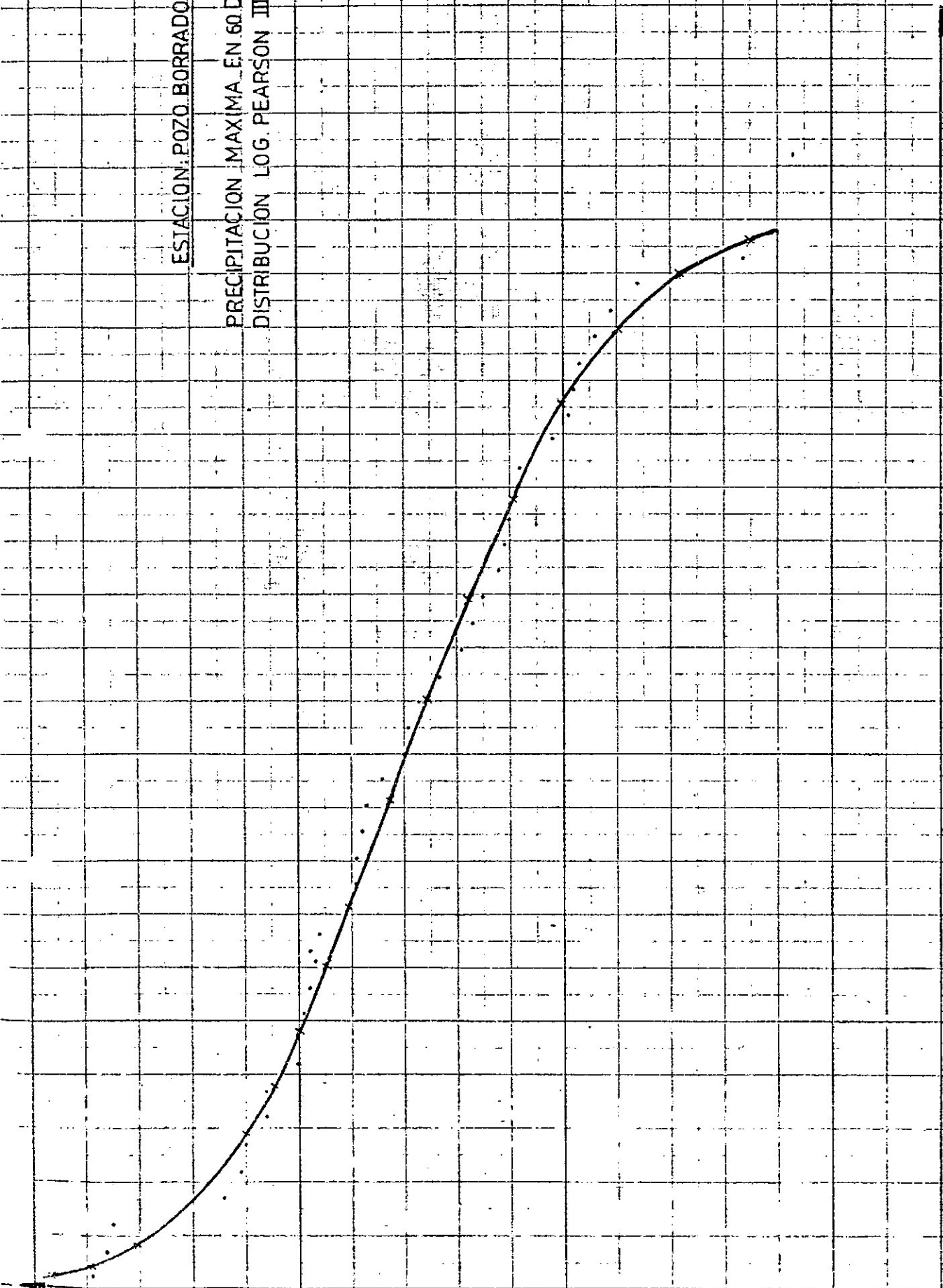


ESTACION: POZO BORRADO

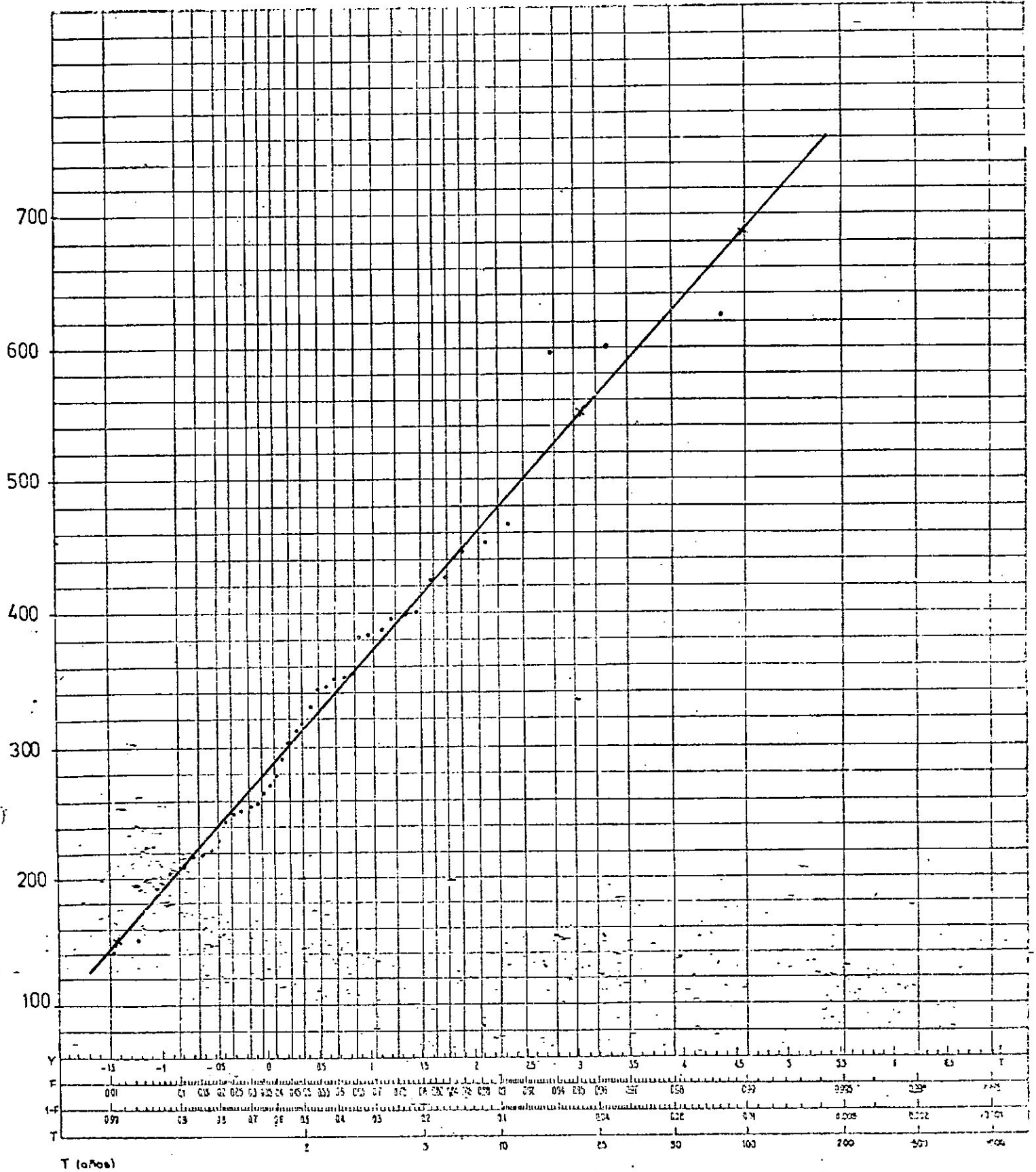
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS.
DISTRIBUCION LOG PEARSON III

LOG. P
2.8
2.7
2.6
2.5
2.4
2.3
2.2
2.1

01 02 03 04 05 05 04 03 02 01 0
09 08 07 06 05 05 04 03 02 01 0

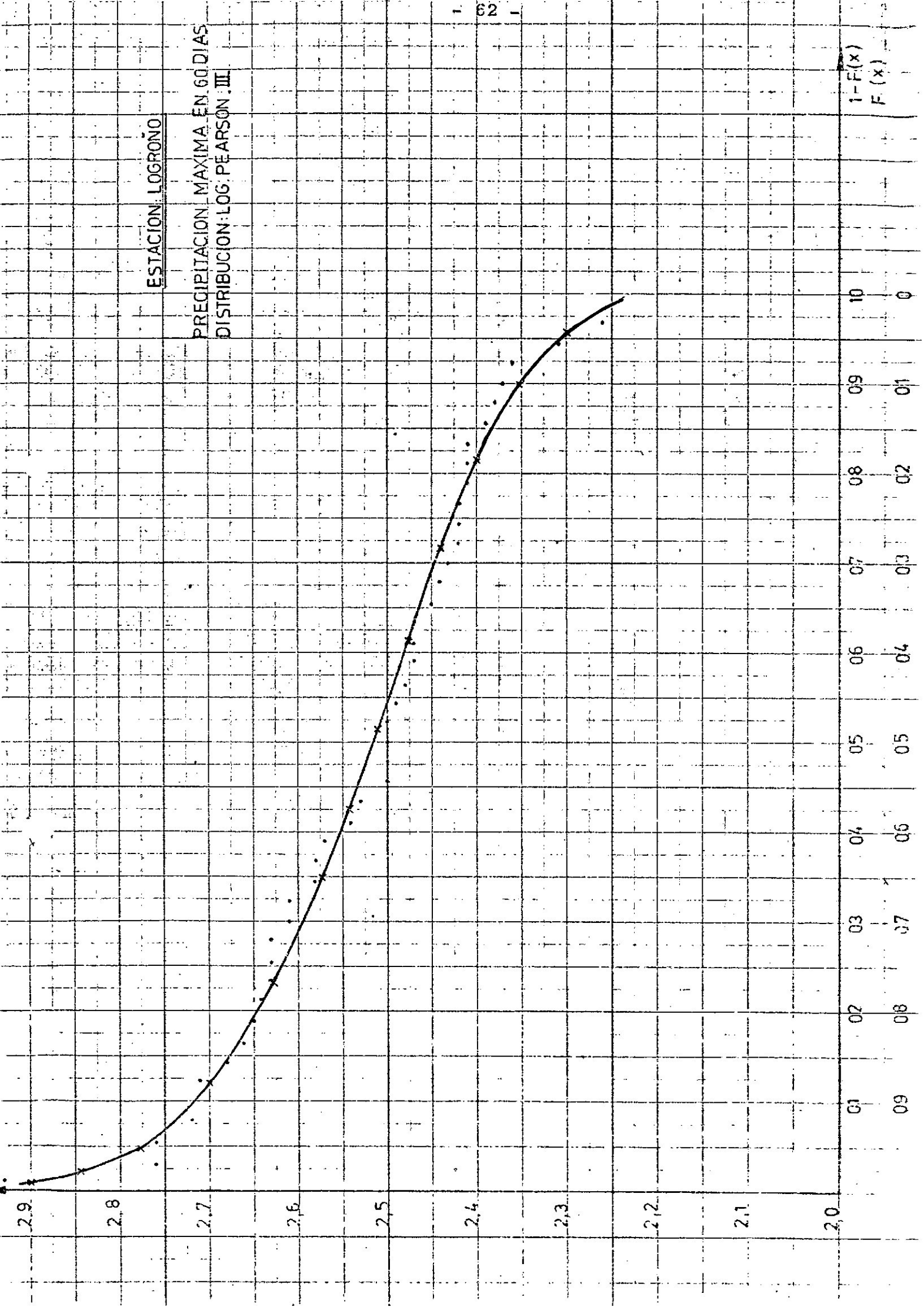


ESTACION: POZO BORRADO
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION: GUMBEL

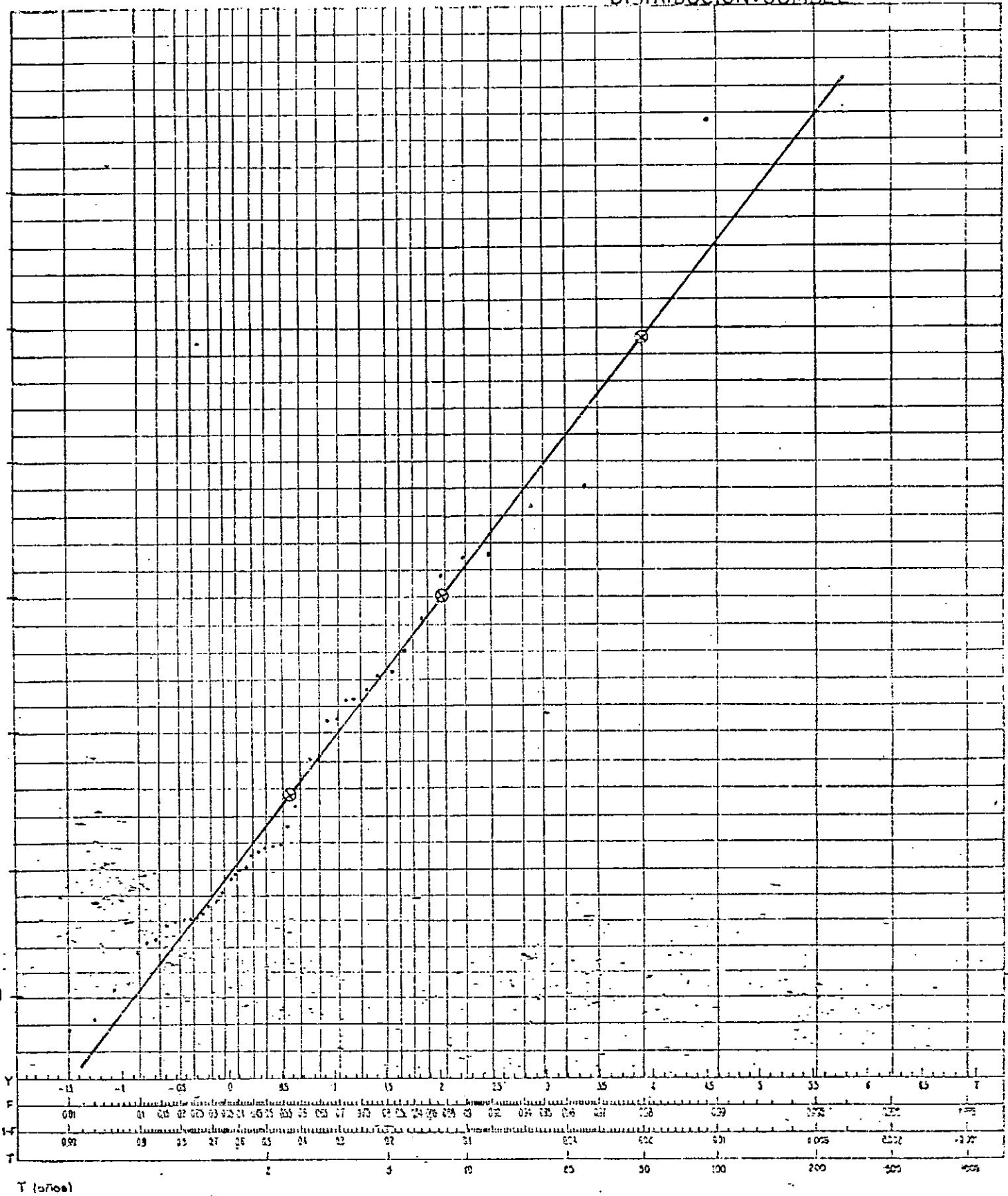


ESTACION: LOGRONO

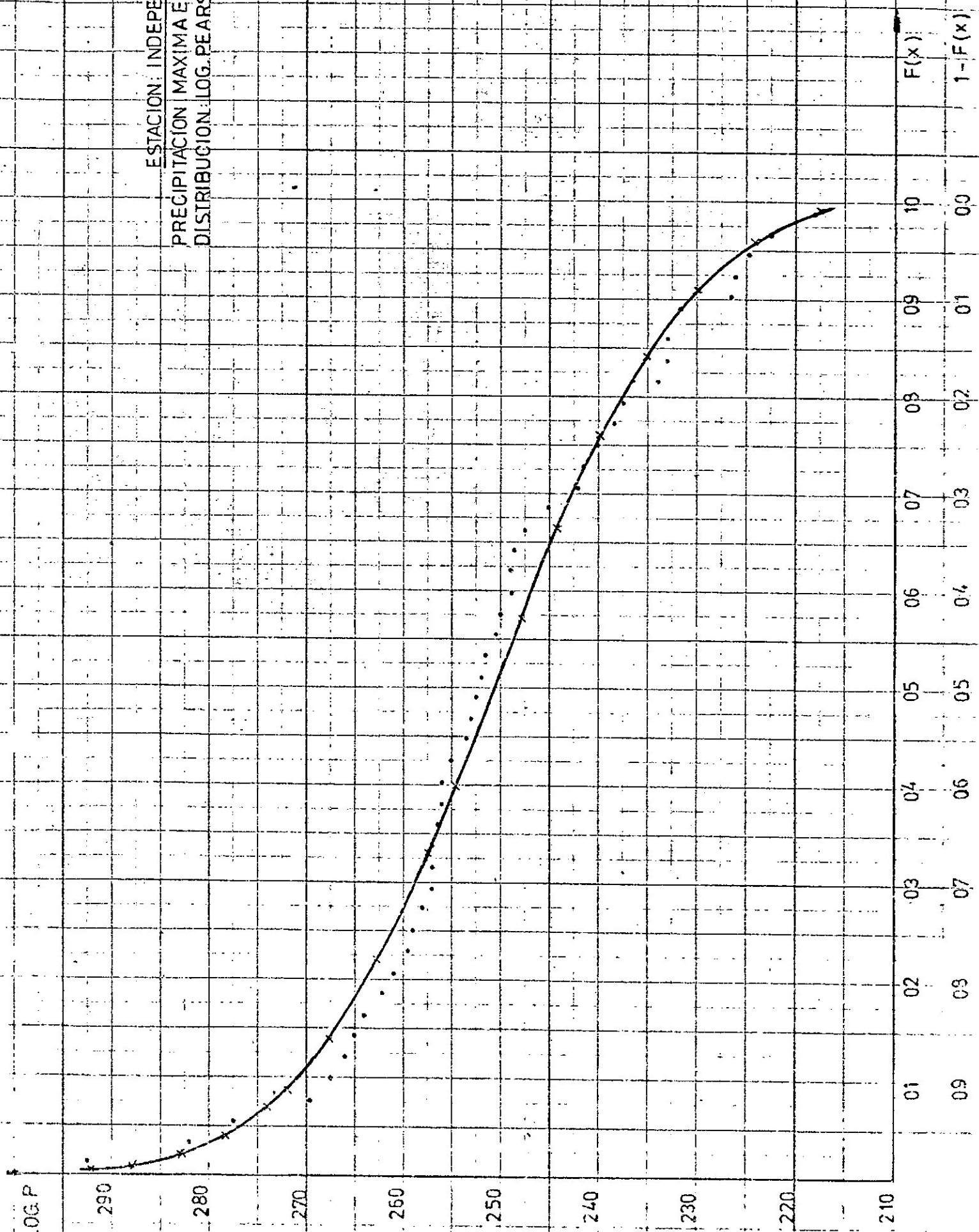
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION LOG. PEARSON III



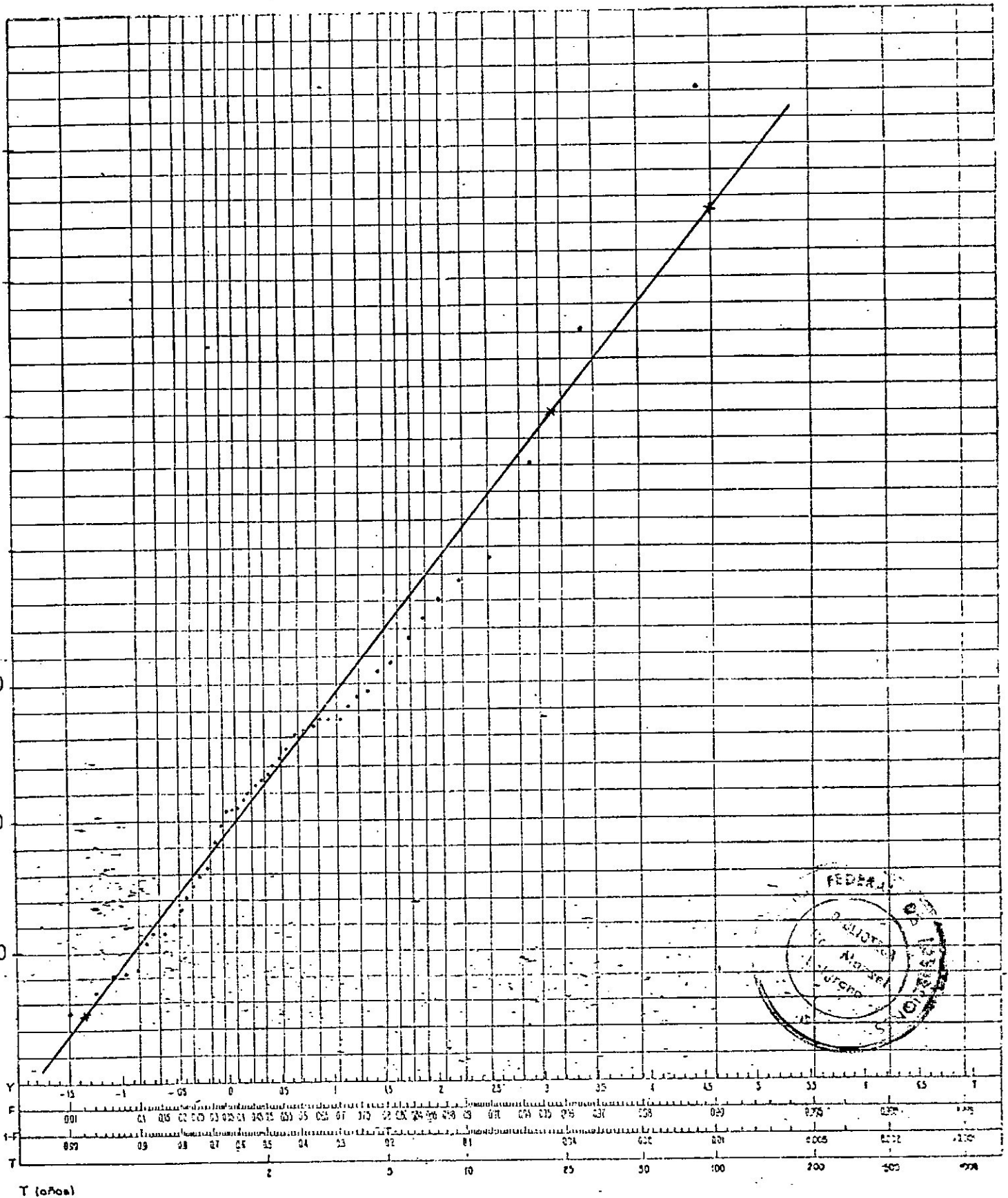
ESTACION: LOGROÑO
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION: GUMBEL



ESTACION: INDEPENDENCIA
PRECIPITACION MAXIMA EN 60 DIAS
DISTRIBUCION LOG. PEARSON III



ESTACION: INDEPENDENCIA
PRECIPITACION MÁXIMA EN 60 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL



ESTACION FORTIN INCA

PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS
DISTRIBUCION: LOG-PEARSON III

LOG P.

2.8

2.7

2.6

2.5

2.4

2.3

2.2

2.1

01

02

03

04

05

06

07

08

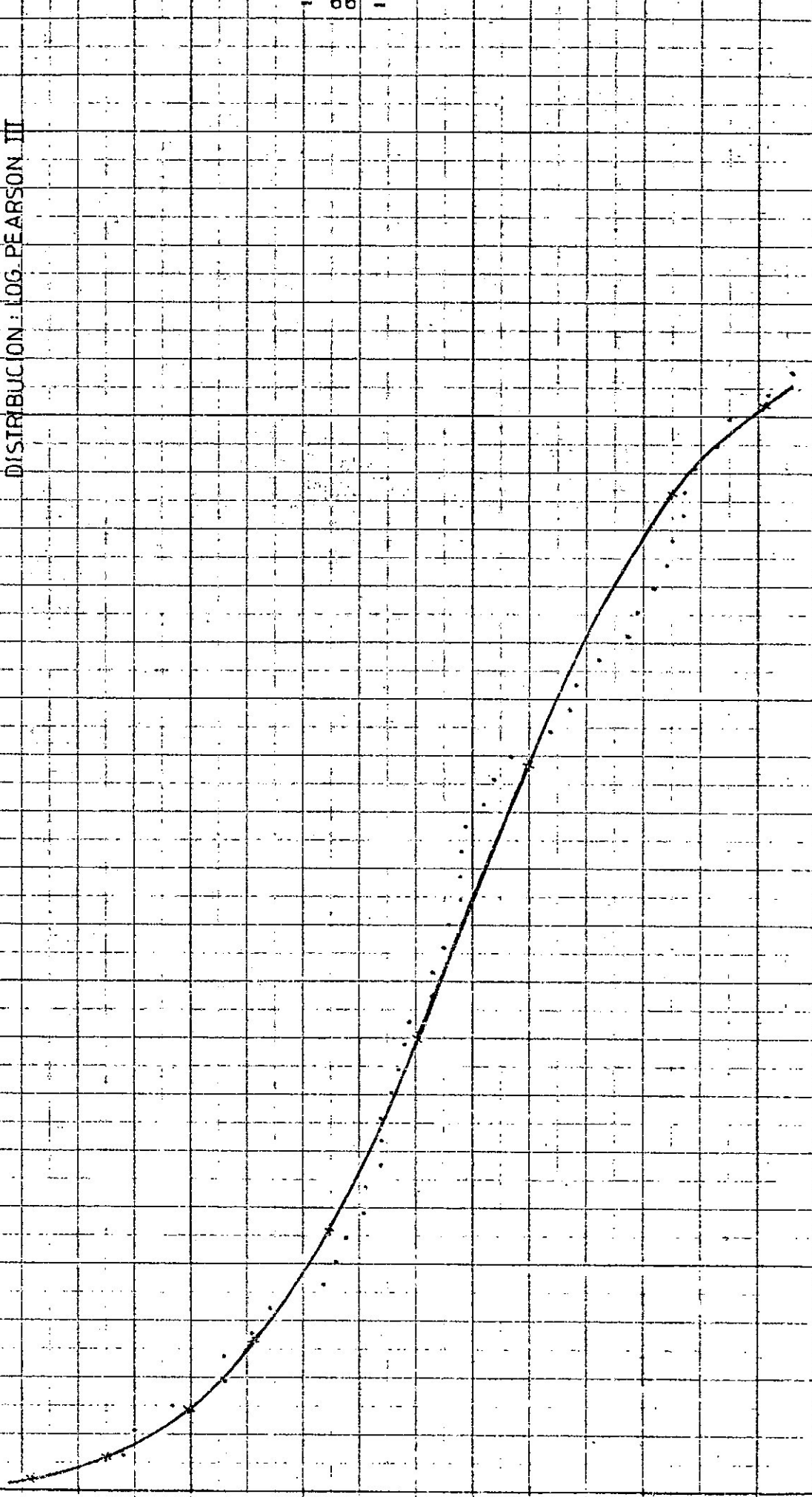
09

10

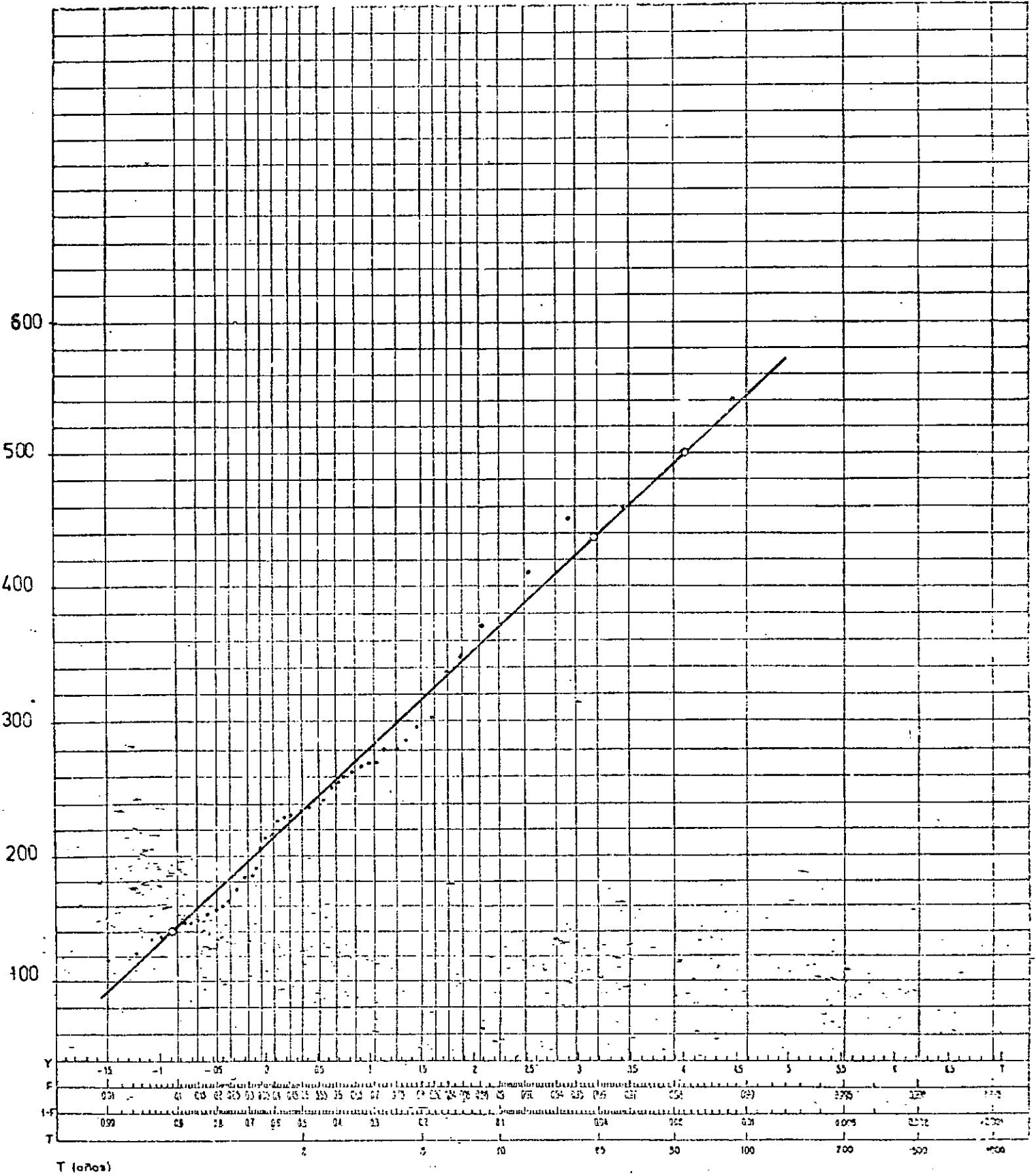
01

02

03



ESTACION: FORTIN INCA
PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL.



ESTACION TOSTADO.

PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS
DISTRIBUCION GUMBEL

LOG P

280

270

260

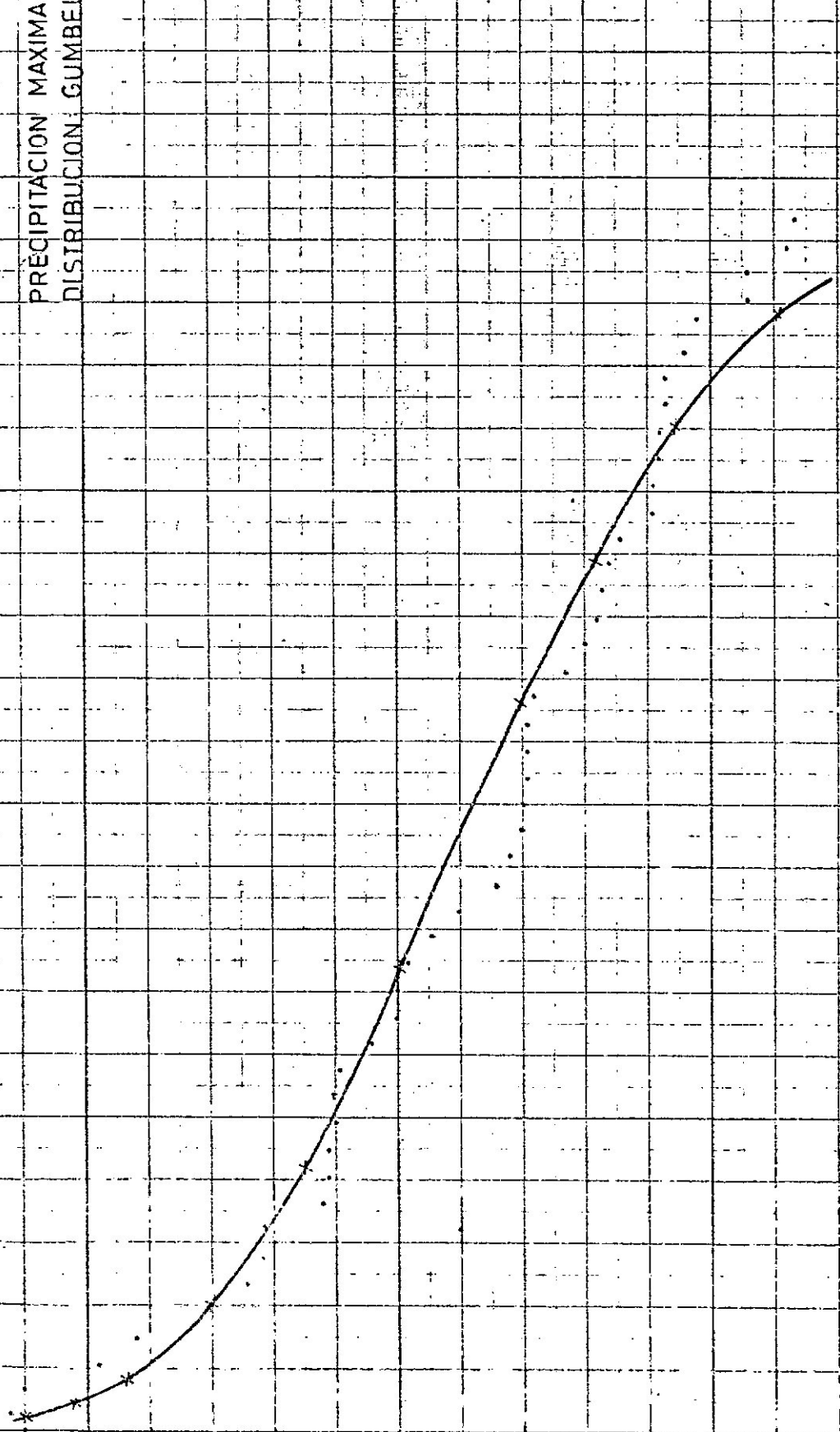
250

240

230

220

210



1-F(x)

10

09

08

07

06

05

04

03

02

01

F(x)

0

01

02

03

04

05

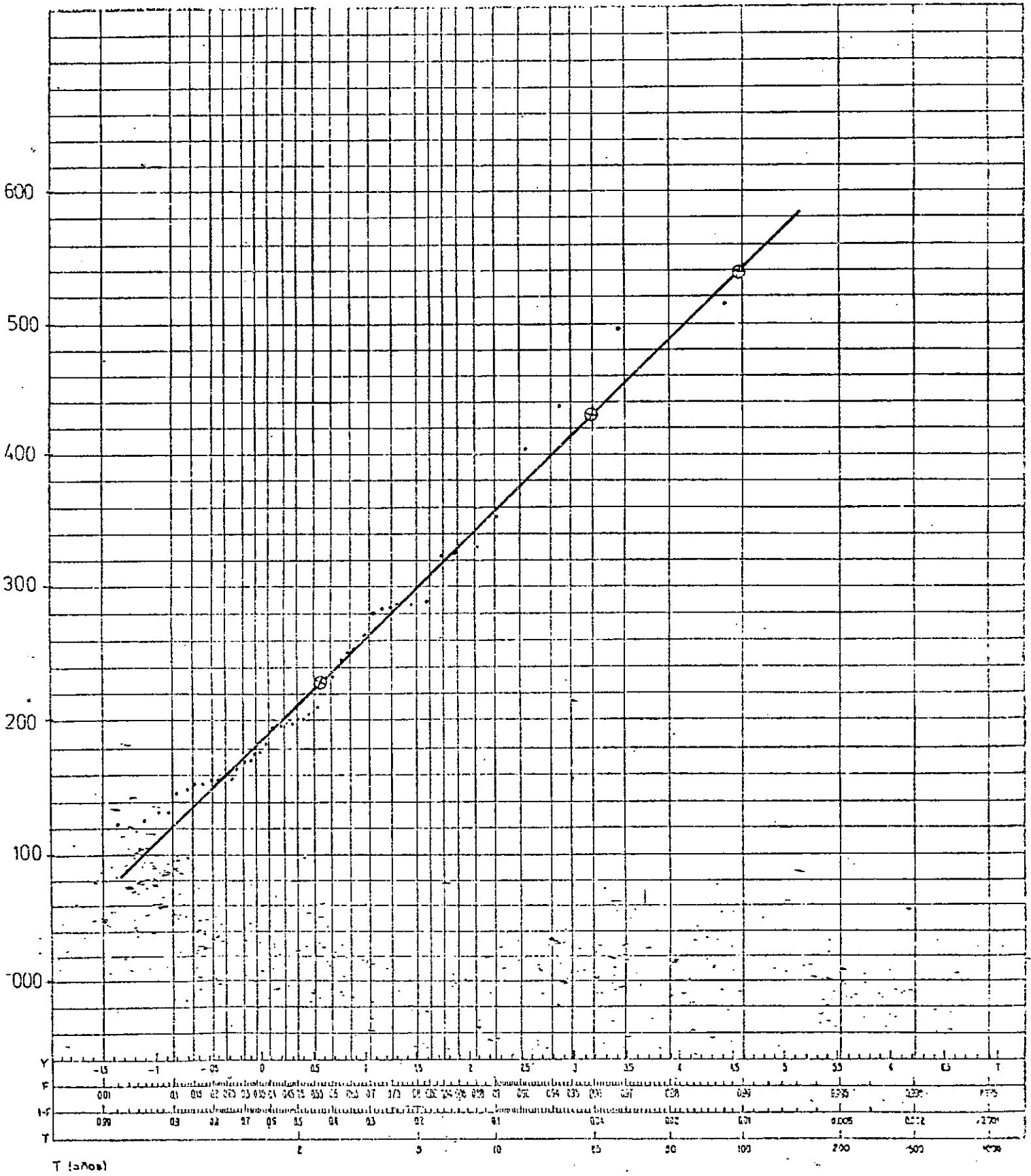
06

07

08

09

ESTACION: TOSTADO
PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL



LOG.P
2.8

2.7

2.6

2.5

2.4

2.3

2.2

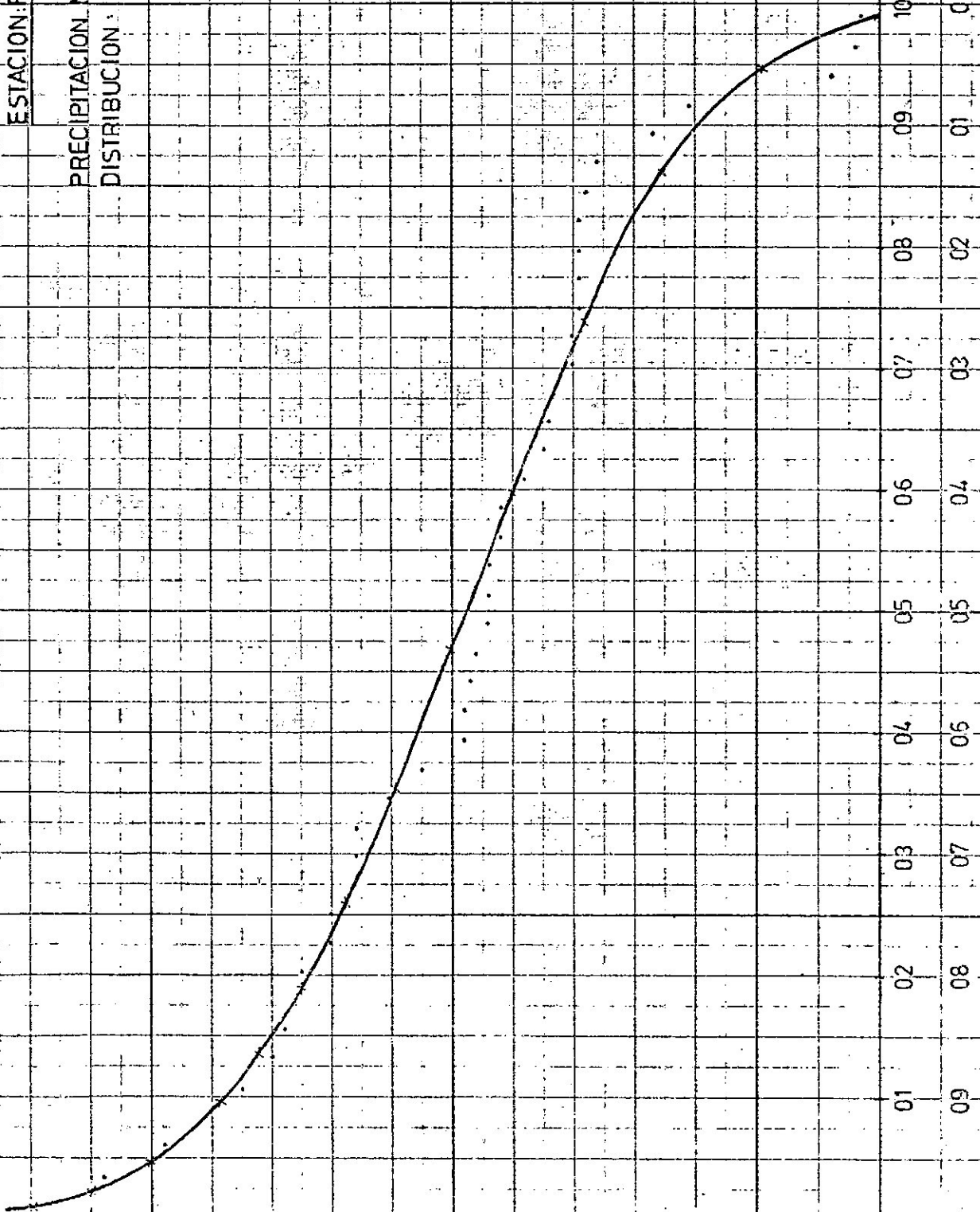
2.1

2.0

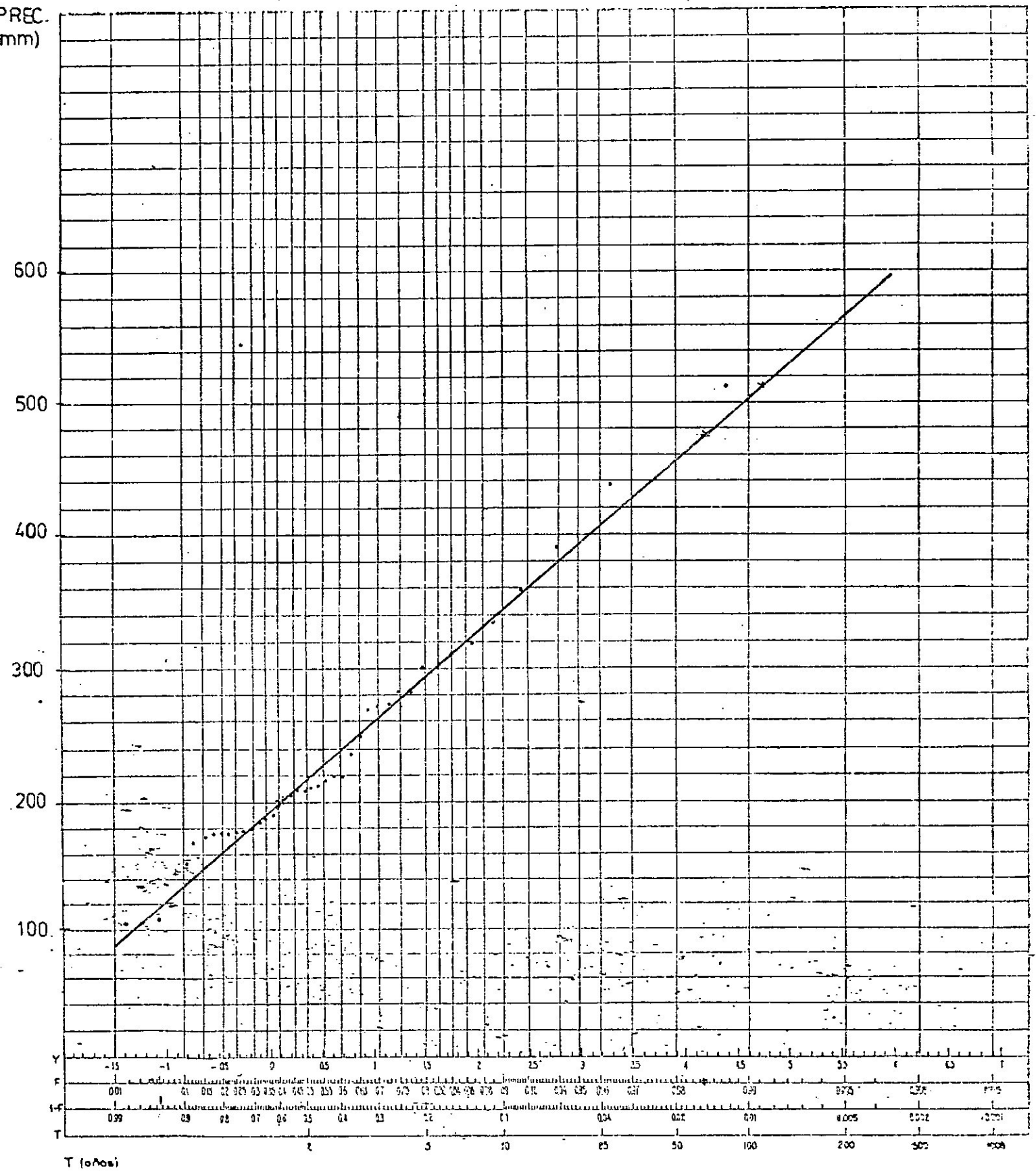
ESTACION: POZO BORRADO

PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS

DISTRIBUCION: LOG. PEARSON III



PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL



ESTACION: LOGROÑO

PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS.

DISTRIBUCION: LOG. PEARSON III

LOG P

280

270

260

250

240

230

220

210

01

02

03

04

05

06

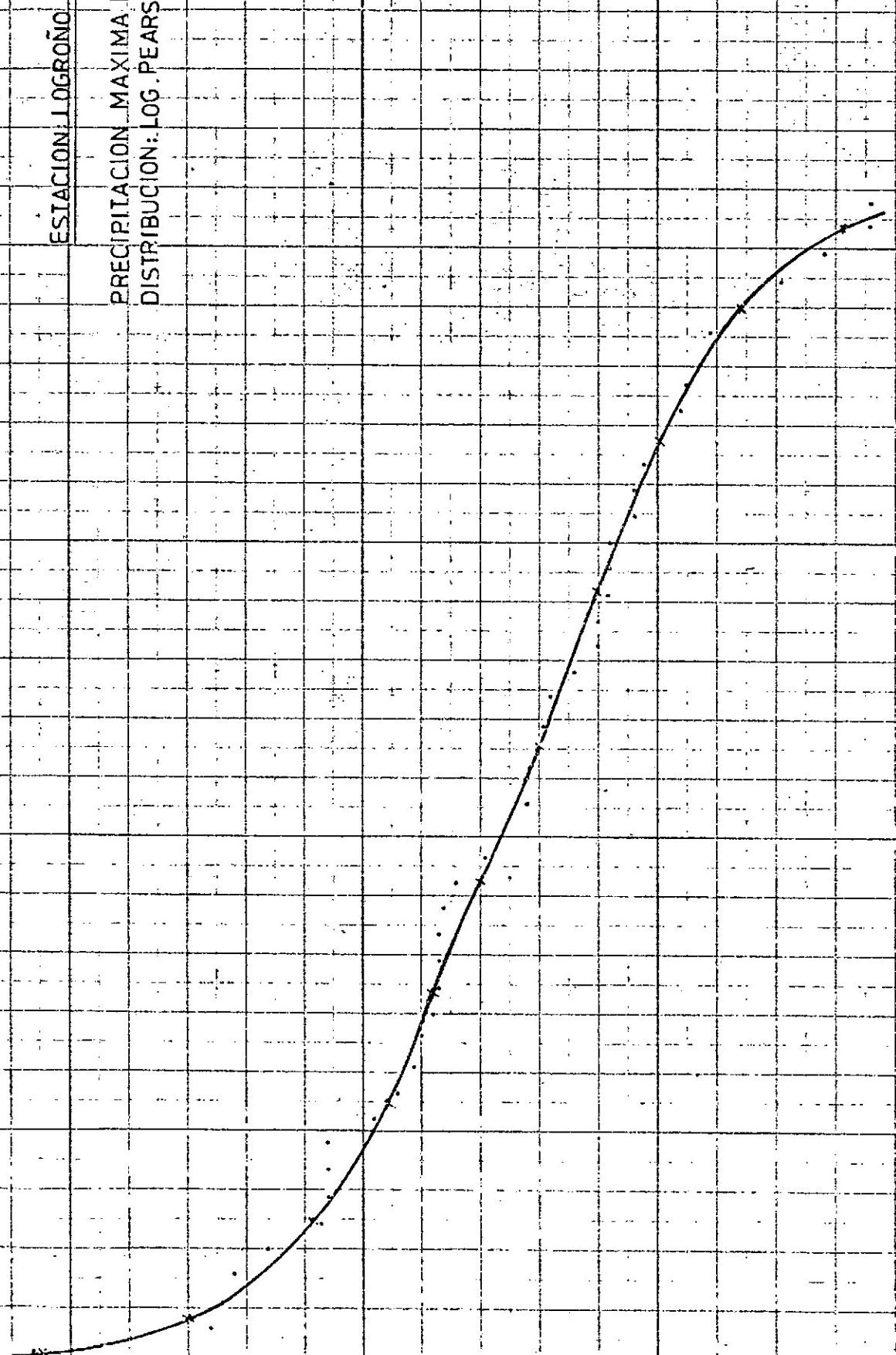
07

08

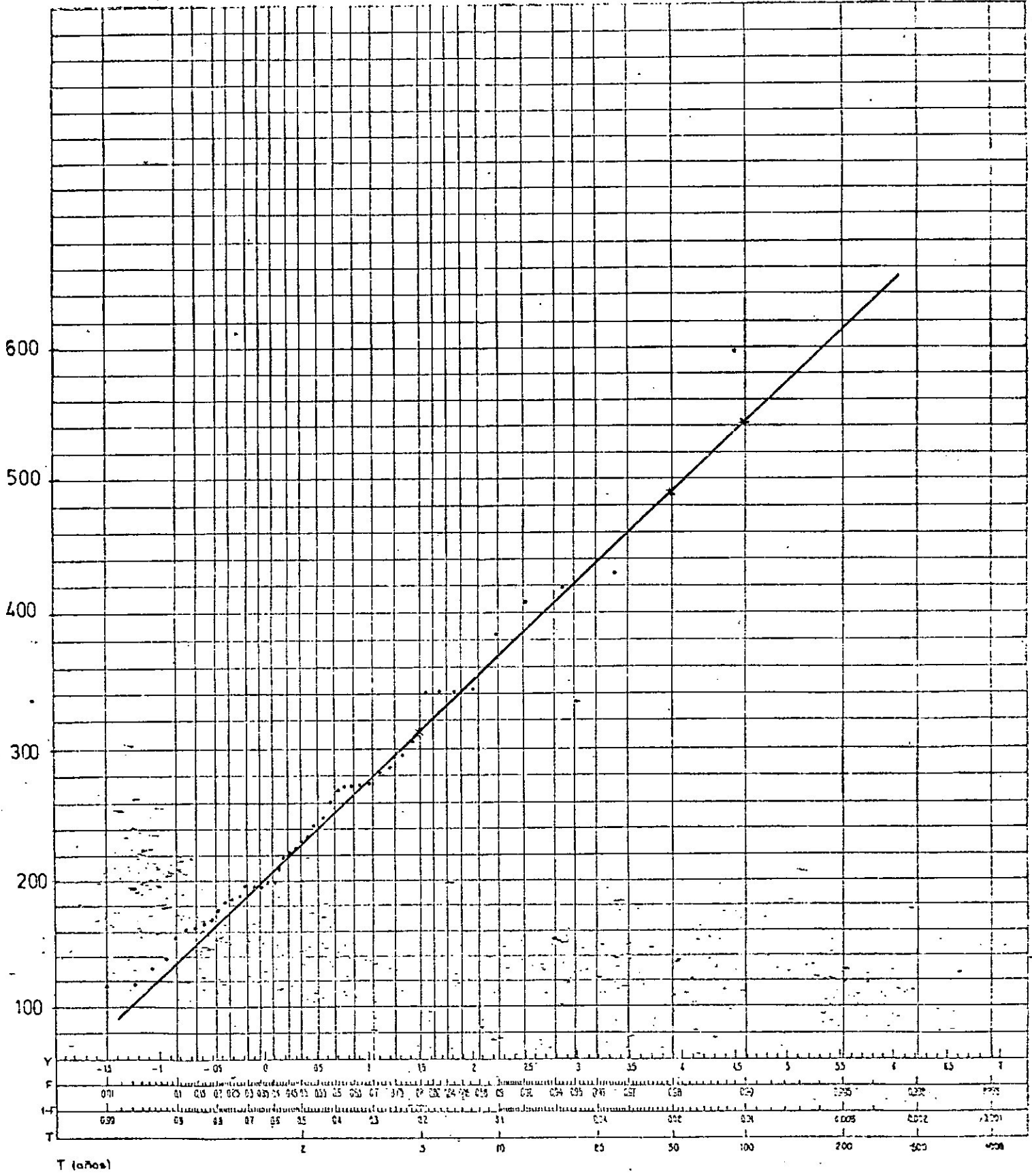
09

10

1-F(x)



ESTACION: LOGRÑO
PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS.
DISTRIBUCION: GUMBEL



ESTACION: INDEPENDENCIA

PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS
DISTRIBUCION: LOG-PEARSON III

LOG P

28

27

26

25

24

23

22

21

20

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

01

02

03

04

05

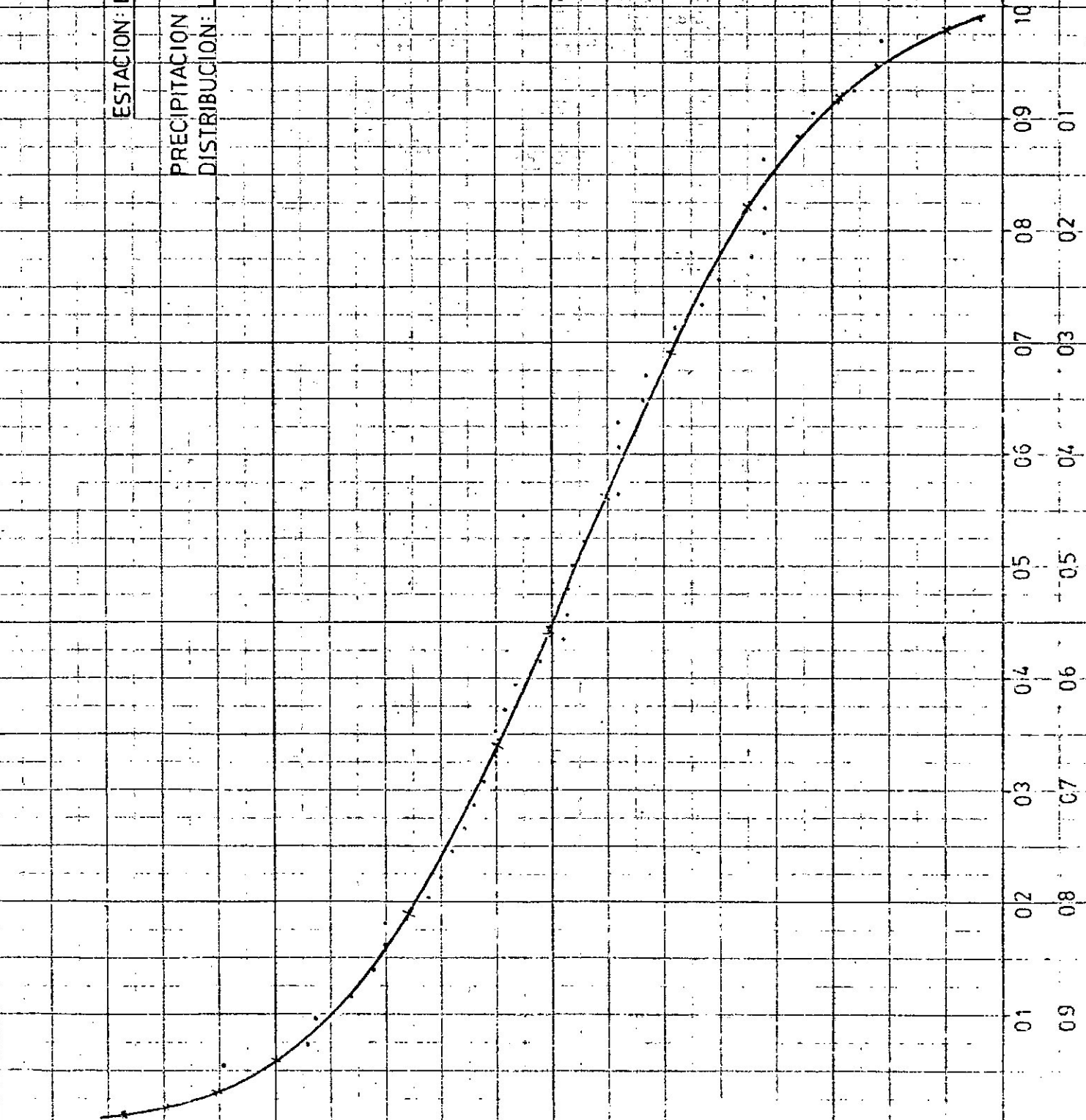
06

07

08

09

10



ESTACION: INDEPENDENCIA
PRECIPITACION MAXIMA EN 30 DIAS
DISTRIBUCION: GUMBEL.

