

**Agencia Española de
Cooperación Internacional**



**Universidad Nacional
Pedro Henríquez Ureña**



**PROYECTO DE ORDENACION
AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA**

SIMULACION AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA

**José del Carmen Bautista
Franklin Objío
NOVIEMBRE, 1992**

**Agencia Española de
Cooperación Internacional**

***Universidad Nacional
Pedro Henríquez Ureña***

**PROYECTO DE ORDENACION
AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA**

SIMULACION AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA

**José del Carmen Bautista
Franklin Objío
NOVIEMBRE, 1992**

INTRODUCCION

El río Nigua representa uno de los más importantes recursos hídricos con que cuenta la ciudad de San Cristóbal para satisfacer los requerimientos de agua actuales y futuros, municipales, industriales y agropecuarios. No obstante, su cauce muestra un avanzado estado de deterioro siendo las principales causas la deforestación en la cuenca, uso desordenado del suelo, extracción indiscriminada de materiales de construcción y la contaminación debida a los efluentes industriales y municipales.

El objetivo del presente trabajo es, simular la respuesta de la cuenca del río Nigua ante un evento precipitación-escorrentía por medio de un sistema interconectado de componentes agro-hidrológicos, cuyo resultado servirá de base para un manejo ordenado de los recursos naturales de la cuenca del río Nigua en las actividades de diseño, planificación y control.

Para tales fines se utilizó el modelo HEC 1, desarrollado por el cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos. Además de Estados Unidos, el modelo ha sido utilizado con éxito en las cuencas hidrográficas de Costa Rica.

Entre las principales limitantes al utilizar el HEC 1 en la cuenca del río Nigua, se encuentran: a) no existen registros organizados de precipitaciones sobre la cuenca; b) no existen pluviógrafos en la cuenca; c) sólo existe una estación medidora de caudal, localizada en la cuenca alta (El Tablazo), la cual necesita ser corregida, y d) la calidad de las informaciones existentes no es buena.

Esto obligó a determinar la aplicabilidad del modelo HEC 1, utilizando parámetros regionales producto de la calibración en las cuencas de los ríos Nigua, Haina y Nizao. Una vez probado el modelo, se realizó una simulación hidrológica de respuesta de la cuenca del río Nigua, para las precipitaciones máximas, con períodos de retorno de 2 y 10 años.

Ahora se cuenta con un modelo calibrado que nos permite obtener la respuesta de la cuenca para cualquier evento de precipitación, el cual puede ser extendido en su uso de manera regional y con la correspondiente calibración, de manera nacional.

INDICE DE CONTENIDO

	<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
CAPITULO I	MARCO TEORICO DEL MODELO HIDROLOGICO	
	HEC-1.....	1
I.1	Generalidades.....	1
I.2	Descripción de los Métodos Utilizados.....	3
CAPITULO II	ESQUEMA DE ANALISIS HIDROLOGICO	9
II.1	Tipos de Datos Disponibles	9
II.2	Calibración del Modelo de Simulación.....	9
II.3	Simulación de la Respuesta de una Cuenca.....	11
CAPITULO III	CUENCAS HIDROGRAFICAS Y TORMENTAS SELECCIONADAS.....	12
III.1	Cuencas Hidrográficas	12
III.2	Tormentas Seleccionadas.....	17
CAPITULO IV	PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	32
IV.1	Calibración del Modelo HEC-1	32
IV.2	Análisis de las Corridas Iniciales.....	32
IV.3	Resultados y Análisis de las Corridas Finales de Calibración	36
IV.4	Resultados y Análisis del Tránsito de Avenidas en la Cuenca del Río Nigua.....	39
CAPITULO V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
V.1	Conclusiones.....	43
V.2	Recomendaciones.....	44
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	45

CUADROS

- CUADRO N° 1. CARACTERISTICAS GEOMORFOLIGICAS DE LA CUENCA Y SUBCUENCAS RIO NIGUA.
- CUADRO N° 2. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO NIZAO.
- CUADRO N° 3. CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA CUENCA Y SUBCUENCA RIO HAINA.
- CUADRO N° 4. UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS.
- CUADRO N° 5. UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS.
- CUADRO N° 6. UBICACION DE LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS.
- CUADRO N° 7. REGISTRO DE PRECIPITACIONES DIARIAS-ESTACIONES TOTALIZADORAS.
- CUADRO N° 8. REGISTRO DE PRECIPITACIONES HORARIAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS (10-JUL-82).
- CUADRO N° 9. REGISTRO DE PRECIPITACIONES HORARIAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS (21 AL 23 DE MAYO/72).
- CUADRO N° 10. RESULTADOS CORRIDAS INICIALES DE LA CUENCA RIO NIGUA-EL. TABLAZO CON EL EVENTO, 10/JUL/82.
- CUADRO N° 11. RESULTADOS CORRIDAS INICIALES DE LA CUENCA RIO HAINA-LOS COROZOS CON EL EVENTO, 10/JUL/82.
- CUADRO N° 12. RESULTADO CORRIDAS INICIALES DE LA CUENCA RIO NIZAO-PALO DE CAJA CON EL EVENTO, 21 AL 23/MAY/72.
- CUADRO N° 13. TIEMPO DE DESFASE SUBCUENCAS NIGUA, NIZAO Y HAINA.
- CUADRO N° 14. CORRIDAS FINALES DE CALIBRACION.
- CUADRO N° 15. PARAMETROS POR SUBCUENCA QUERIDO POR EL METODO DE MUSKINGUM.
- CUADRO N° 16. PRECIPITACION MAXIMA PARA DOS HORAS UTILIZANDO METODO SERIE PARCIALES.
- CUADRO N° 17. RESUMEN RESULTADOS TRANSITO AVENIDAS EN LA NCA RIO NIGUA.

FIGURAS

- FIGURA N° 1. COMPONENTES DEL HEC-1.
- FIGURA N° 2. INTERACCION ENTRE SUBROUTINAS.
- FIGURA N° 3. ESQUEMA Y ANALISIS HIDROLOGICO.
- FIGURA N° 4. ESTACIONES DE REGISTRO DE PRECIPITACION Y ESCORRENTIA COMPATIBLES - CUENCAS DE LOS RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA (1959-1991).
- FIGURA N° 5. HIDROGRAMA DE LA AVENIDA DEL RIO NIGUA - ESTACION EL TABLAZO: 21 AL 23 DE MAYO, 1972.
- FIGURA N° 6. HIDROGRAMA DE LA AVENIDA DEL RIO NIZAO - ESTACION PALO DE CAJA: 21 AL 22 DE MAYO, 1972.
- FIGURA N° 7. HIDROGRAMA DE LA AVENIDA DEL RIO NIGUA - ESTACION LOS COROZOS: 10 AL 12 DE JULIO, 1982.
- FIGURA N° 8. HIDROGRAMA DE LA AVENIDA DEL RIO HAINA - ESTACION LOS COROZOS: 10 AL 12 DE JULIO, 1982.
- FIGURA N° 9. POLIGONOS DE THIESSEN DE ESTACIONES ESPACIALES CUENCA RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA (1972).
- FIGURA N° 10. POLIGONOS DE THIESSEN DE ESTACIONES TEMPORALES CUENCA RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA (1972).
- FIGURA N° 11. POLIGONOS DE THIESSEN DE ESTACIONES ESPACIALES CUENCA RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA (1982).
- FIGURA N° 12. POLIGONOS DE THIESSEN DE ESTACIONES TEMPORALES CUENCA RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA (1982).
- FIGURA N° 13. RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA.

I. MARCO TEORICO DEL MODELO HIDROLOGICO HEC-1

I.1 Generalidades

El modelo HEC-1 es un modelo determinístico desarrollado por The Hydrologic Engineering Center (HEC) del cuerpo de ingenieros del ejército de Estados Unidos. El cual simula la respuesta de un sistema cuenca-subcuenca ante un evento de precipitación-escorrentía.

La simulación se realiza mediante relaciones matemáticas que describen el comportamiento físico de la cuenca, utilizando un grupo de parámetros que representen sus características.

Los componentes del HEC-1 que representan la cuenca como una red de drenaje sistematizada son a) subcuenca, b) canal de drenaje, c) embalse, d) desviación y e) bombeo. (Ver figura N° 1).

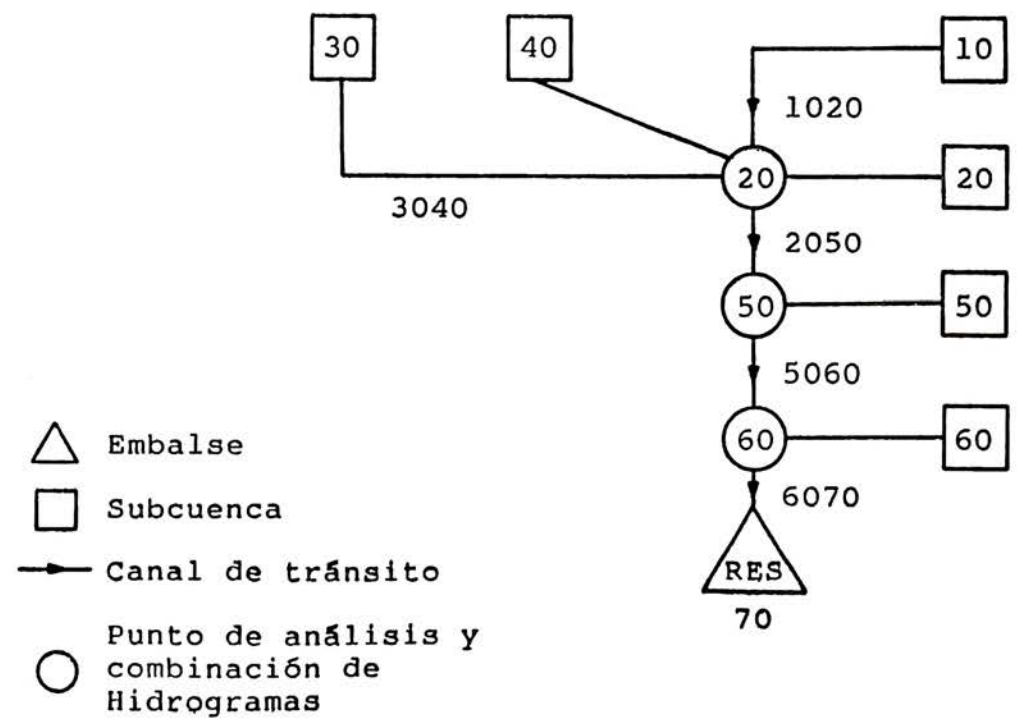
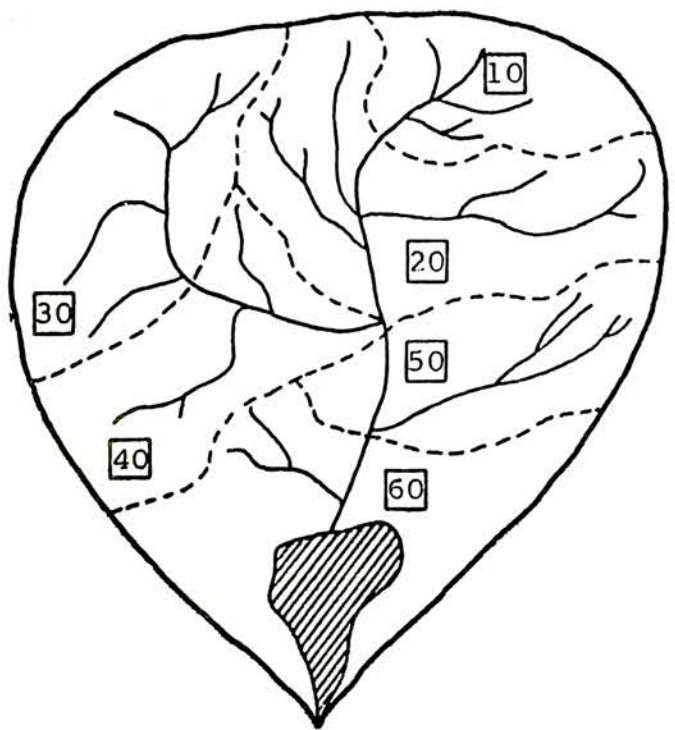
El modelo HEC-1 es un modelo de eventos discretos tales como precipitación-escorrentía. Contrario a los modelos continuos como Stanford Watershed Model, modelo sacramento y el modelo sueco HBV.

Entre las principales suposiciones y limitaciones que presenta el Modelo HEC-1, se encuentran:

a) *Intervalo de tiempo y tamaño de los componentes de la cuenca.* El área de estudio y el intervalo de tiempo escogidos deben tener una dimensión acorde con los parámetros utilizados.

FIGURA No1 COMPONENTES DEL MODELO HEC-I

8



- △ Embalse
- Subcuenca
- Canal de tránsito
- Punto de análisis y combinación de Hidrogramas

b) *Escurrimiento superficial*. El modelo sólo genera resultados para un evento de precipitación, debido a que no considera condiciones antecedentes de humedad. Los resultados obtenidos se expresan en términos de caudal.

c) *Tránsito de avenidas*. El tránsito de avenidas se basa en métodos hidrológicos, utilizando solamente la ecuación de continuidad, de tal forma que su confiabilidad aumenta en río de pendiente fuerte. El tránsito en embalses se efectúa mediante la técnica puls modificado, la cual no es adecuada en embalses regulados por compuertas.

d) *Algoritmo de optimización*. El modelo presenta una función de optimización para fines de calibración deteniéndose el proceso en un valor mínimo, el cual no representa necesariamente los parámetros finales de optimización, sino valores iniciales de partida para el análisis.

I.2 Descripción de los Métodos Utilizados

La simulación del proceso de precipitación-escorrentía se realiza, considerando la interacción de cada uno de los componentes de la cuenca, mediante cuatro sub-rutinas principales.

a) *Precipitación*. Considera la precipitación total, tanto en forma espacial como temporal.

b) *Pérdidas*. Sustracciones a la precipitación total por infiltración.

c) *Escorrentía superficial*. Transformación del exceso de lluvia en escurrimiento superficial por medio de un hidrograma unitario.

d) *Flujo base*. Condiciones de escurrimiento antes y después del evento de precipitación.

La integración de estas cuatro sub-rutinas, actuando sobre áreas permeables e impermeables, resultan en un hidrograma de escorrentía superficial. (Ver Figura N° 2).

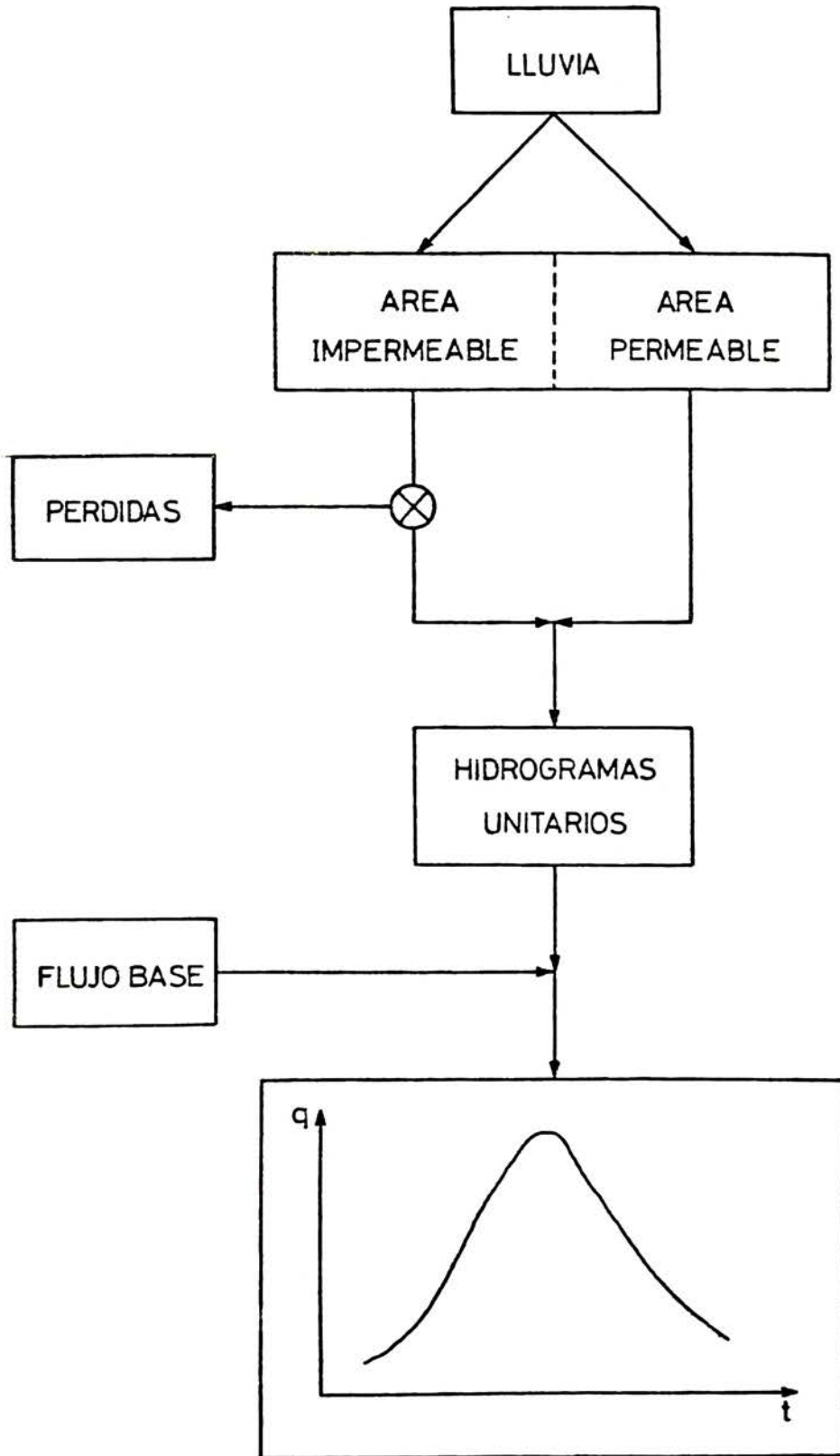
1.2.1 Métodos de Análisis de Pérdidas

El modelo HEC-1 representa como pérdidas en el proceso precipitación-escorrentía a la *intercepción por vegetación, almacenamiento en depresiones, infiltración y percolación*.

El cálculo de las pérdidas puede ser realizado por cuatro métodos:

a) *Pérdidas Iniciales y Tasa Uniforme*. El método considera un volumen inicial de pérdidas, expresado en términos de profundidad. Una vez alcanzada esta profundidad, el proceso de pérdida se produce a una tasa uniforme.

b) *Tasa de Pérdidas Exponencial*. Este método empírico desarrollado por el HEC, calcula las pérdidas como una función de la precipitación y la acumulación de humedad del suelo de carácter exponencial, cuyos parámetros no son realmente determinados a partir de condiciones naturales; de ahí que su aplicación en cuencas con escasas o ninguna información sea muy difícil de cuantificar.



FUENTE:Referencia No 2

c) *Número de Curva del SCS.* El Servicio de Conservación de Suelos (SCS) ha establecido un sistema de clasificación, basado en su experiencia en diferentes cuencas de Estados Unidos, el cual relaciona el tipo de grupo de suelo con un número de curva en función de la cobertura vegetal del suelo, el modo de utilización del terreno y condiciones antecedentes de humedad. Este método ha sido desarrollado para evaluar el impacto ante diferentes planes de desarrollo y puede considerarse como una valiosa herramienta de planificación, tanto en zonas rurales como urbanas.

d) *Tasa de Pérdidas de Holjan.* Este método tiene la misma forma general que la Tasa de Pérdidas Exponencial y se fundamenta en la capacidad de infiltración del suelo como una función del grado de maduración de la cobertura vegetal, la capacidad potencial de infiltración del suelo, la porosidad de la capa superficial y una razón constante de precolación.

1.2.2 Métodos para el análisis del escurrimiento superficial.

El modelo HEC-1 simula directamente el escurrimiento superficial producto de un exceso de precipitación a través de un hidrograma unitario, ya sea característico de la zona a analizar o bien un hidrograma unitario sintético.

Existen tres métodos de generación de hidrogramas unitarios, utilizando HEC-1:

a) *Hidrograma Unitario de Clark.* El método de Clark requiere tres parámetros para calcular un hidrograma unitario: el tiempo de concentración, un coeficiente de almacenamiento relacionado con la existencia de un embalse lineal y una curva de tiempo de concentración contra área (isocronas).

b) *Hidrograma Unitario de Snyder*. El método de Snyder determina el caudal pico del hidrograma unitario, el tiempo al pico y puntos del hidrograma unitario en un 50% a 75% alrededor del caudal pico. El HEC-1 utiliza el método de Clark para completar el hidrograma unitario.

c) *Hidrograma Adimensional del SCS*. Este método se generó en función de hidrogramas unitarios calculados en cuencas de Estados Unidos. Sólo se requiere para su uso, el tiempo de respuesta existente entre el pico del hidrograma unitario y el centroide de la precipitación efectiva.

1.2.3 Métodos de análisis de tránsito de avenidas.

El tránsito de avenidas es la técnica hidrológica utilizada para representar el fenómeno físico asociado al almacenamiento y movimiento de una onda de creciente en un canal.

Los métodos utilizados para el tránsito en el modelo HEC-1 están basados en la ecuación de continuidad y en algunas relaciones entre el flujo y el almacenamiento en el canal. Estos métodos son:

a) *Método de Muskingum*. Este permite la simulación del tránsito de la avenida mediante una función de almacenamiento y dos parámetros que identifican el tiempo de recorrido de la onda en el tramo analizado y el número de secciones en que se subdivide el tramo.

b) *Método de Puls Modificado*. El tránsito se efectúa aplicando la ecuación de continuidad en una cuña formada por dos secciones dadas. Este

método toma en cuenta la resistencia opuesta por la sección al paso de la onda.

c) *Método de Onda Cinemática*. Este método asume que las entradas en un canal, ya sea por exceso de precipitación o entradas laterales, son constantes en un tiempo y espacio determinado.

d) *Método de Working R and D*. Este método es una variación del Método de Puls Modificado, el cual considera una cuña de almacenamiento como el método de Muskingun. El tiempo de recorrido de la onda y el número de secciones son parámetros a calibrar y pueden tener efectos significativos en el hidrograma transitado.

II. ESQUEMA DE ANALISIS HIDROLOGICO

La metodología para el estudio hidrológico de una cuenca determinada puede separarse en tres fases distintas: 1) Recolección y análisis de la información disponible, 2) calibración del modelo a utilizar, y 3) simulación de la respuesta de la cuenca. (Ver Figura N° 3).

II.1 Tipos de Datos Disponibles.

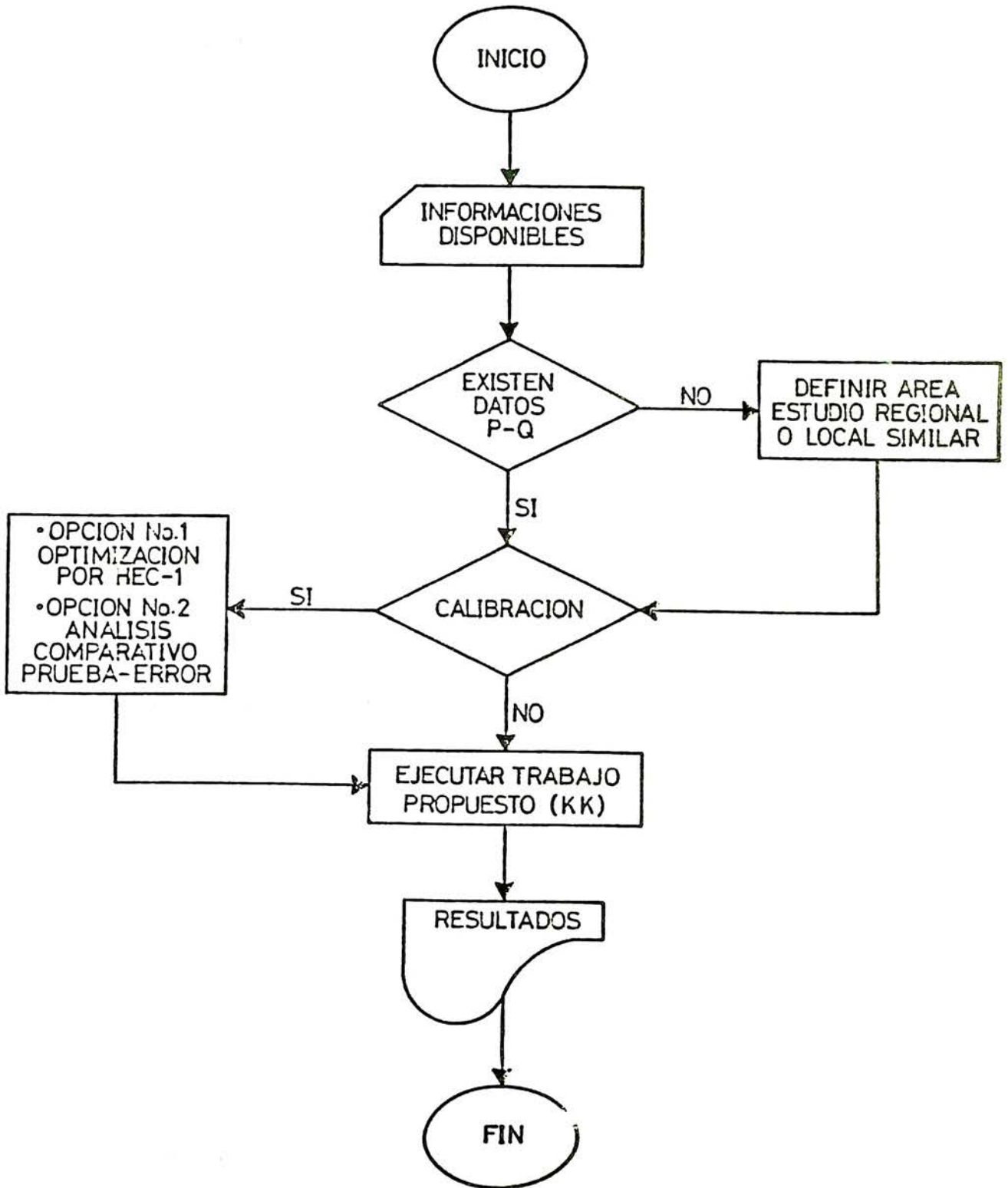
La escasez de datos meteorológicos e hidrológicos es uno de los mayores obstáculos para el análisis caudal-frecuencia. De conformidad con los datos que se dispongan para el análisis hidrológico, el Hydrologic Engineering Center define tres niveles:

- a) *Nivel 1.* Cuando datos de descarga-frecuencia están disponibles.
- b) *Nivel 2.* Cuando existen algunos datos de precipitación y escurrimiento, pero son insuficientes para determinar relaciones caudal-frecuencia.
- c) *Nivel 3.* Cuando no se dispone de datos de escurrimiento o precipitación para la cuenca.

II.2 Calibración del Modelo de Simulación.

El proceso de calibración de un modelo de simulación hidrológico como

FIGURA No.3 ESQUEMA DE ANALISIS HIDROLOGICO



el HEC-1 puede realizarse por medio de dos mecanismos interrelacionados: a) Proceso de calibración automático, y b) Proceso de prueba y error.

El proceso de calibración automático consiste en determinar qué parámetros reproducen en la mejor forma los datos de salida utilizando una función definida como función objetivo. Conocidas las variables de entrada y un modelo de comportamiento físico del sistema, el objetivo del proceso de optimización es básicamente reducir la función objetivo a cero; sin embargo, este nivel de aproximación es difícil de lograr.

El proceso de prueba y error tiene la finalidad de buscar la mejor aproximación de un evento real a través de un método sencillo: a) Selección de los parámetros a ser utilizados, b) aplicación de las variables definidas al modelo, c) comparación entre el hidrograma de escurrimiento obtenido del modelo y el observado, y d) si los resultados no son satisfactorios, se procede a definir nuevos valores a los parámetros y se repite nuevamente el proceso.

II.3 Simulación de la Respuesta de una Cuenca.

La simulación de la respuesta de una cuenca se realiza mediante el análisis regional de frecuencia, análisis de precipitación-escorrentía con datos históricos disponibles, y análisis de eventos simples de precipitación-escorrentía a partir de datos de precipitación generados en forma sintética.

III. CUENCAS HIDROGRAFICAS Y TORMENTAS SELECCIONADAS

III.1 Cuencias Hidrográficas.

La cuenca del río Nigua posee una estación fluviográfica en la sección El Tablazo, Provincia de San Cristóbal, y una estación pluviométrica en la parte baja en el municipio de San Cristóbal. El historial climatológico e hidrológico de estas estaciones son insuficientes para determinar relaciones precipitación-caudal a lo largo del cauce del río (Nivel 2).

Por las razones anteriormente explicadas, se procedió a regionalizar los parámetros hidrológicos de la relación P-Q utilizando las cuencas hidrográficas de los ríos Nizao, Nigua y Haina. Una vez obtenidos estos parámetros se procedió al análisis hidrológico de la cuenca del río Nigua.

A continuación se presentan las características geomorfológicas de las cuencas de los ríos Nigua, Nizao y Haina. Así como de las subcuencas correspondientes a las estaciones fluviográficas.

A. Cuenca Río Nigua.

La cuenca del río Nigua está ubicada en la provincia de San Cristóbal, limitada naturalmente al Norte: Cuenca río Haina; al Sur: Cuenca Arroyo Nayajo y Mar Caribe; al Este: Cuenca Arroyo Itabo y Mar Caribe; y al Oeste: Cuenca río Nizao.

Para fines de estudio se subdividió en cuatro sub-cuencas: 1) Río Nigua-Estación el Tablazo, 2) Río Nigua-El Tablazo hasta confluencia Río Yubazo, 3) Río Yubazo (Blanco) y 4) Confluencia Río Yubazo al Mar Caribe. En el Cuadro N° 1 se presentan las características geomorfológicas de la cuenca en general y de las cuatro subcuencas.

B. Cuenca Río Nizao.

El río Nizao nace en la Cordillera Central y desemboca en el Mar Caribe. Su cuenca tiene como límites naturales: Al Norte, cuenca del río Yuna; al Sur, Mar Caribe; al Este, cuenca del río Nigua; y al Oeste, cuencas de los ríos Ocoa y Baní.

La cuenca del río Nizao cuenta con una estación fluviográfica en Palo de Caja. Por tal razón, la subcuenca Palo de Caja se tomó en cuenta para el análisis regional. Las características geomorfológicas de la cuenca total y de esta subcuenca se presentan en el Cuadro N° 2.

C. Cuenca Río Haina.

El río Haina nace en la Cordillera Central y desemboca en el mar Caribe. Su cuenca tiene como límites naturales: Al Norte, las cuencas de los ríos Maimón, Ozama e Isabela; al Sur, cuenca del río Nigua y Mar Caribe; al Este, cuenca del río Isabela; al Oeste, cuencas de los ríos Nizao y Nigua.

CUADRO N° 1
CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA CUENCA
Y SUBCUENCAS DEL RIO NIGUA

PARAMETRO	MAGNITUD DEL PARAMETRO				
	CUENCA TOTAL	SUBCUENCA EL TABLAZO	SUBCUENCA TABLAZO-RIO YUBAZO	SUBCUENCA RIO YUBAZO	SUBCUENCA RIO YUBAZO-MAR CARIBE
Area (Km ²)	214	77	44	67	26
Perímetro (Km)	85	41	-	-	-
Elevación Máxima (MSNM)	1240	1240	-	-	-
Elevación Mínima (MSNM)	0	160	36	36	0
Elevación Máxima del Cauce Principal (MSNM)	620	900	160	520	36
Longitud Cauce Principal (KM)	55	24	18	19	13
Pendiente Media	0.0170	0.0308	0.0317	0.0255	0.00231
Orden de la Cuenca	3	-	-	-	-
Densidad de Drenaje	0.32	-	-	-	-
Alejamiento Medio	3.39	2.74	-	0.0239	-
Factor de Forma	0.1933	0.3164	-	-	-
Indice de Compacidad	1.52	1.31	-	-	-
Coefficiente de Torrencialidad	0.0123	-	-	-	-
Altitud Media (MSNM)	620	540	-	-	-

CUADRO N° 2
CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA
Y SUBCUENCA RIO NIZAO

Parámetro	Magnitud Parámetro	
	Cuenca Total	Sub-Cuenca Palo de Caja
Area (Km ²)	955	560
Perímetro (Km)	226	132
Elevación Máxima (MSNM)	2842	2842
Elevación Mínima (MSNM)	0	450
Elevación Máxima del Cauce Principal (MSNM)	2415	2415
Longitud Cauce Principal (Km)	141	72
Pendiente Media	0.0171	0.0273
Orden de la Cuenca	5	-
Densidad de Drenaje	0.26	-
Alejamiento Medio	4.56	3.04
Factor de Forma	0.0884	0.1792
Índice de Compacidad	2.05	1.56
Coefficiente de Torrencialidad	0.0052	-
Altitud Media (MSNM)	1421	1196

CUADRO N° 3
CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA CUENCA
Y SUBCUENCA RIO HAINA

Parámetro	Magnitud Parámetro	
	Cuenca Total	Sub-Cuenca Los Corozos
Area (Km ²)	587	379
Perímetro (Km)	150	95
Elevación Máxima (MSNM)	1481	1481
Elevación Mínima (MSNM)	0	105
Elevación Máxima del Cauce Principal (MSNM)	1200	1200
Longitud Cauce Principal (Km)	82	34
Pendiente Media	0.0146	0.0322
Orden de la Cuenca	5	-
Densidad de Drenaje	0.22	-
Alejamiento Medio	3.20	1.75
Factor de Forma	0.1557	0.2695
Indice de Compacidad	1.64	1.37
Coefficiente de Torrencialidad	0.0092	-
Altitud Media (MSNM)	741	688

La cuenca del río Haina tiene estación pluviográfica en Los corozos. Esta subcuenca junto con las subcuencas Río Nigua-El Tablazo y Río Nizao-Palo de Caja se utilizaron para el análisis hidrológico regional. Las características geomorfológicas de la cuenca total y de la subcuenca Los Corozos se muestran en el Cuadro N° 3.

III.2 Tormentas Seleccionadas.

La selección de las tormentas se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios:

a) La tormenta debería estar registrada en el mayor número de estaciones pluviográficas y/o pluviométricas que cubren las tres subcuencas.

b) La tormenta debería tener corta duración, configurando un hidrograma de tiempo de base corto y pico bien definido.

c) La tormenta debería estar registrada desde el punto pluviométrico en las tres subcuencas, a fin de que permita una correcta calibración.

d) El tiempo de desfase entre el inicio de la tormenta y las avenidas mayor que cero, a fin de que exista un registro lógico de P-Q.

Con base a estos criterios se analizaron los registros de precipitación y escorrentía que poseen el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) y la Dirección General de Meteorología (DGM). Siendo las estaciones

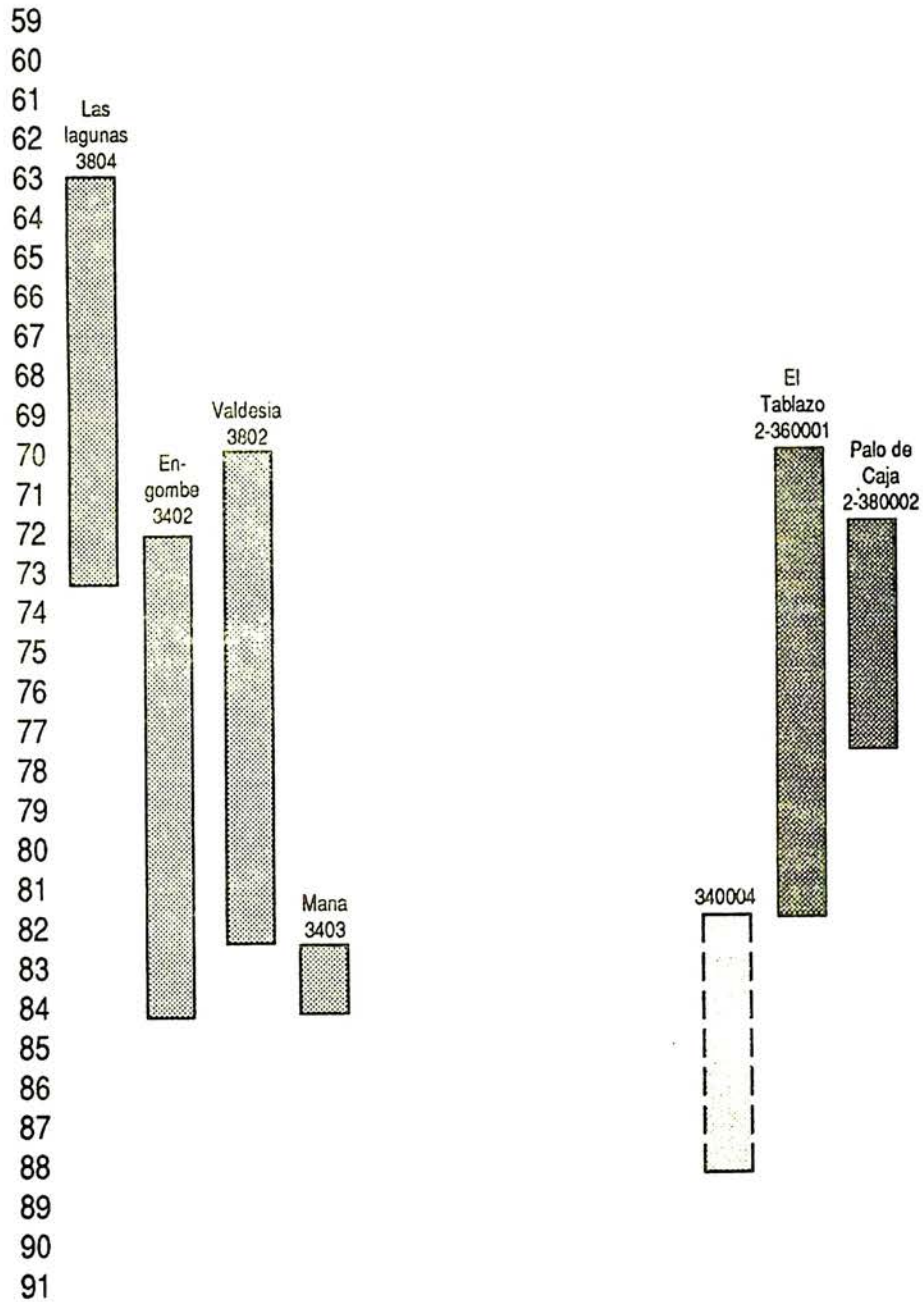
pluviográficas de las Lagunas (3804), Engombe (3401), Valdesia (3802) y Mana (3403) compatibles con los registros fluviométricos de las estaciones El Tablazo (2-360001), Palo de Caja (2-380002) y Los Corozos (340004), tal como se ilustra en la Gráfica N° 4. Se seleccionaron los eventos de precipitación y escorrentía correspondientes: 1) 21 al 23 de mayo, 1972, y 2) el 10 de julio, 1982. La ubicación de estas estaciones se indica en los Cuadros Nos. 4, 5 y 6.

Las precipitaciones de las estaciones pluviométricas y pluviográficas correspondientes a las tormentas seleccionadas se muestran en los Cuadros Nos. 7, 8 y 9. Los hidrogramas de las avenidas correspondientes se ilustran en las Figuras Nos. 5, 6, 7 y 8.

La distribución temporal y espacial de las precipitaciones utilizando el polígono de Thiessen y teniendo en cuenta las ubicaciones de las estaciones, se ilustran en las Figuras Nos. 9, 10, 11 y 12.

FIGURA N° 4
ESTACIONES DE REGISTRO DE PRECIPITACION
Y ESCORRENTIA COMPATIBLES
CUENCAS DE LOS RIOS NIGUA, NIZAO Y HAINA.
(1959 - 1991)

AÑO **ESTACIONES PLUVIO-**
METRICAS PLUVIOGRAFICAS



**CUADRO N° 4
UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS**

Nombre	Ubicación		
	Latitud	Longitud	Altitud
Las Lagunas (LL)	18G-32M-305	70G-24M-45S	1170 MSNM
Engombe (EN)	18G-27M-00S	70G-00M-07S	10 MSNM
Valdesia (VL)	18G-24M-30S	70G-16M-50S	160 MSNM
Mana (MA)	18G-32M-065	70G-08M-40S	150 MSNM

**CUADRO N° 5
UBICACION DE LAS ESTACIONES PLUVIOMETRICAS**

Nombre	Ubicación		
	Latitud	Longitud	Altitud
Medina (ME)	18G-32M-06S	70G-08M-40S	150 MSNM
San Cristóbal (SC)	18G-25M	70G-06M	44 MSNM
Villa Altagracia (VA)	18G-40M	70G-40M	156 MSNM
Rancho Arriba (RA)	18G-42M	70G-27M	678 MSNM

CUADRO Nº 6
UBICACION DE LAS ESTACIONES FLUVIOMETRICAS

Nombre	Ubicación		
	Latitud	Longitud	Altitud
El Tablazo	18G-29M-39S	70G-10M-15S	130 MSNM
Palo de Caja	18G-32M	70G-22M	1170 MSNM
Los Corozos	18G-35M	70G-09M	153 MSNM

CUADRO N° 7**REGISTRO DE PRECIPITACIONES DIARIAS
ESTACIONES TOTALIZADORAS**

Estación	Precipitación Total (mm)	
	10/Jul/82	21-23/May/72
Medina	184.4	-
San Cristóbal	-	142.0
Villa Altagracia	108.5	219.6
Rancho Arriba	-	33.0
Las Lagunas	-	210.0
Engombe	0.0	-
Valdesia	47.0	249.9

CUADRO N° 8**REGISTRO DE PRECIPITACIONES HORARIAS
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS
(10-JUL-82)**

HORA	Precipitación (mm)	
	VALDESIA	ENGOMBE
15:00	4.0	0
16:00	20.0	0
17:00	8.0	0
18:00	9.0	0
19:00	1.5	0
20:00	1.5	0
21:00	1.5	0
22:00	1.5	0

CUADRO N° 9

**REGISTRO DE PRECIPITACIONES HORARIAS
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS
(21 AL 23-MAY-72)**

H O R A	Precipitación (mm)	
	LAS LAGUNAS	VALDESIA
02:00	0.0	0.8
03:00	0.0	0.8
04:00	0.0	0.8
05:00	8.4	3.6
06:00	5.6	3.5
07:00	80.0	2.0
08:00	2.0	19.5
09:00	5.0	15.0
10:00	6.0	0.0
11:00	7.7	7.0
12:00	13.3	25.5
13:00	26.4	30.2
14:00	5.6	9.3
15:00	15.7	1.0
16:00	6.0	1.0
17:00	6.2	6.0
18:00	6.2	6.0
19:00	1.6	0.0
20:00	7.3	14.0
21:00	0.0	29.0
22:00	0.0	21.0
23:00	0.0	6.0
00:00	0.0	1.0
01:00	0.0	1.0
02:00	0.0	1.0

CAUDAL Q (m³/s)

FIGURA No. 5
CURVA SEMI-LOGARITMICA
CAUDAL VS. TIEMPO

RIO NIGUA
ESTACION EL TABLAZO
FECHA 21-05-72

10⁴

10³

10²

10¹

1200
210572

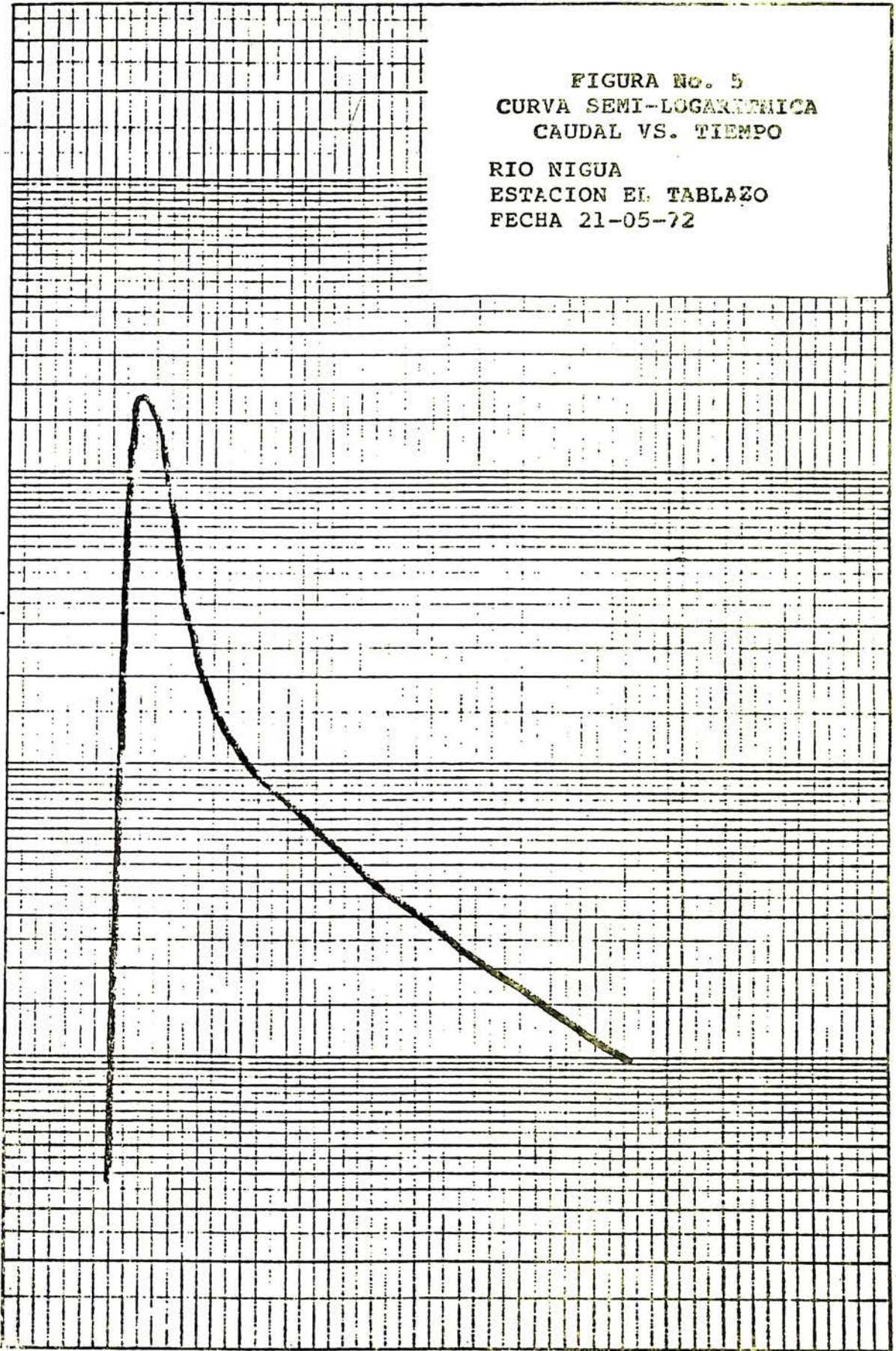
0000

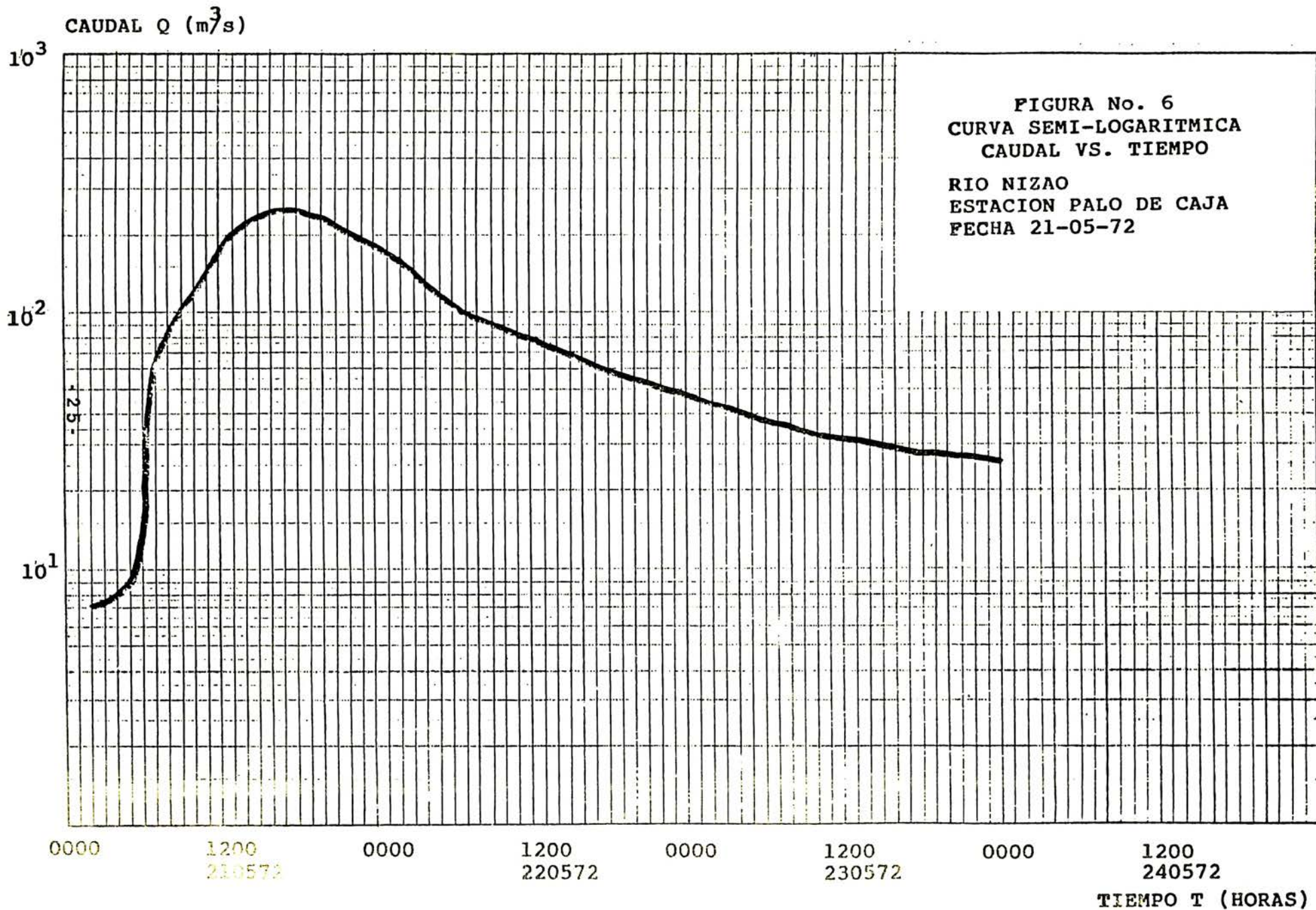
1200
220572

0000

1200
230572

0000





CAUDAL Q (m³/s)

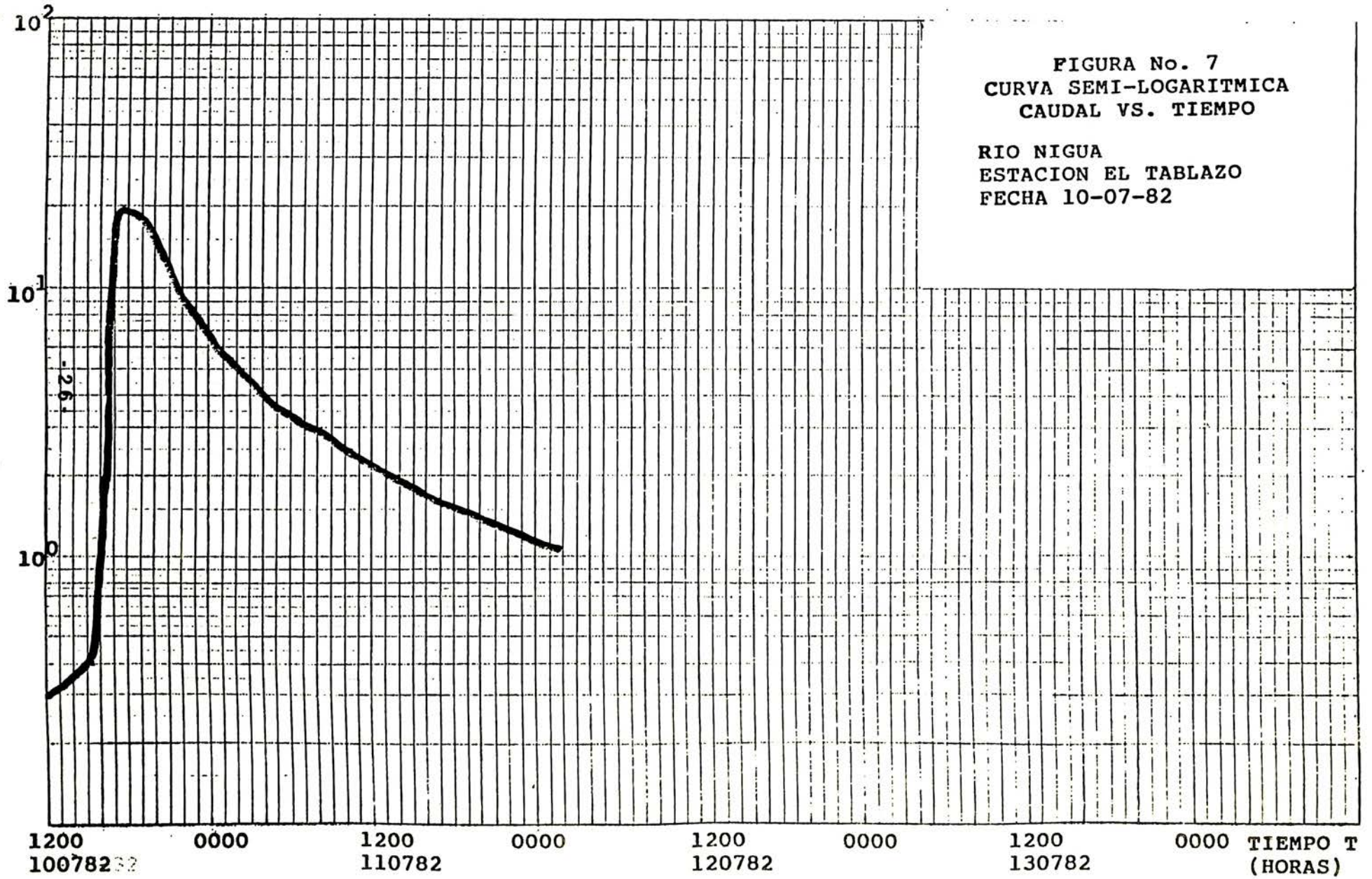
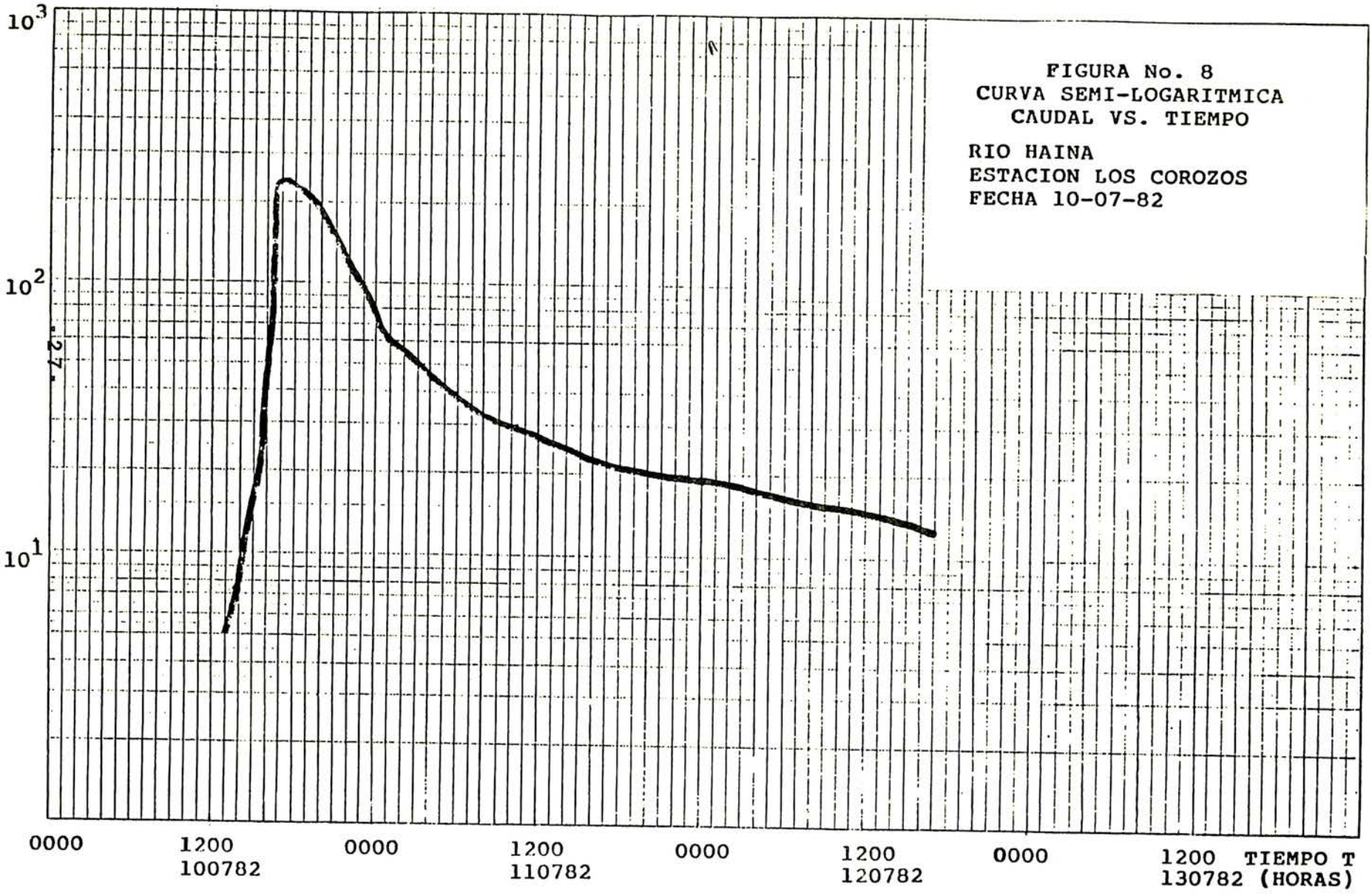


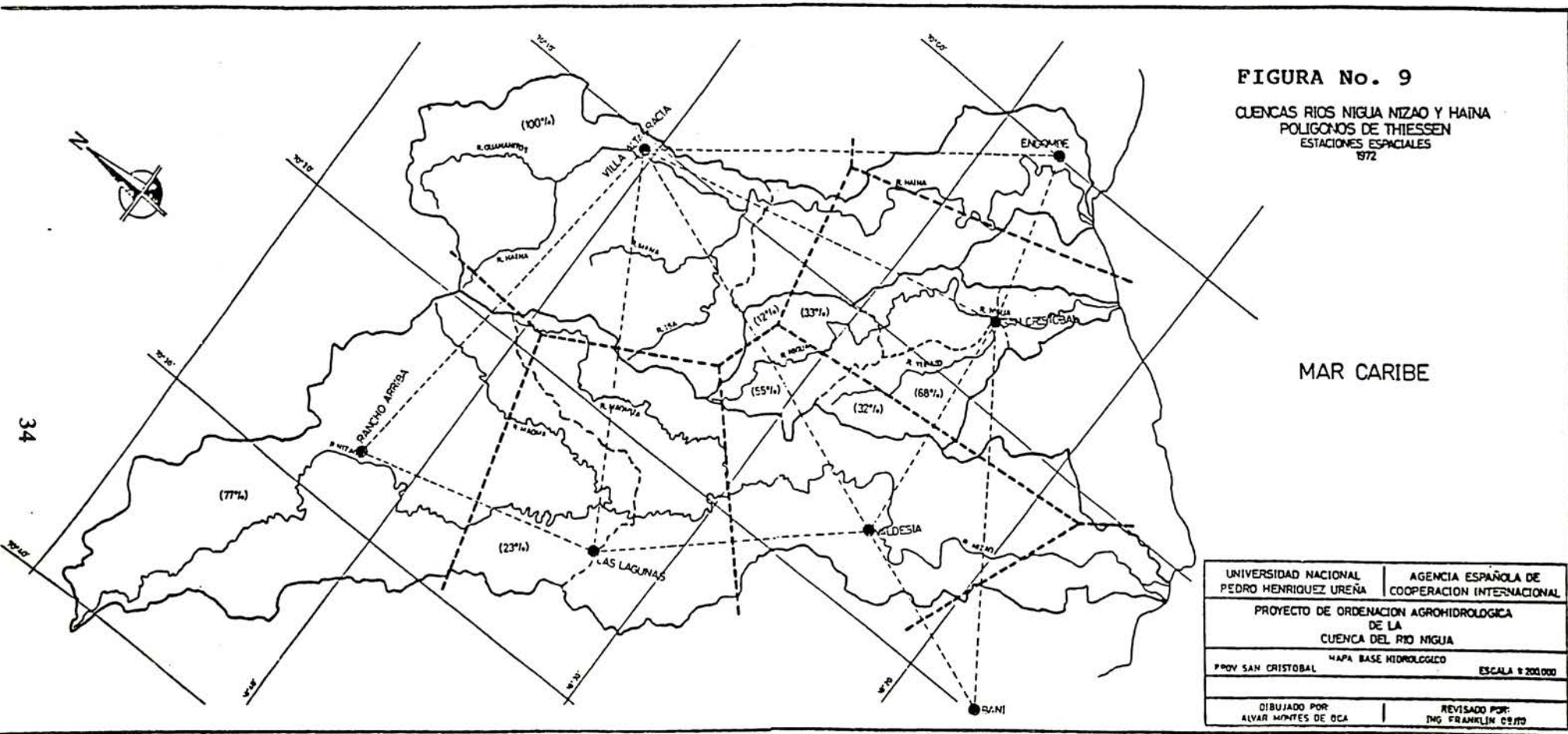
FIGURA No. 7
CURVA SEMI-LOGARITMICA
CAUDAL VS. TIEMPO

RIO NIGUA
ESTACION EL TABLAZO
FECHA 10-07-82

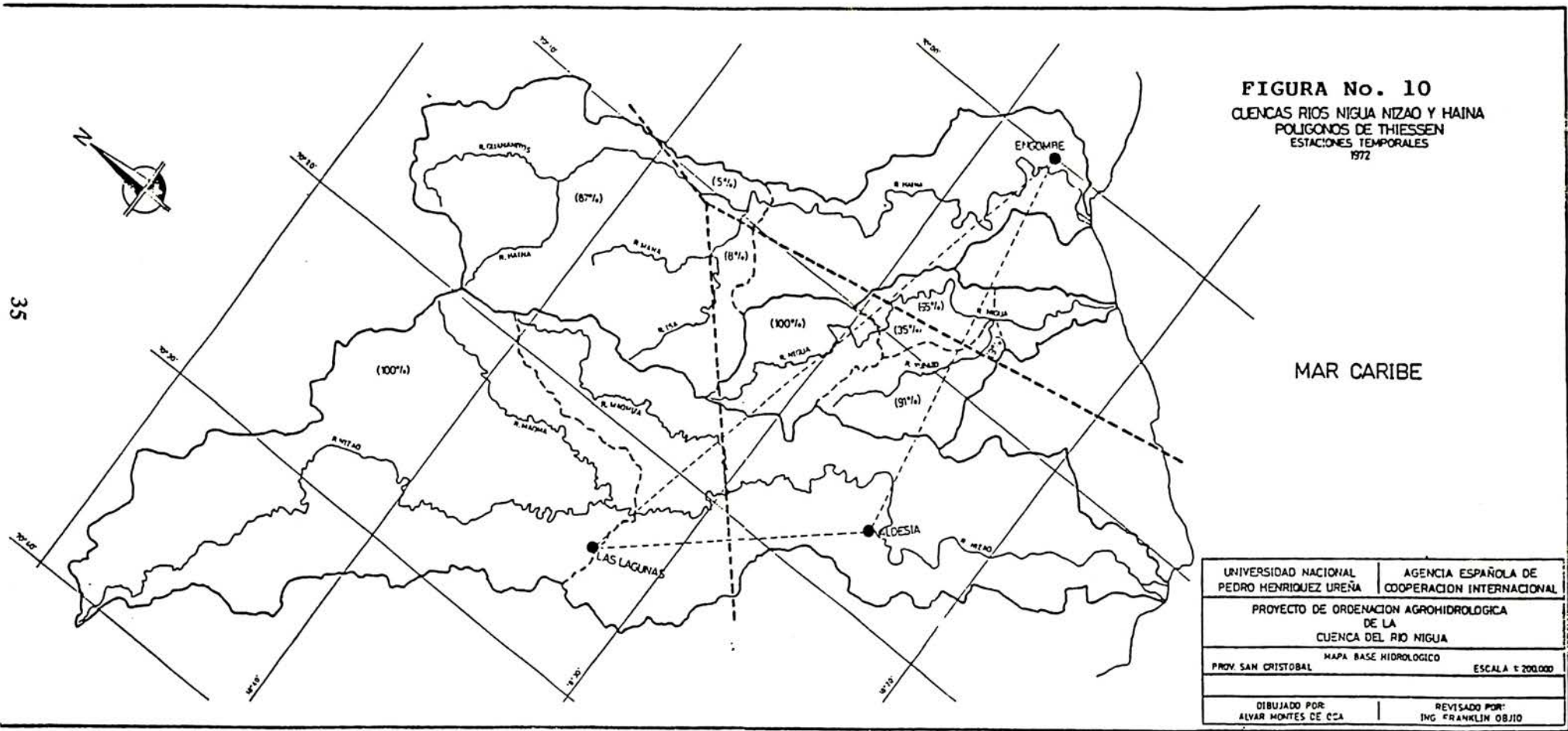
CAUDAL Q (m³/s)



33



* reducion del original en 47.5%



* REDUCCION DEL ORIGINAL EN 47.5%

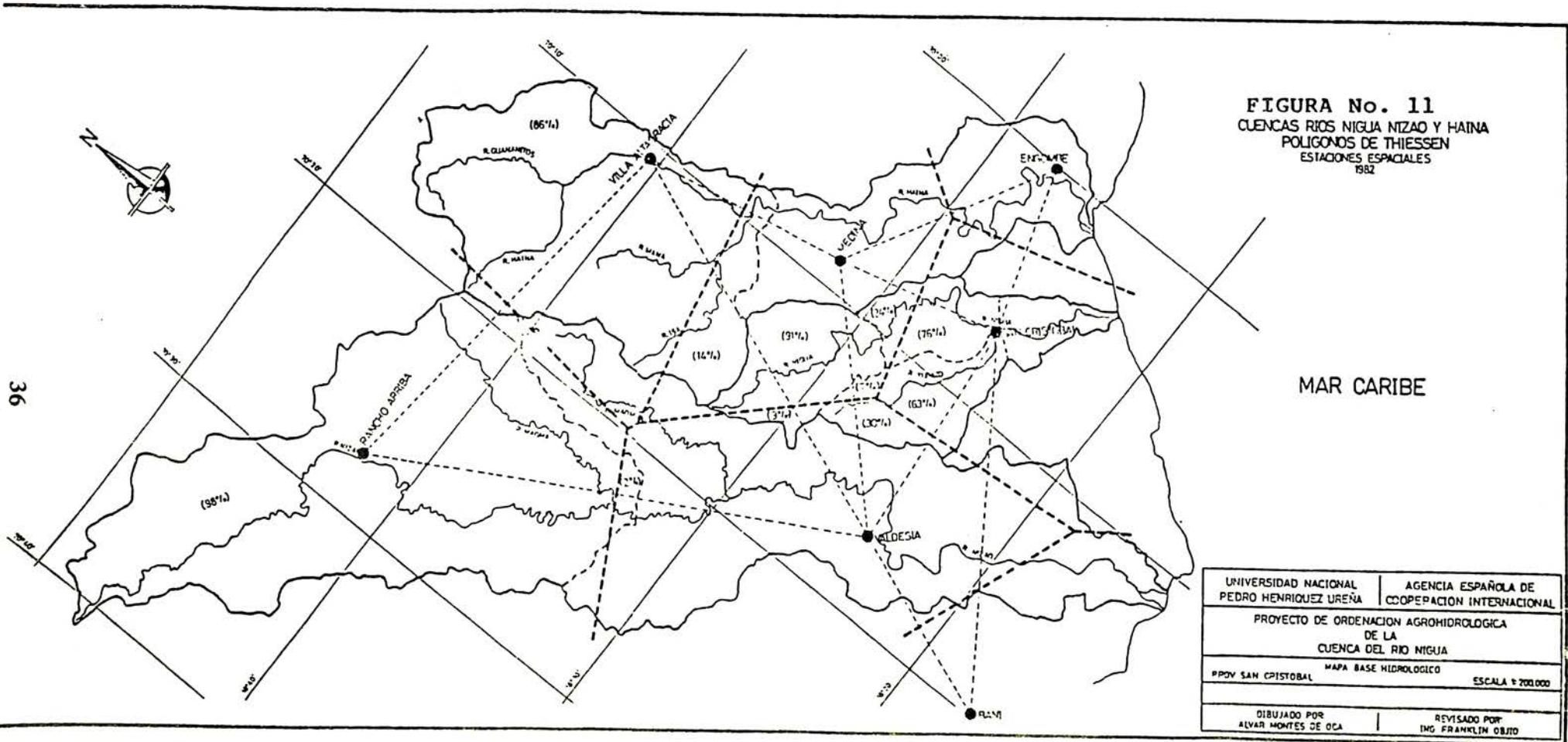


FIGURA No. 11
 CUENCAS RIOS NIGUA NIZAO Y HAINA
 POLIGONOS DE THIESSEN
 ESTACIONES ESPACIALES
 1982

MAR CARIBE

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO HENRIQUEZ UREÑA	AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACION INTERNACIONAL
PROYECTO DE ORDENACION AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIO NIGUA	
PROV. SAN CRISTOBAL	MAPA BASE HIDROLOGICO ESCALA 1:200,000
DIBUJADO POR ALVAR MONTES DE OCA	REVISADO POR ING. FRANKLIN OBJTO

* REDUCCION DEL ORIGINAL EN 47.5%

IV. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

IV.1 Calibración del Modelo HEC-1

El método para calibrar el modelo HEC-1 consiste en buscar igualdad de condiciones entre los eventos observados y los generados por el modelo, con base a los siguientes criterios:

- 1) Forma del hidrograma: limbos ascendente y descendente.
- 2) Cauda pico.
- 3) Tiempo par alcanzar el caudal pico.

De esta manera, se determina la validez del hidrograma generado por el modelo.

IV.2 Análisis de las Corridas Iniciales de Optimización.

Los resultados obtenidos utilizando la función de optimización del modelo para las doce combinaciones posibles (Ver Apéndice 1), se ilustran en los Cuadros Nos. 10, 11 y 12.

Como se puede observar en los Cuadros Nos. 10, 11 y 12, la combinación que más se ajusta a los hidrogramas observados en las tres subcuencas es el Hidrograma Sintético de Clark Vs. Pérdida de Holtan. Sin embargo, estos métodos utilizan variables relacionadas con el suelo y condiciones de humedad difíciles de estimar a partir de las características geomorfológicas u observaciones.

CUADRO N° 10
RESULTADOS CORRIDAS INICIALES
CUENCA: NIGUA-EL TABLAZO
EVENTO: 10 JULIO, 1982

N = 36

HIDROGRAMA PERDIDA	S C S	SNYDER	CLARK
UNIFORME	Qp = 33 m3/s Tp = 10.0 Hr.	Qp = 46 m3/s Tp = 9.0 Hr.	Qp = 17 m3/s Tp = 9.0 Hr.
EXPONENCIAL	Qp = 30 m3/s Tp = 9.0 Hr.	Qp = 14 m3/s Tp = 10.0 Hr.	Qp = 10 m3/s Tp = 9.0 Hr.
S C S	Qp = 28 m3/s Tp = 5.0 Hr.	Qp = 11 m3/s Tp = 10.0 Hr.	Qp = 27 m3/s Tp = 5.0 Hr.
HOLTAN	Qp = 33 m3/s Tp = 4.0 Hr.	Qp = 31 m3/s Tp = 4.0 Hr.	Qp = 22 m3/s Tp = 3.0 Hr.
HIDROGRAMA OBSERVADO	Qp = 20 m3/S Tp = 3.0 Hr.		

CUADRO Nº 11
RESULTADOS CORRIDAS INICIALES
CUENCA: HAINA-LOS COROZOS
EVENTO: 10 DE JULIO, 1982

N = 61

HIDROGRAMA PERDIDA	SCS	SNYDER	CLARK
UNIFORME	Qp = 537 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.	Qp = 237 m ³ /s Tp = 8.0 Hr.	Qp = 276 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.
EXPONENCIAL	Qp = 494 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.	Qp = 151 m ³ /s Tp = 12.0 Hr.	Qp = 147 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.
SCS	Qp = 412 m ³ /s Tp = 4.0 Hr.	Qp = 85 m ³ /s Tp = 22.0 Hr.	Qp = 205 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.
HOLTAN	Qp = 377 m ³ /s Tp = 4.0 Hr.	Qp = 350 m ³ /s Tp = 5.0 Hr.	Qp = 241 m ³ /s Tp = 4.0 Hr.
HIDROGRAMA OBSERVADO	Qp = 239 m ³ /S Tp = 2.0 Hr.		

CUADRO Nº 12
RESULTADOS CORRIDAS INICIALES
CUENCA: NIZAO-PALO DE CAJA
EVENO: 21-23 DE MAYO, 1972

N = 71

HIDROGRAMA PERDIDA	S C S	SNYDER	CLARK
UNIFORME	Qp = 343 m3/s Tp = 17.0 Hr.	Qp = 285 m3/s Tp = 17.0 Hr.	Qp = 269 m3/s Tp = 15.0 Hr.
EXPONENCIAL	Qp = 318 m3/s Tp = 16.0 Hr.	Qp = 287 m3/s Tp = 14.0 Hr.	Qp = 235 m3/s Tp = 15.0 Hr.
S C S	Qp = 401 m3/s Tp = 18.0 Hr.	Qp = 228 m3/s Tp = 21.0 Hr.	Qp = 233 m3/s Tp = 17.0 Hr.
HOLTAN	Qp = 317 m3/s Tp = 16.0 Hr.	Qp = 281 m3/s Tp = 18.0 Hr.	Qp = 245 m3/s Tp = 17.0 Hr.
HIDROGRAMA OBSERVADO	Qp = 249 m3/S Tp = 15.0 Hr.		

Por las razones anteriormente explicadas se calibrará el modelo utilizando el hidrograma sintético del SCS con las pérdidas SCS. Los parámetros para evaluar las pérdidas se obtienen fácilmente de una tabla, basado en el uso de la cuenca y la cobertura vegetal.

IV.3 Resultados y Análisis de las Corridas Finales de Calibración.

Previo a las corridas finales, se procedió a determinar los parámetros requeridos por los métodos seleccionados de la siguiente manera:

1) Número hidrológico del SCS (NC) para cada subcuenca en función uso del suelo (Ver Apéndice 2).

2) Tiempo de desfase (TLAG) en función de la expresión de KIRPICH (1940). Esta presenta resultados hidrológicos más satisfactorios comparados con las expresiones de Cartel y Anderson (1970) y Mockus (1961). (Ver Apéndice 3). El Cuadro N° 13 muestra los resultados de esta comparación.

3) Una vez obtenidos NC y TLAG para cada subcuenca, se procede a calibrar el modelo, a fin de obtener la infiltración inicial que produce el hidrograma sintético óptimo.

Los resultados de las corridas finales se muestran en el Cuadro N° 14. Siendo la infiltración inicial igual al 20% de la precipitación total, teniendo en cuenta la humedad acumulada de manera indirecta. (Ver Apéndice 4).

CUADRO N° 13
TIEMPO DE DESFASE SUBCUENCAS
NIGUA, NIZAO Y HAINA

SUB-CUENCA	TIEMPO DE DESFASE (HR)			
	T CONCENTRACION K1RO1CH (1940)	TLAG-CM A CM CARTEL-ANDERSON (1970)	T RETRASO MOCKUS (1961)	T DESFASE OBSERVADO
NIGUA-EL TABLAZO	2.93	4.83	6.47	6.17
NIZAO-PALO DE CAJA	7.15	8.06	16.55	8.96
HAINA-LOS COROZOS	3.76	5.68	8.36	3.00

CUADRO N° 14

CORRIDAS FINALES DE CALIBRACION

- **HIDROGRAMA SINTETICO** : S C S
- **ECUACION DE PERDIDA** : TASA NUMERO S C S
- **TIEMPO DE DESFASE** : TIEMPO DE CONCENTRACION
KIRPICH (1940)

CUENCA HIDROGRAMA	NIGUA- EL TABLAZO	HAINA- LOS COROZOS	NIZAO- PALO DE CAJA
CALCULADO	Qp = 20 m3/s Tp = 10.0 Hr.	Qp = 239 m3/s Tp = 8.0 Hr.	Qp = 249 m3/s Tp = 20.0 Hr.
OBSERVADO	Qp = 20 m3/s Tp = 3.0 Hr.	Qp = 239 m3/s Tp = 2.0 Hr.	Qp = 49 m3/s Tp = 15.0 Hr.

IV.4 Resultados y Análisis del tránsito de Avenidas en la Cuenca el Río Nigua.

El tránsito de avenidas sintéticas se realizará utilizando el Método de Muskingum, el cual es fácil de aplicar y se obtienen buenos resultados. Para ello se requiere la siguiente información:

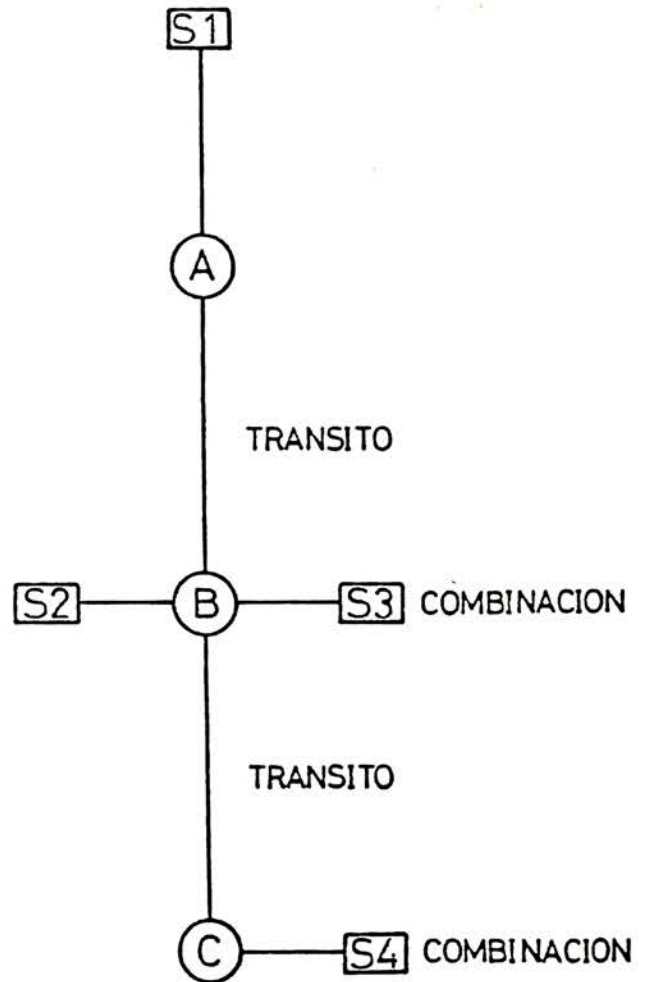
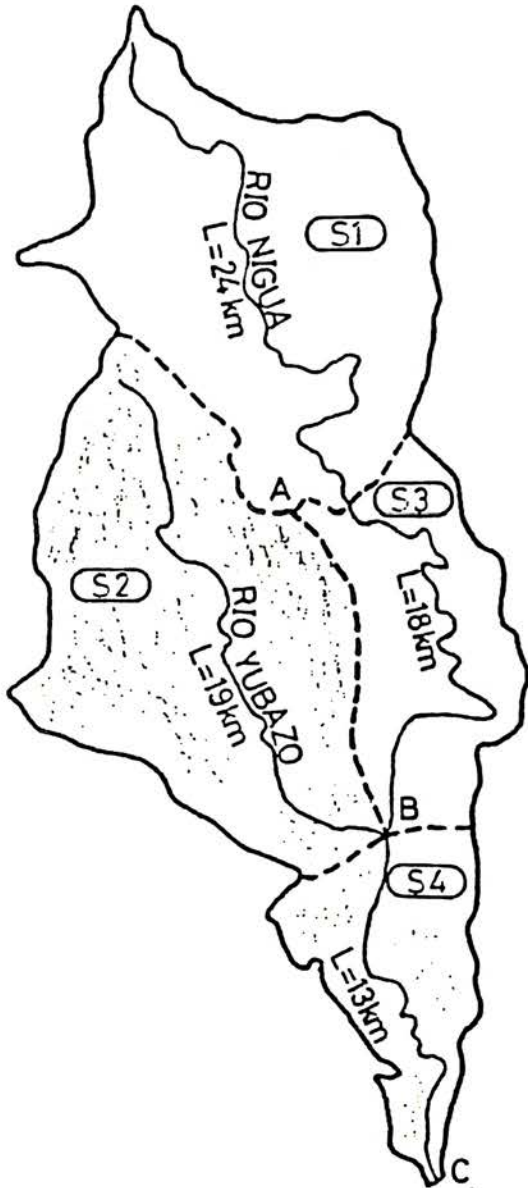
- 1) Número de tramo en que se divide la distancia para el tránsito (NT).
- 2) Tiempo recorrido para el tránsito total (K).
- 3) Coeficiente de almacenamiento del cauce (X).

A fin de aplicar el método de Muskingum en la cuenca del río Nigua, se subdividió en cuatro subcuencas (Ver Figura N° 13). El Cuadro N° 15 ilustra los parámetros requeridos por el método para cada subcuenca.

El Apéndice 5, contiene los resultados del tránsito de avenidas considerando una precipitación con períodos de retorno de dos y diez años respectivamente, duración de dos horas y una distribución temporal-espacial en función del evento del 10 e julio de 1982 (Ver Cuadros Nos. 16 y 17). Utilizando Hidrograma Sintético de SCS, pérdidas según número del SCS y tránsito de avenidas por Muskingum. Siendo satisfactoria la evaluación del caudal de escorrentía superficial, para los diferentes períodos de diseño.

FIGURA No. 13

RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS DE LA CUENCA
DEL RIO NIGUA



CUADRO N° 15**PARAMETROS POR SUBCUENCA REQUERIDOS POR
EL METODO DE MUSKINGUM**

Sub Cuenca	Coefficiente Almacenamiento (X)	Tiempo de Recorrido (K) - Hr -	Número de Tramos (NT)
Estación El Tablazo (S1)	0.2	1.74	1 ó 2
Estación El Tablazo al Río Yubazo (S2)	0.2	1.61	1 ó 2
Río Yubazo (S3)	0.2	2.11	1 ó 2
Río Yubazo al Mar Caribe (S4)	0.2	1.44	1 ó 2

CUADRO N° 16**PRECIPITACION MAXIMA PARA DOS HORAS
UTILIZANDO METODO SERIES PARCIALES**

ESTACION	Período de Retorno	
	Dos Años (2)	Diez Años (10)
Valdesia	74.6	116.5
Engombe	106.3	166.1
Medina	93.8	146.5
San Cristóbal	74.2	115.9

CUADRO N° 17**RESUMEN RESULTADOS TRANSITO AVENIDAS
EN LA CUENCA RIO NIGUA**

Período de Retorno (Años)	Estación	Caudal Pico (M3/S)	Tiempo al Pico (Hr)	Caudal Medio para Período Máximo (Hr)		
				6	24	72
2	A	114.17	6.0	88.01	35.57	19.21
	B	216.87	6.0	180.33	76.98	41.81
	C	221.12	8.0	187.59	84.56	46.07
10	A	223.29	6.0	170.70	69.01	34.74
	B	427.61	6.0	352.44	150.11	75.98
	C	433.39	8.0	367.91	165.01	83.80

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

Después de haber realizado el análisis de los resultados de la aplicación del HEC-1 en la cuenca del río Nigua, para el cálculo de escorrentía superficial y de tránsito de avenidas, se concluye:

1) El modelo hidrológico HEC-1 es aplicable a las cuencas nacionales donde la teoría del hidrograma unitario sea válida.

2) De los métodos presentes en el modelo para el cálculo de pérdidas y escurrimiento superficial, los que producen resultados más satisfactorios son:

- a) El método de Holtan para el cálculo de las pérdidas.
- b) El método de Hidrograma de Clark.
- c) El método de Muskingum para el tránsito de avenidas.

3) Los métodos del SCS para el cálculo de las pérdidas y el hidrograma unitario, son los de más aplicación para nuestras cuencas con escasa información hidrometeorológica. Dando excelentes resultados en la estimación del caudal pico.

4) La expresión de Kirpich (1940) permite una mejor optimización en el cálculo de la escorrentía superficial, que las expresiones de Cartel-Anderson (1970) y Mockus (1961).

V.2 Recomendaciones.

Tomando en cuenta las cuencas analizadas en el presente estudio, se recomienda:

- 1) Utilizar el Método del SCS, para el cálculo del escurrimiento.
- 2) Calcular las pérdidas por el método del Número Hidrológico del SCS.
- 3) Utilizar el Método de Muskingum para el tránsito de avenidas.
- 4) Las instituciones nacionales relacionadas al área, deben dirigir investigaciones para determinar relaciones hidrológicas netamente nacionales.
- 5) Realizar en el futuro investigaciones más profundas que permitan definir la humedad acumulada en el suelo, y de esta manera obtener resultados más precisos.
- 6) Debe crearse una red adecuada dentro de la cuenca del río Nigua, que permita definir una mejor distribución espacial-temporal de la lluvia sobre la zona.
- 7) Adecuar la estación fluviométrica de El Tablazo, ya que en la actualidad está haciendo mediciones irreales por la modificación del cauce.
- 8) Construir una estación fluviométrica en la cuenca baja del río Nigua, para una mejor estimación de las variables hidrológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. US ARMY CORPS OF ENGINEERS
HEC-1 / Flood Hydrograph Package / Users Manual
California, 1989.
2. Curso Regional Itinerante en Hidrología y Ciencias del Agua (CRICA)
ANALISIS HIDROLOGICO DE CRECIENTES CON EL MODELO HEC-1
Universidad de Costa Rica / Comité Regional de Rec. Hidráulicos /
UNESCO.
Publicación Hidrológica / Universidad de Costa Rica.
3. HOGGAN, Daniel H.
COMPUTER-ASSISTED FLOODPLAIN HYDROLOGY E HYDRAULICS:
Featuring the U.S. Army Corps of Engineers. HEC-1 and HEC-2 Software
Systems McGraw-Hill Publishing Company
New York, 1989, 518 págs.
4. LINSLEY, Ray K.
KOHLEK, Max A.
PAULUS, Joseph L.
Hidrología para Ingenieros
Traducido de la Segunda Edición en inglés de HYDROLOGY FOR
ENGINEERS, 2/e
Editorial Mc Graw-Hill Latinoamericana, S.A., 2da. ed.
Bogotá, Colombia, 1977, 386 págs.
5. BARBOZA RODRIGUEZ, Enrique
SANDER MANGEL, Dirk
ANALISIS DE RESULTADOS Y APLICABILIDAD DEL MODELO
HIDROLOGICO HEC-1 EN COSTA RICA: Informe de Proyecto Final para
Graduación
Universidad de Costa Rica
Costa Rica, 1987.
6. FADON SALAZAR, Juan Ignacio
PROYECTO DE ORDENACION AGROHIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL
RIO NIGUA: Documento de Planificación Física
AECI/UNPHU
Santo Domingo, Marzo 1992, 43 págs.

7. SANTO DOMINGO / SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA / OEA / INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Intensidades Máximas y Erosividad de las Lluvias en la República Dominicana: Información y Procedimientos
CONVENIO IICA-INDRHI
Santo Domingo, Diciembre 1982.
8. CASTILLO DE CASTRO, Pedro A.
LOPEZ FERNANDEZ, Javier
PEÑA SOTO, Licelot Alejandra
EVALUACION RAPIDA DE LA CONTAMINACION DEL RIO NIGUA
Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña (UNPHU),
Santo Domingo, 1992
9. HERAS, Rafael
HIDROLOGIA Y RECURSOS HIDRAULICOS
Centro de Estudios Hidrográficos
Madrid, España, Nov. 1976
10. CAMPOS ARANDA, D. G.
PROCESOS DEL CICLO HIDROLOGICO
Editorial Universitaria Potosina
San Luis Potosí, México 1984.

