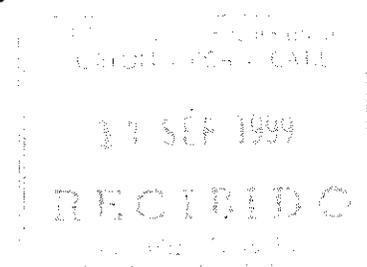


**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



**EVALUACION DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO  
PACUARE, CUENCA TROPICAL HUMEDA EN COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar por el grado de:

**Magister Scientiae**

por

**JAVIER SABORIO BEJARANO**

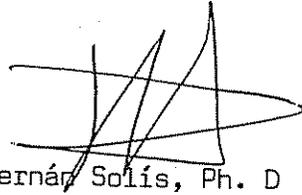
**Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica.**

1996

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

*MAGISTER SCIENTIAE*

FIRMANTES:



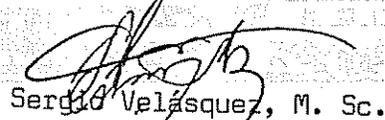
Hernán Solís, Ph. D

Profesor Consejero



Carlos Rivas, Ph. D

Miembro Comité Asesor



Sergio Velásquez, M. Sc.

Miembro Comité Asesor



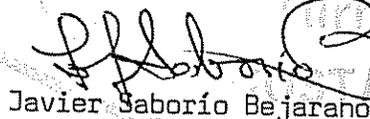
Juan Antonio Aguirre, Ph. D

Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira, Ph. D

Director, Programa de Enseñanza



Javier Saborío Bejarano

Candidato

## DEDICATORIA

*A mi familia, por su apoyo incondicional, ...*

## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento:

Al Dr. Hernán Solís B., guía de esta investigación.

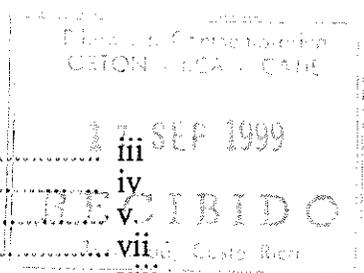
A mis amigos de AB Hydroconsult de Suecia y de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica por el aporte en cuanto a datos básicos.

Al personal que me apoyó tanto en el Instituto Costarricense de Electricidad como en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

*A todos muchas gracias.*

## INDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE.....	v
RESUMEN.....	vii
SUMMARY.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xii
SIMBOLOGIA.....	xiii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Modelamiento hidrológico.....	4
2.2 Modelado y simulación.....	4
2.3 Caracterización de sedimentos.....	6
2.4 Inicio del movimiento.....	7
2.5 Modelamiento del transporte de sedimentos.....	9
2.6 Formas del fondo.....	10
2.7 Fórmulas de transporte de sedimentos (antecedentes históricos).....	12
2.8 Hidráulica del modelo HEC6.....	12
2.8.1 Limitaciones del modelo.....	13
2.8.2 Aplicaciones del modelo.....	13
2.8.3 Bases teóricas para el cálculo de perfiles.....	14
2.8.4 Transporte de sedimentos.....	17
2.8.5 Determinación de los estratos o capas activas e inactivas.....	20
2.8.6 Método para el cálculo de los cambios en composición gradación del material del fondo respecto al tiempo.....	23
2.8.7 Funciones de transporte de sedimentos.....	25
2.9 Bases teóricas para el cálculo de elementos hidráulicos.....	27
2.10 Consideraciones para cálculos de sedimentos por el programa.....	29
3. CARACTERIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	31
3.1 Localización.....	31
3.2 Base de datos digital.....	33
3.3 Esquemas.....	34
3.4 Generación de los mapas.....	34
3.4.1 Mapas de elevación y modelo de elevación digital.....	34
3.4.2 Mapas de pendientes.....	34
3.5 Caracterización biofísica.....	35
3.6 Información fisiográfica.....	36
3.7 Clima.....	37
3.8 Precipitación.....	37
3.9 Suelos.....	40
3.10 Geología.....	40
4. MATERIALES Y METODOS.....	42
4.1 Materiales.....	42
4.2 Metodología.....	43
4.3 Enfoque de cuenca.....	43
4.4 Mapas climáticos.....	44
4.4.1 Mapa de temperatura ambiental.....	47



4.4.2	Mapa de evapotranspiración potencial.....	48
4.4.3	Mapa de relación de evapotranspiración.....	48
4.4.4	Mapa de evapotranspiración real.....	48
4.4.5	Cálculo del escurrimiento.....	48
4.4.6	Mapa de zonas de vida.....	49
4.5	Mapa de erosión potencial para la cuenca del Río Pacuare.....	50
4.5.1	Mapa de erosividad.....	50
4.5.2	Mapa del factor LS.....	52
4.5.3	Mapa de erosión potencial.....	53
4.6	Enfoque de cauce.....	54
4.6.1	Información limitada al área de modelamiento.....	54
4.6.2	Datos de entrada del modelo.....	54
4.7	Datos geométricos.....	58
4.7.1	Secciones transversales.....	58
4.7.2	Subsecciones.....	61
4.7.3	Longitud de alcance.....	61
4.7.4	Definición de lecho móvil.....	61
4.7.5	Valores de Manning.....	61
4.7.6	Coefficientes de contracción y de expansión.....	62
4.8	Datos hidrológicos.....	62
4.8.1	Tributarios.....	62
4.8.2	Caudales.....	63
4.8.3	Curva descarga - elevación.....	67
4.8.4	Temperaturas.....	70
4.9	Datos de sedimentos.....	70
4.9.1	Sedimentos de entrada.....	70
4.9.2	Porcentajes de sedimentos totales.....	73
4.9.3	Gradación de partículas en el fondo.....	73
4.10	Calibración del modelo.....	74
4.10.1	Pruebas iniciales de los datos.....	74
4.10.2	Calibración de los parámetros geométricos.....	75
4.10.3	Pruebas con fondo fijo.....	75
4.10.4	Pruebas con fondo móvil.....	76
4.10.5	Medidas de calibración.....	76
5.	RESULTADOS.....	77
5.1	Mapas y datos generados - enfoque de cuenca.....	77
5.1.1	Resultados del modelo de Holdridge.....	77
5.1.2	Resultados de la ecuación universal de pérdida de suelos... ..	82
5.2	Resultados generados - enfoque de cuenca.....	88
5.2.1	Características de las secciones transversales.....	88
5.2.2	Area de drenaje y caudales del modelo.....	88
5.2.3	Resultados del modelo HEC6.....	94
5.2.4	Simulación para diferentes condiciones hidrológicas.....	95
5.2.5	Medidas de calibración.....	95
5.2.6	Simulación con otros escenarios.....	99
5.2.7	Pruebas de "n" de Manning.....	100
6.	CONCLUSIONES.....	102
6.1	Respecto a la metodología de Holdridge.....	102
6.2	Respecto a la ecuación de pérdida universal de suelos.....	102
6.3	Respecto a la modelación con HEC6.....	104
6.4	Recomendaciones.....	104
7.	BIBLIOGRAFIA.....	105

EVALUACION DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RIO PACUARE, CUENCA TROPICAL HUMEDA EN COSTA RICA. 1996, Saborío J., CATIE, 150 p.

Palabras claves: erosión hídrica, transporte de sedimentos, hidrogeomorfología, hidrología fluvial, modelo matemático determinístico, arrastre, deposición, sistema de información geográfico.

## RESUMEN

Se calibró y simuló el comportamiento del cauce principal del Río Pacuare, cuenca tropical húmeda de montaña de Costa Rica, respecto al transporte de sedimentos, ubicando los sitios de arrastre y deposición en el espacio y simulando su variación en el tiempo

El trabajo se fundamenta en la modelación simulación del transporte de sedimentos, con el programa HEC6 creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE, 1993), y el uso del Sistema de Información Geográfico (SIG) IDRISI (Eastman, 1992), como herramienta para preparar los datos básicos de entrada al modelo así como para visualizar de una mejor forma los resultados.

El programa no predice la erosión laminar de la cuenca hidrográfica, sino que simula la habilidad del río para transportar sus sedimentos, al calcular el arrastre y deposición y simular la interacción entre las características hidráulicas del flujo y la tasa de transporte de los sedimentos.

En un intento por describir mejor la cuenca bajo estudio, se incluyeron dos enfoques:

1. nivel de la cuenca hidrográfica y
2. a nivel del cauce principal

En el primer enfoque se utilizaron modelos para producir mapas climáticos, de la cuenca, con un área de 650 Km<sup>2</sup> basados en la metodología de Holdridge, así como una cuantificación de la erosión laminar utilizando la ecuación de pérdida universal de suelos USLE. Ambos procedimientos fueron realizados en forma automática con la ayuda del SIG.

En el segundo enfoque se evaluó la aplicación del modelo de transporte de sedimentos (distribución, tasa de movimientos e influencia en la geometría del canal), a partir de un estimado de las características y el volumen de sedimentos introducido al río, en un transecto de 37.8 Km. de longitud en el cauce principal. El uso del SIG para manipular los datos de entrada, en combinación con los modelos de elevación digital así como la información del estudio de procesos de erosión llevada a cabo en forma paralela por AB Hydroconsult (1995), fueron determinantes para el desarrollo de este enfoque.

SEDIMENT TRANSPORT EVALUATION IN PACUARE RIVER, TROPICAL HUMID WATERSHED IN COSTA RICA, 1996, Saborío J., CATIE, 150 p.

Keywords: hydric erosion, sediment transport, hydrogeomorfology, fluvial hydrology, deterministic mathematical model, scour, deposition, geographic information system.

### ABSTRACT

The behavior of the main channel was calibrated and modeled for the Pacuare River, mountain tropical humid watershed in Costa Rica, consider the sediment transport to locate the scour and deposition sites in space and simulating its period variation

This work is based in the modeling simulation of the sediment transport, using HEC6, program developed by the Hydrologic Engineering Center of USA Engineering Corps of Engineers (USACE, 1993) joined with a Geographic Information System (GIS) IDRISI (Eastman, 1992) as a tool that permits to prepare the input basic data to the program and to display better results.

The program does not predict the watershed laminar erosion, but simulates the ability of the river to transport sediments, computing the scour and deposition and performance of the interaction between the hydraulic characteristics of flow and the sediment rate transport.

The knowledge of the study area is fundamental for the objectives . It includes two approaches:

1. watershed level
2. main channel level

In the first approach were used models to produce climatic maps for the entire basin with an extension of 650 Km<sup>2</sup>, based in Holdridge's methodology. Besides a quantification of the laminar erosion was made using the universal soil loss equation (USLE). Both procedures were made in automatic form using GIS.

In the second approach the performance of the sediment transport model was evaluated (distribution, movement rate and influence in the channel geometry), from a consideration of the characteristics and the sediment volume flowing in the river, in a reach of 37.8 Km in the main channel. The use of GIS to process the input data, joined with the data elevation models and also the information of the erosion process generated in parallel form by AB Hydroconsult (1995), were fundamental for the development of this work.

## Lista de tablas

Tabla 3.1	Variedades de clima - cuenca Río Pacuare.....	37
Tabla 3.2	Suelos dominantes - cuenca Río Pacuare (escala 1:200,000).....	40
Tabla 3.3	Geología en la cuenca del Río Pacuare.....	41
Tabla 4.1	Rangos de zonas de vida en la cuenca del Río Pacuare.....	49
Tabla 4.2	Valores del factor R y de precipitación para la cuenca del Río Reventazón.....	51
Tabla 4.3	Curvas descarga-elevación para las estaciones Pacuare y Dos Montañas.....	68
Tabla 4.4	Muestreos de temperatura del agua en la Estación Dos Montañas....	70
Tabla 4.5	Distribución de la carga de sedimentos por tamaños de partículas....	71
Tabla 4.6	Distribución del tamaño de partículas para diferentes descargas y nivel 425 m.s.n.m.....	72
Tabla 4.7	Porcentajes de sedimento total para diferentes caudales y tamaños de partículas.....	73
Tabla 4.8	Gradación del material del fondo - porcentaje más fino.....	74
Tabla 5.1	Diferencia entre clasificaciones de zonas de vida.....	77
Tabla 5.2	Factores R, K, LS, C, P 1y erosión potencial para la Cuenca del Río Pacuare.....	82
Tabla 5.3	Características de las secciones transversales.....	89
Tabla 5.4	Cálculo de histogramas anuales: promedio, húmedo y seco.....	93
Tabla 5.5	Variación de las fórmulas de transporte de sedimentos.....	95
Tabla 5.6	Resultados de la modelación bajo diferentes condiciones hidrológicas.....	96

## Lista de figuras

Figura 2.1	Concepto de Sistema.....	4
Figura 2.2	Clasificación del modelo HEC6.....	5
Figura 2.3	Movimiento de una partícula.....	7
Figura 2.4	Esquema ilustrativo de las fuentes de transporte de sedimentos.....	10
Figura 2.5	Formas del fondo en canales aluviales.....	10
Figura 2.6	Términos de la ecuación de energía.....	15
Figura 2.7	Esquema explicativo de la ecuación de Exner.....	18
Figura 2.8	Volumen de control de sedimentos.....	20
Figura 2.9	Diagrama explicativo para la profundidad de equilibrio y el espesor de la capa activa.....	22
Figura 2.10	Diagrama explicativo del cálculo de la elevación del lecho.....	29
Figura 3.1	Proyectos Hidroeléctricos en la cuenca del Río Pacuare.....	32
Figura 3.2	Pendientes - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	35
Figura 3.3	Isoyetas interpoladas cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	39
Figura 4.1	Diagrama de zonas de vida.....	45
Figura 4.2	Movimiento del agua en asociaciones climáticas.....	45
Figura 4.3	Uso del suelo - cauce principal Río Pacuare.....	55
Figura 4.4	Formaciones Superficiales - cauce principal Río Pacuare.....	56
Figura 4.5	Curva distancia - elevación a partir de la naciente hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres.....	57
Figura 4.6	Curva hipsométrica a partir de la naciente hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres.....	57
Figura 4.7	Ilustración de sección transversal típica y de longitudes de alcance.....	59

Figura 4.8	Ubicación de secciones transversales.....	60
Figura 4.9	Histogramas anuales para condición promedio.....	64
Figura 4.10	Histogramas anuales para condición húmeda.....	65
Figura 4.11	Histogramas anuales para condición seca.....	66
Figura 4.12	Curva descarga-elevación para la estación Pacuare.....	69
Figura 4.13	Curva descarga-elevación para la estación Pacuare.....	69
Figura 5.1	Temperatura Anual cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	78
Figura 5.2	Evapotranspiración Real cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	79
Figura 5.3	Evapotranspiración Potencial Anual Promedio cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	80
Figura 5.4	Zonas de vida - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	81
Figura 5.5	Factor R (Precipitación + Escorrentía) - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	83
Figura 5.6	Suelos Principales cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	84
Figura 5.7	Factor LS - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	85
Figura 5.8	Uso actual - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	86
Figura 5.9	Erosión potencial - cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas.....	87
Figura 5.10	Subcuencas desde estación Pacuare hasta sitio de presa en Dos Montañas.....	92
Figura 5.11	Tendencias de deposición y arrastre cauce principal Río Pacuare.....	98
Figura 5.12	Comparación entre niveles de agua real y simulados.....	99
Figura 5.13	Variación del fondo del cauce principal del Río Pacuare, para 10 y 20 años con caudal promedio.....	100
Figura 5.14	Variación entre coeficientes de Manning, obtenidos de análisis de muestras y de información auxiliar con los datos por el programa HEC6.....	101

## Lista de anexos

Anexo 1.	Listado de programas para la elaboración de mapas climáticos y de zonas de vida para la cuenca del Río Pacuare, utilizando IDRISI versión DOS.....	110
Anexo 2.	Entrada típica de datos al modelo HEC6. Caso cauce Río Pacuare.....	114
Anexo 3.	Salida parcial típica del programa HEC6.....	144

## SIMBOLOGIA

A	Area de la sección transversal al flujo
$A_1, A_2$	Areas aguas abajo y aguas arriba de la sección transversal con flujo normal a su dirección
a	Espesor de la capa de la carga del lecho
$a_e, b_e, c_e$	Mayor, intermedio y menor de ejes perpendiculares a la partícula
B	Ancho efectivo del flujo
$B_0$	Ancho del lecho movable (aproximado al ancho promedio que se utiliza para resolver la ecuación de energía)
$B_s$	Ancho del lecho
$B_{sp}$	Ancho del lecho móvil en el punto P
C	Coefficiente hidrodinámico = $24 / Re_w$
$C_a$	Concentración en la capa de la carga del lecho que corresponde a $q_{sbi}$ si se expresa en tons/día
$C_L$	Coefficiente de pérdida local producido por expansión o contracción
D	Tamaño del diámetro de la partícula de sedimento
$D_{eff}$	Tamaño de la partícula de sedimento efectivo en el tamaño de intervalo de clase y
$D_{si}$	Diámetro geométrico medio de la partícula en el tamaño i-ésimo del intervalo de clase
$D_{65}$	Diámetro de la partícula para el cual el 65 por ciento de los sedimentos son más finos
DT	Intervalo de tiempo de cálculo
d	Profundidad efectiva del flujo o profundidad del lecho a la superficie del agua
$d_{AL}$	Profundidad del agua
$d_{EQ}$	Profundidad del flujo en equilibrio (para transporte de sedimento cero)
$d_{scv}$	Profundidad del lecho para el volumen de control de sedimentos
$d_{SE}$	Espesor de la capa activa del lecho
$\partial$	Denota derivada
e	Relación de vacíos o índice de porosidad
fn()	Función
Fr	Número de Froude
G	descarga de sedimentos en unidades de pesos por tiempo
$G_d$	Peso total del sedimento en la capa superficial del lecho
$G_{di}$	Peso del tamaño de la partícula del intervalo de clase i-ésimo en la capa superficial del lecho
g	Aceleración debida a la gravedad
H	Carga de energía total

$H_1, H_2$	Elevaciones de la superficie del agua con respecto a un nivel de referencia en los extremos del tramo
$h$	Elevación de la superficie del agua
$I$	Número total de intervalos de clases para los tamaños del sedimento
$i$	Variación del subcripto para señalar los intervalos de clases de los tamaños
$j$	Número total de subsecciones transversales
$k$	Constante
$L$	Longitud del alcance en el punto de cálculo actual
$L_d$	Longitud del alcance aguas abajo del punto P
$L_j$	Longitud del j-ésimo tramo entre sub-secciones
$L_u$	Longitud del alcance aguas arriba del punto P
$L_v$	Longitud del volumen de control del sedimento en el lecho
$\log$	Logaritmo en base 10
$n$	Coefficiente de rugosidad de Manning
$P_i$	Porcentaje de la superficie del lecho compuesto del i-ésimo intervalo de clase del tamaño de la partícula
$P'$	Probabilidad media de que las partículas en el intervalo de clase "i" no se muevan
$Q$	Descarga de agua an el cauce principal aguas arriba de cualquier entrada Q1
$Q_i$	Agua afluyente promedio al alcance durante el tiempo DT
$Q_o$	Agua efluente promedio del alcance durante el tiempo DT
$Q_l$	Entrada de agua tributaria o lateral
$Q_s$	Tasa de descarga volumétrica del sedimento
$Q_{si}$	Sedimento afluyente promedio al alcance durante el tiempo DT
$Q_{so}$	Sedimento efluente promedio del alcance durante el tiempo DT
$q$	Descarga unitaria de agua
$q_{pi}$	Transporte potencial de la carga total de material del lecho en la clase de tamaño i
$q_{pbi}$	Transporte potencial de la carga del lecho en el tamaño de clase i
$q_s$	Total de la carga del material del lecho
$q_{si}$	Total unitario de la carga de material del lecho en la clase de tamaño i
$q_{sbi}$	Intensidad del movimiento de la carga del lecho en el intervalo de tamaño de clase i
$q_{ssi}$	Descarga unitaria del material del lecho en suspensión en la clase de tamaño i
$q_{sl}$	Tasa de descarga del sedimento lateral o tributario
$R'_b$	Porción del "radio del lecho hidráulico" asignado a la fricción por rugosidad de la partícula
$Re_w$	Número de Reynolds
$Se$	Pérdidas por energía entre las secciones del tramo
$S_{le}$	Pendiente de la línea energética
$SPI$	Número de intercambios de los incrementos
$T$	Temperatura del agua

t	Tiempo
u	velocidad media en la dirección x del flujo
u*	Esfuerzo cortante del lecho $(gdSe)^{0.5}$
V	Velocidad del agua en el cauce principal aguas arriba de cualquier entrada
$Q_i$	
$V_1, V_2$	Velocidades medias en cada sección del tramo
$V_s$	Velocidad de asentamiento para las partículas de sedimento
W	Velocidad de sedimentación
$W_s$	Peso sumergido
X	Tamaño característico de la mezcla de sedimento
x	Dirección del flujo
$x_c$	Factor de corrección por viscosidad
Y	Factor de reducción por presión debida al espesor de la subcapa laminar
y	Elevación de cualquier punto en el flujo, medido sobre el lecho
$y_s$	Elevación de la superficie del lecho
$Y_{sp}, Y'_{sp}$	Profundidad del sedimento antes y después de un período de tiempo, para el punto P
$y_s^t$	Elevación de la superficie del lecho en el paso de tiempo t
$y_o$	Profundidad de los sedimentos en el volumen de control
Z	Pendiente de la distribución de concentración $V_s/k\mu$ .
$\alpha$	Corrección por velocidad para la distribución horizontal
$\alpha_1, \alpha_2$	Coefficientes de corrección por velocidad en las secciones 1 y 2 del tramo
$\gamma$	Peso unitario específico del agua
$\gamma_s$	Peso unitario específico de las partículas de sedimento
$\gamma_a$	Peso específico de un conjunto de partículas
$\rho_s$	Densidad específica del sedimento = $\gamma_s / g$
$\Delta$	Diámetro aparente de las partículas rugosas en la superficie del lecho
$\xi_i$	Factor hídrico para las partículas en el intervalo de clase i-ésimo de la mezcla de sedimentos
$\tau_o$	Tensión cortante (de arrastre) del lecho
$\tau_c$	Tensión crítica del lecho para la iniciación del movimiento del material del lecho
$\phi_{*i}$	Intensidad de la carga del lecho para el i-ésimo tamaño de intervalo de clase de la partícula
$\psi_{*i}$	Intensidad del flujo para el intervalo de tamaño de clase i-ésimo de la partícula
$\Psi$	Parámetro de intensidad de flujo de Einstein

## 1. Introducción.

La planificación de proyectos hidroeléctricos, sea a nivel local, nacional o regional, debe promover la producción sostenida, no sólo del componente energético, sino de todos aquellos recursos ambientales que interactúan en el espacio y tiempo de vida del sistema. Las diferentes acciones realizadas por el hombre, sobre los recursos naturales renovables, conllevan a una serie de alteraciones de diversa índole que es necesario evaluar y controlar, a fin de evitar procesos irreversibles en el medio físico natural, y a la vez asegurando la viabilidad social, económica y ecológica del proyecto.

La producción, el transporte y la deposición de los sedimentos dentro de una cuenca hidrográfica, constituye uno de los aspectos más importantes en la planificación, diseño y funcionamiento de un proyecto hidroeléctrico. Una adecuada valoración de la producción y transporte de sedimentos y el uso de técnicas modernas de control de los mismos, son necesarios para una óptima operación del proyecto.

Este trabajo pretende hacer una aplicación de un modelo de transporte de sedimentos que a la fecha no se ha aplicado para modelar ríos en la región centroamericana, sí se ha utilizado en la modelación de un embalse (Jiménez, O, 1992). La información generada sería útil para el análisis de proyectos hidroeléctricos polémicos, los que por falta de un Manejo Integrado de los Recursos Naturales, son cuestionados del punto de vista de los beneficios económicos contra los costos ecológicos y perjuicios a la productividad agrícola e hídrica no cuantificados, en que se incurriría para su realización.

Como parte de los objetivos de creación del Instituto Costarricense de Electricidad, el 8 de abril de 1949, mediante el Decreto de Ley N°449, se le da la responsabilidad fundamental de encauzar el aprovechamiento de la energía hidroeléctrica, con el fin de fortalecer la economía nacional y promover el mayor bienestar del pueblo de Costa Rica. Así, mediante el planeamiento, diseño, construcción y operación de proyectos, se ha podido cumplir con el objetivo principal de suplir energía al país. Según la Ley de creación, se leen los artículos: "d) se deberá procurar la utilización racional de los recursos naturales y terminar con la explotación destructiva y desperdiciada de los mismos, ... y e) conservar y defender los recursos hidráulicos del país, protegiendo las cuencas, las fuentes y los cauces de los ríos y corrientes de agua, ..." (Obregón C., Orozco J., 1988). Estas aspiraciones justifican la realización del presente proyecto.

Los estudios de la cuenca del Río Pacuare, para explotar el potencial hidroeléctrico datan de la década de los años 60. En 1965 se analizó el posible desarrollo del río, y se propusieron dos proyectos, los que actualmente se conocen como Siquirres y Pacuare. Desde esa fecha ya se consideraba el trasvase del río Reventazón hacia el Pacuare, a través del proyecto Hidroeléctrico Guayabo.

En la siguiente década, y posteriormente en una revisión en 1984, se analiza el desarrollo combinado de las cuencas Reventazón y Pacuare. En estos estudios resaltan los proyectos hidroeléctricos Guayabo, Pacuare y Siquirres. En 1984 se concluye el estudio preliminar del P.H. Siquirres, donde se establece la alta rentabilidad del aprovechamiento, tanto en su primera etapa, como en su etapa final. La planta proyectada reúne una serie de características favorables. Su relación beneficio/costo es atractiva. La posible construcción posterior de Guayabo y de Pacuare beneficiará considerablemente el sistema Reventazón - Pacuare. (Obregón C., Orozco J., 1987)

Se estima que en conjunto los P.H. Siquirres y Pacuare, con embalses relativamente pequeños,  $515 \text{ Hm}^3$  y  $225 \text{ Hm}^3$  respectivamente, producirán aproximadamente 764 Mw, con una energía anual de 2992 GWh, que equivalente al 8% del potencial total de la energía del país (Rodríguez, A., Zadroga F., 1980).

Aunque se hicieron estimaciones del volumen de sedimentos que se depositará en el embalse, no se han realizado estudios, por falta de información o por razones presupuestarias, que indiquen los posibles cambios del cauce principal, en cuanto a los procesos sedimentológicos involucrados con la implementación del proyecto, y menos aún que contemple los efectos del trasvase.

Los proyectos han sido criticados en diferentes medios, coincidiendo, según Jiménez (1990), en que se debe hacer una valoración objetiva de los riesgos potenciales de deslizamientos y de la sedimentación, sobre todo si se sabe que una considerable parte de la cuenca media del río se encuentra fuera de las zonas protectoras vecinas: Zona Protectora de Río Macho y Zona Protectora de Pacuare.

Los mejores esfuerzos en cuanto a estudios de sedimentos en el país los ha realizado la Universidad de Uppsala, junto con el ICE, en la cuenca del Río Reventazón, específicamente en la valoración de sedimentos entorno al Embalse de Cachí, dando énfasis a la producción de sedimentos, al flujo de sedimentos hacia el embalse y a los efectos del vaciado del mismo. (Jansson M., Rodríguez A., 1992). A raíz de esto, se realiza una segunda fase de estudios, en los que se incluye el Sistema Reventazón - Pacuare, con trabajos de campo resumidos en el estudio hidrogeomorfológico en el cauce principal del Río Pacuare (Brenes, G. y otros, 1994), de erosión en la cuenca (AB Hydroconsult, 1994), así como de Impacto Ambiental de los P.H. Guayabo y Siquirres (CAURA, 1994).

Otro aporte en este campo, aunque para un caso específico, lo constituye la modelación realizada por Murillo (1992), en que describe un modelo numérico bidimensional que reproduce los procesos físicos que ocurren en secciones no homogéneas de un canal con geometría irregular. Sin embargo, el modelo no efectúa el transporte a lo largo del canal, y se limita a estudiar los cambios en la sección. En forma similar Jiménez, O. (1992) aplica el modelo HEC-6 para revisar el comportamiento del embalse del Proyecto Guayabo, a largo plazo.

Resulta importante realizar esfuerzos de modelación, utilizando algún modelo de transporte de sedimentos. Generalmente el transporte de sedimentos en el cauce, se ha estudiado bajo los modelos de escorrentía, obteniéndose la respuesta del sistema con base en las entradas por precipitación.

En los modelos para sistemas de escala más grande (escala de cuenca o subcuenca), se incluye en el modelaje de la dinámica del movimiento a través del cauce, tal es el caso del programa propuesto por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que a la fecha no ha sido utilizado en la región con este propósito.

Se cuenta con la versión del programa HEC-6 "Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs", disponible a octubre 1993, con mejoras importantes en cuanto a sus capacidades, directamente dependientes de las características del microcomputador en que se ejecute el programa.

En resumen, el conocimiento del transporte de sedimentos en el cauce, es de enorme importancia para tomar medidas en cuanto a la calidad del agua de protección a la vida acuática, y de mejoramiento de la operación del sistema. El mejor conocimiento del transporte de sedimentos evitará acciones de prevención tal como el dedicar Embalses Aguas Arriba como depósitos de captura de sedimentos, a un alto costo o los sistemas de alarma de avenidas que permiten dejar pasar el sedimento sin que ingrese al embalse, pero a la postre sólo trasladan el problema hacia aguas abajo.

Los objetivos propuestos para este trabajo son los siguientes:

### **Objetivos Generales.**

Evaluar la aplicación de un modelo de transporte de sedimentos en el cauce principal del Río Pacuare.

Contribuir con el conocimiento de los procesos de sedimentación en cauces tropicales de montaña.

### **Objetivos específicos.**

Presentar una tecnología basada en técnicas de manejo digital de mapas, que permitan un estudio más preciso y rápido de la información de entrada al estudio de sedimentos en el cauce.

A partir de estimaciones de flujos y características de los sedimentos transportados, analizar los volúmenes de control con el propósito de calibrar el prototipo y posteriormente simular escenarios.

Analizar la variación del cauce debida al efecto de socavación o deposición del material transportado por el flujo, cuantificando espacialmente los cambios producidos en el cauce.

### **Las hipótesis planteadas.**

El modelo podrá simular los procesos hidrogeomorfológicos y predecir el comportamiento de la dinámica de sedimentos del cauce principal en una cuenca tropical centroamericana húmeda, con limitaciones de datos de entrada.

Esta metodología dará resultados más confiables que los obtenidos por la aplicación de fórmulas tradicionales ya que el modelo describe los procesos hidrogeomorfológicos en forma más rigurosa.

## 2. Revisión de literatura

### 2.1 Modelamiento hidrológico.

El modelamiento hidrológico se enmarca dentro de los enfoques sistémicos, que tomaron gran auge en el período de la postguerra, década del 50, pero cuyo origen se remonta a la Revolución Industrial, con objetivos finales de optimización de la producción, buscando mejores y más reales explicaciones del entorno natural en que se desarrollan las sociedades

En la investigación científica, el desarrollo tecnológico, con la introducción de computadores, programas y dispositivos de medición más precisos, han hecho que muchos términos hayan ido evolucionando, tal es el caso del modelamiento hidrológico. Para entender el concepto, se impone una disertación amparada al enfoque sistémico o análisis de sistemas

Según Hall (1978), un sistema es un conjunto de objetos que interactúan regularmente en forma independiente, a los cuales se les ha aislado de un todo mayor y cuyo contacto con el ambiente que le rodea se hace a través de interacciones de entrada y salida, figura 2.1. El análisis sistémico también implica un estudio cuidadoso de los componentes, de sus orígenes y de sus relaciones de causa - efecto dentro del sistema.

Así, el sistema hidrológico del transporte de sedimentos se define como una estructura o volumen en el espacio, rodeado por una frontera que acepta aguas y otras entradas, opera en ellas internamente y produce salidas que inciden sobre el terreno.

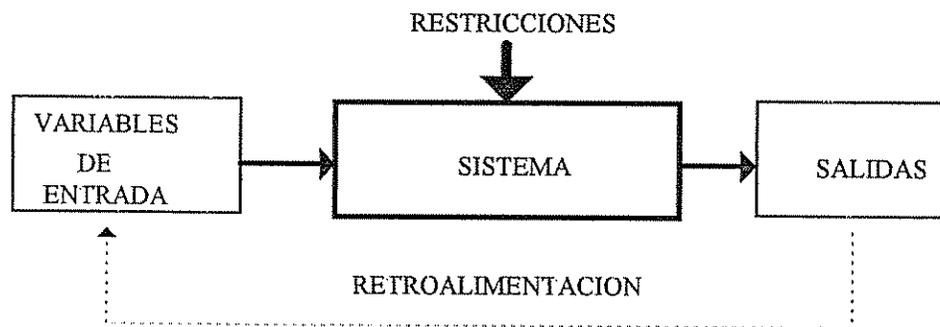


Figura 2.1 - Concepto de Sistema

### 2.2 Modelado y simulación

Según Cárdenas (1978), un modelo es una representación cuantitativa y cualitativa de un sistema. La representación debe mostrar las relaciones entre los diversos factores que son de interés para el análisis. El modelo debe representar los aspectos relevantes del sistema para la fase de estudio y es el resultado de la integración de la definición del problema, medición del sistema y análisis de datos.

Según sus características existen diferentes clasificaciones de los modelos:

- 1° De acuerdo a su estructura se tienen modelos materiales o icónicos y formales o simbólico - matemáticos. Los materiales se subdividen en orden decreciente de realismo, en modelos tipo réplica, cuasi-réplica y analógicos. Los matemáticos de acuerdo al grado de abstracción, en descriptivos, simulativos y formalizativos. Estas subclasificaciones son mutuamente exclusivas.
- 2° De acuerdo a su variación temporal pueden ser estáticos o dinámicos, y en este caso la clasificación puede incluir a los modelos materiales y los matemáticos.
- 3° De acuerdo al grado de intervención de factores aleatorios, se subdividen en probabilísticos o aleatorios y en determinísticos. Esta clasificación puede incluir a los modelos materiales y matemáticos y a su variación temporal.
- 4° De acuerdo al modelado considerando o agregando variables espaciales para representar las propiedades del sistema o por el contrario dividiendo o desagregando éstas en sus partes homogéneas, se subdividen en agregados y desagregados (Chow y otros, 1992).

El transporte de sedimentos en una cuenca normalmente es estudiado bajo los modelos de escorrentía, obteniéndose la respuesta del sistema con base a las entradas por precipitación. En los modelos para sistemas de escala más grande (escala de cuenca o subcuenca), como es el caso de HEC-6 se incluye en el modelaje, la dinámica del movimiento a través del cauce principal.

Según lo anterior el modelo HEC-6 se puede clasificar como un modelo formal o simbólico (matemático) unidimensional, estático, determinístico y agregado, figura 2.2, que analiza la mecánica de los ríos, al calcular el arrastre y deposición y simular la interacción entre las características hidráulicas del flujo y la tasa de transporte de los sedimentos.

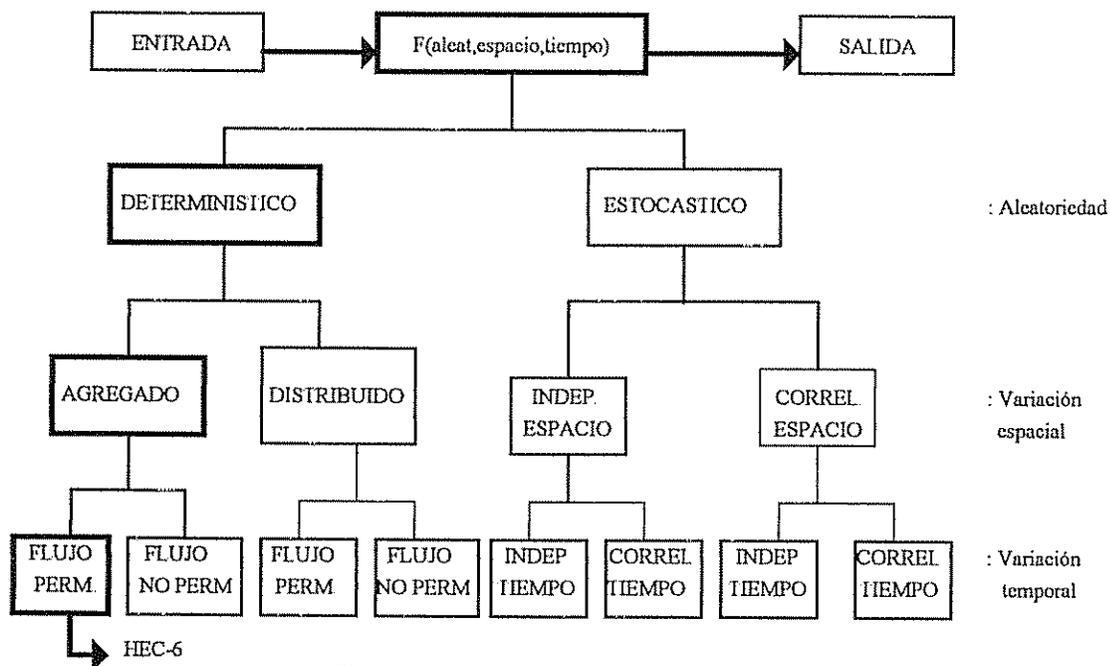


Figura 2.2 - Clasificación del modelo HEC-6

### 2.3 Caracterización de los sedimentos.

Para introducir el tema de los sedimentos y su comportamiento en un cauce natural, se hace necesario describir las bases teóricas que fundamentan los estudios en este campo.

El primer parámetro que caracteriza una partícula de material no cohesivo es su dimensión. Hay diferentes modos para caracterizar la dimensión de una partícula, siendo los más usados, (Jansen y otros, 1979):

1. Diámetro de la malla (tamiz): diámetro del orificio de una malla, a través del cual pasa con exactitud la partícula.
2. Diámetro nominal: diámetro de una esfera de igual volumen que la partícula.
3. Diámetro de sedimentación: diámetro de la esfera de igual densidad, que tiene velocidad de sedimentación igual a aquella de la partícula en análisis en un mismo líquido.

La dimensión de los limos y arenas muy finas se determina normalmente con métodos de sedimentación, mientras que aquellas más gruesa, como arenas y gravas con tamices. Para un sedimento compuesto de partículas de diversas dimensiones, la curva granulométrica representa el porcentaje acumulado de partículas más finas de una dimensión dada.

Otros parámetros caracterizantes de la partícula son su forma, la densidad y la velocidad de sedimentación.

La forma se determina de parámetros que miden el alejamiento de la forma esférica. el más usado es el factor  $c_1/(a_1 b_1)^{0.5}$ , donde  $a_1$ ,  $b_1$  y  $c_1$ , son respectivamente el mayor, el intermedio y el menor de los tres ejes perpendiculares a la partícula. La gran mayoría de las arenas naturales presenta un valor de tal parámetro cerca de 0.7.

La densidad depende de la composición química de la partícula. Los componentes minerales (silicatos) de la gran mayoría de los sedimentos naturales presentan valores de peso específico  $\gamma_s$  cerca de  $2650 \text{ Kg/m}^3$ , valor que puede ser adoptado para fines prácticos.

También se expresa como  $\rho_s = \gamma_s/g = 270 \text{ kg m}^{-4}\text{seg}^2$

El peso específico es aquel de la partícula. El peso específico de un montón de sedimento es obviamente menor, debido a la porosidad. Llamando "e" al índice de vacíos o porosidad (razón ocupada entre el volumen ocupado por vacíos y el volumen total del montón) y  $\gamma_a$  el peso específico de éste, se tiene la relación:

$$\gamma_a = (1 - e) \gamma_s \quad (2.1)$$

Para arenas naturales, con porosidad normal, n vale cerca de 0,4 y por lo tanto  $\gamma_a$  es aproximadamente  $1600 \text{ Kg/m}^2$ .

La velocidad de sedimentación W es la velocidad de caída, de una partícula sólida en un líquido en reposo, de peso específico  $\gamma$ .

Para una partícula esférica la velocidad W puede ser determinada haciendo el equilibrio de las fuerzas que interactúan sobre la partícula en caída (Jansen, 1979):

Resistencia al movimiento = Peso sumergido

$$\left(\frac{1}{2} C \rho W^2\right) \left(\frac{1}{4} \pi d^2\right) = \pi/6 d^3 (\gamma_s - \gamma)$$

Como  $\gamma = \rho g$ , se obtiene:

$$C W^2 = [4/3 (\rho_s - \rho) / \rho]^{1/2} g d \quad (2.2)$$

Para partículas esféricas y para valores límites de  $W$ , y en particular para valores del número de Reynolds de caídas  $Re_w = Wd/\gamma$  menores de 1, el coeficiente de resistencia hidrodinámica es dado por  $C=24/Re_w$  y la ecuación (2.2) se transforma en la fórmula de Stokes:

$$W = \frac{d^2}{18} (\rho_s - \rho) g \quad (2.3)$$

#### 2.4 Inicio del movimiento

El problema principal consiste en el encontrar una variable o un conjunto de variables que asuman un valor crítico en el momento en el cual las partículas sólidas no cohesivas, que forman el fondo del cauce, comienzan a moverse, tal valor crítico separa el rango de los valores de las variables para los cuales la corriente no alcanza a transportar materiales sólidos, del rango en el cual el transporte se verifica. (Paoletti y Larcán, 1983).

La condición de estabilidad de un elemento de material no cohesivo se expresa de la igualdad de los momentos de la fuerza activa ejercida por la corriente y del peso sumergido de la partícula respecto al punto de rotación ( $x$ ) de la misma, ver figura 2.3.

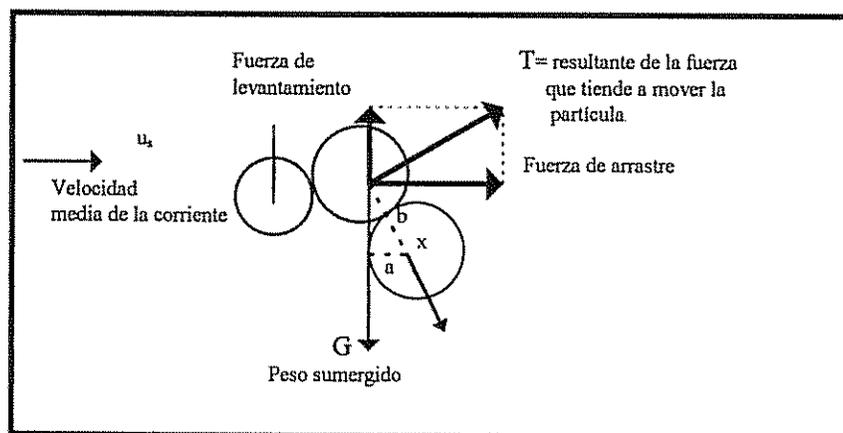


Figura 2.3 - Movimiento de una partícula

De donde,  $T b = G a$

Esto es,

$$\frac{1}{2} C \rho u_s^2 \frac{1}{2} \pi d^2 b = \pi/6 d^3 (\rho_s - \rho) g a \quad (2.4)$$

Donde "C" es el coeficiente hidrodinámico y  $u_s$  es la velocidad media de la corriente que actúa sobre la partícula considerada. Ahora bien, la velocidad  $u_s$  es dada por la función  $u(y)$  de distribución de la velocidad media sobre la vertical, se puede expresar como:

$$\frac{u}{u^*} = 5.75 \log \frac{y u^*}{u} + 5.50 \quad (2.5)$$

En función de la cota " $y_s$ " dependiente de la dimensión característica de las partículas, se puede decir que existe una proporcionalidad aproximada por:

$$u_s = K u^*$$

Por lo que la ecuación (2.5) puede ser reescrita en términos adimensionales:

$$\frac{\rho u^{*2}}{(\rho_s - \rho) g d} = \frac{4}{3} \frac{a}{b K^2 C} \quad (2.6)$$

Donde el número adimensional del primer término, que viene frecuentemente indicado con  $\Psi$  representa la comparación entre la acción de la corriente y el peso sumergido de la partícula, y puede escribirse como:

$$\Psi = \frac{\gamma R i}{(\gamma_s - \gamma) d} \quad (2.7)$$

Por definición  $u^{*2} = T / \rho = g R i$

La ecuación (2.6) indica que en condiciones de movimiento incipiente, la variación de  $\psi$  es función de las características geométricas de la partícula ( $a$ ,  $b$ ,  $K^*$ ) y de las características de la corriente ( $C$ ).

## 2.5 Modalidad del transporte de sedimentos.

Alcanzada la condición crítica el material del fondo comienza a moverse: sólo algunas partículas son movidas de su lugar, rodando, transportadas o realizando pequeños saltos. Lógicamente a mayor velocidad de la corriente (y por lo tanto de  $\psi$ ) se incrementa el número de partículas en movimiento.

Si se fija la atención en una porción de la superficie del fondo, se observa, que el número de las partículas transportadas por la corriente es en promedio igual al número de las partículas que permanecen al momento final de su trayectoria de transporte. El mecanismo de transporte se presenta como un intercambio superficial con un equilibrio estático entre el material removido y el depositado.

Las observaciones de Einstein (1937), quien fue el primero en estudiar la naturaleza estocástica del fenómeno, demostraron que el movimiento sólido del fondo puede ser esquematizado en una serie de intervalos de desplazamiento y de períodos de reposo y que la duración de los desplazamientos es despreciable respecto a la duración de los períodos de reposo, así que los desplazamientos pueden ser considerados instantáneos.

Para una granulometría dada, la longitud media de los desplazamientos parece independiente de la velocidad de la corriente, mientras la duración media de los períodos de reposo disminuye al aumentar la misma.

El desplazamiento medio de las partículas, por la velocidad media de las mismas es la duración media de la fase de reposo, y por lo tanto crece con el desplazamiento de la corriente, pero siempre es inferior a ésta. La evolución del fenómeno conlleva a la formación de formas de fondo (ondas, dunas, antidunas, etc.), que dependen de las características hidráulicas de la corriente y de las dimensiones de las partículas.

Las partículas de dimensión inferior también pueden ser capturadas por la corriente y transportadas en suspensión con velocidad igual a la velocidad local del líquido. El transporte en suspensión interesa si la fina partícula capturada del fondo es aquella disponible en la corriente por efecto de la erosión de la cuenca hidrográfica, esto es conocido como "lavado de carga". Este último transporte sólido en suspensión debido a la erosión no depende de la capacidad de transporte de la corriente, sino de la cantidad sólida que esté disponible por efecto de la erosión.

La figura 2.4, adaptada de (Jansen, 1979), sintetiza los diversos componentes del transporte de sedimentos. Se suele indicar en la práctica un diámetro límite entre 50  $\mu\text{m}$  y 70  $\mu\text{m}$  para distinguir la parte más fina que forma el material en suspensión proveniente de la erosión de la cuenca de la derivada del cauce fluvial.

La distinción entre material transportado por el fondo y el transportado en suspensión no es fácil, considerando que en las proximidades del fondo se lleva a cabo un continuo intercambio entre los dos componentes del transporte sólido.

Shinohara y Tsubaki (1959) indican un límite práctico de  $u^*/W=5/3$  para el inicio del transporte en suspensión. En muchos casos el intercambio de los sedimentos entre el fondo y la suspensión no ocurre libremente, se trata en estos casos de un fondo acorazado. En estos casos el caudal sólido efectivo es inferior a la capacidad de transporte de la corriente hídrica. En general se observa en ríos aluviales, que el caudal sólido iguala la capacidad de transporte de la corriente hídrica.

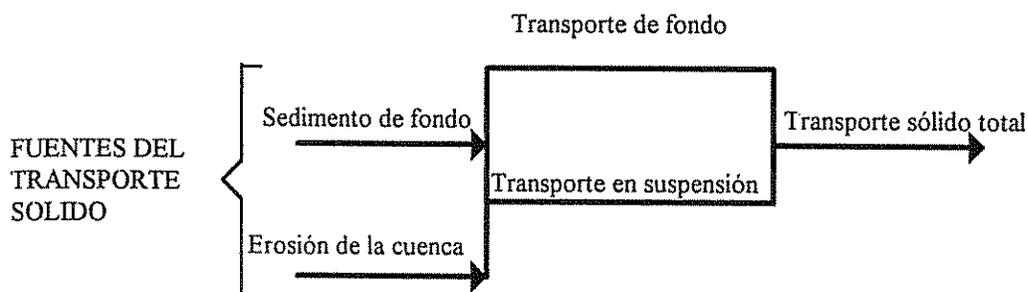


Figura 2.4 - Esquema ilustrativo de las fuentes de transporte de sedimentos

## 2.6 Forma del fondo

El movimiento del sedimento del fondo provoca diversas formas típicas del fondo en función de las características de la corriente y del sedimento. Una clasificación de las formas de fondo normalmente aceptada es la de Simons y Richardson (1961), figura 2.5.

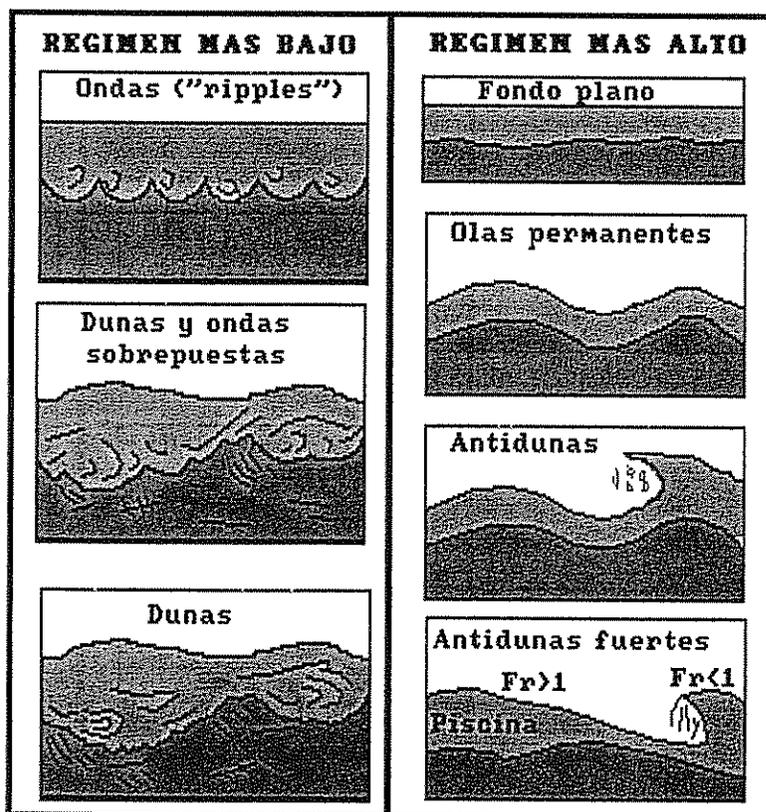


Figura 2.5 Formas del fondo en canales aluviales, tomado de Chorley, 1969

De las primeras observaciones de (Du Buat, 1786), se reconoce una geometría esencialmente triangular, para las formas geométricas del fondo, individualizando los mecanismos de avance. Las partículas sólidas, después de ser llevadas a lo largo del lado contracorriente del triángulo, caen en el valle de la misma, donde la corriente es más tranquila, la forma que en tal caso se llama duna viene avanzando lentamente. Este mecanismo es similar a aquel que genera y mueve las dunas eólicas, generalmente en los desiertos, es característico de las corrientes lentas. En las corrientes rápidas, en su lugar, la forma del fondo llamada antiduna, son caracterizadas por la erosión sobre el lado del valle y deposición sobre el lado del monte, moviéndose por lo tanto contracorriente hacia el monte.

A velocidades de la corriente muy bajas, no se alcanza el valor crítico y el sedimento no se mueve, aumentando la velocidad y alcanzando la condición crítica, el material comienza a moverse y se forman las primeras formas del fondo.

El espaciamiento y la geometría de esas formas son obviamente irregulares y aleatorias, pero uniformes en sentido estadístico. Para sedimentos finos, a baja velocidad, las primeras formas de fondo que se presentan son las llamadas ondas "ripples", pequeñas ondulaciones del fondo en movimiento hacia el valle. Un posterior incremento de la velocidad conlleva a la formación de dunas, ondulaciones más grandes, tanto en longitud como altitud, eventualmente acompañadas de ondulaciones al lado de monte. En casos de granulometría más gruesa, puede ocurrir que las ondas no se produzcan y que se observe la formación de dunas de primero.

Las dunas inducen en la corriente una ondulación en oposición a la fase del fondo, fácilmente explicable cuando se recuerda el perfil típico de una corriente lenta (que origina las dunas). Al aumentar la velocidad de la corriente las dunas primero aumentan de dimensión y luego la velocidad, y la intensidad de la erosión sobre el lado del monte provoca un aplastamiento fino que forma con el tiempo un fondo plano.

A mayor incremento de la velocidad de la corriente, el fondo se modifica nuevamente con la formación de antidunas estacionarias, esto es fijadas sobre el fondo, o de antidunas en movimiento hacia monte. Las antidunas en movimiento o estacionarias inducen en el perfil de la corriente una fuerte ondulación en concordancia con aquella de fondo. Para corrientes muy veloces las ondulaciones de la corriente son tales que la onda líquida se rompe hacia monte. El fondo se hace inestable y se caracteriza de una formación y distribución continua de antidunas.

Un criterio simple para distinguir las formas del fondo, se basa en los valores del número de Froude, promedio de la corriente:

$$F_r = \frac{V}{(gh)^{0.5}} \quad (2.8)$$

donde:

- V = es la velocidad media del agua
- h = es la altura media del agua
- g = es la constante de gravedad

Se puede decir, que las ondas y las dunas se forman para corrientes lentas ( $F_r < 1$ ), el fondo plano de transición se forma para corrientes críticas ( $F_r \approx 1$ ), las antidunas para corrientes veloces ( $F_r > 1$ ).

## 2.7 Fórmulas de transporte de sedimentos (antecedentes históricos).

A lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes fórmulas para explicar el transporte de sedimentos. En 1879 Du Boys, realiza la primera formulación respecto al transporte de fondo, al tratar de explicar el mecanismo según el cual el material que forma el fondo se apila en pequeñas capas de espesor  $\epsilon$ , que se mueven unas respecto a las otras, donde la  $n$ -ésima capa se mueve con una velocidad  $u_s(n-1)$ , por lo que el transporte sólido se puede expresar como

$$q_s = \frac{n \epsilon (n-1) u_s}{2} \quad [\text{m}^3/\text{s m}] \quad (2.9)$$

Que finalmente resulta en:

$$q_s = K \tau (\tau - \tau_c) \quad (2.10)$$

Con  $\tau$  tensión de arrastre,  $\tau_c$  tensión para la condición crítica

No se van a revisar todas las fórmulas, esto ya ha sido hecho, y se pueden encontrar en (Graf, 1971) y (Vanoni, 1975). Sin embargo se puede comentar que la mayoría de las fórmulas representan la relación entre los parámetros de transporte  $X$  y los parámetros del flujo, y todas se caracterizan por tres aspectos básicos:

1. La función de transporte  $X = f(Y)$ .
2. Las características del tamaño de las partículas.
3. La corrección de los parámetros de flujo respecto a la rugosidad del fondo del río.

En (Jansen, 1979), o (Paoletti, 1993), se pueden encontrar las formulaciones presentadas por Meyer, Peter y Müller en 1948, por Einstein en 1950, Einstein modificado por Brown en 1950 y por Engelund-Hansen en 1967, como los primeros pioneros en este campo. A manera de ejemplo se incluye la formulación básica de Meyer, Peter Müller (1948), que es a la vez una de las fórmulas utilizadas para el transporte de sedimentos gruesos en ríos de montaña en el país, tal y como se presenta en la metodología.

$$X = 12.3 (1/Y - 0.047)^{3/2} \quad (2.11)$$

El factor de ondulación "ripple":  $\mu = (C/C')^{3/2}$ , se basa sobre el tamaño de diámetro  $D_{90}$ .  $C/C'$  es la relación de concentración,  $\mu$  es la viscosidad dinámica.

## 2.8 Hidráulica del modelo HEC-6

El programa HEC-6 "Socavación y Deposición en Ríos y Embalses" fue desarrollado originalmente en 1976, basándose sobre un programa de paso estándar y las características de los sedimentos. HEC-6 procesa el hidrograma de descarga como una secuencia de flujos permanentes. Basado en la continuidad de los sedimentos, los cambios son calculados respecto al tiempo y la distancia a lo largo de la longitud del cauce en estudio, considerando: la carga de sedimento total, el volumen y la gradación del sedimento que socava o se deposita, el aumento de la superficie del fondo y la consecuente elevación del mismo.

Estudios posteriores han modificado sus capacidades en cuanto al tamaño de la red hidrográfica, se agregaron más funciones de transporte de sedimentos y se incluyeron cálculos más completos de los sedimentos cohesivos en resuspensión, contándose a la fecha con la versión 4.1 a setiembre de 1992.

El programa simula la habilidad de un río para transportar sus sedimentos, tomando en consideración el arrastre y deposición a lo largo del mismo. Se puede simular la deposición de sedimentos en embalses profundos, con el fin de estudiar la reducción de almacenamiento por el efecto de la colmatación, pero el propósito principal es el de simular la dinámica de arrastre y deposición en ríos.

### 2.8.1 Limitaciones del modelo

El modelo presenta las siguientes limitaciones:

1. Representa al flujo no permanente como una secuencia de flujos permanentes.
2. El flujo debe ser gradualmente variado.
3. El flujo es unidimensional (sólo considera el flujo en una dimensión), estable.
4. No considera meandros o cambios laterales en la forma del río.
5. Sólo el canal principal está sujeto al arrastre y deposición de los sedimentos.
6. El efecto de la forma del fondo en el coeficiente de rugosidad de Manning no se considera.
7. Las corrientes secundarias no son consideradas.

### 2.8.2 Aplicaciones del modelo.

Existe un balance dinámico entre el movimiento del sedimento en un río natural, el tamaño y la graduación del material del sedimento en el fondo del río y la hidráulica del flujo. Cuando un embalse es construido, las obras de control de flujo colocadas en el cauce, o la profundidad mínima mantenida para la navegación, hacen que el balance cambie. El programa permite predecir el impacto de hacer uno o más de esos cambios. Dentro del ámbito de sus aplicaciones, se pueden citar las siguientes:

1. Puede simular cursos de arrastre y deposición a largo plazo, en un canal del río, como resultado de la modificación de la frecuencia y duración de la descarga de agua y/o estado, o de la modificación de la geometría del canal (e.g. invasión de la planicie de inundación).
2. Puede ser usado para evaluar la deposición de sedimentos en embalses (tanto el volumen como la localización del depósito)
3. Se puede determinar la degradación del fondo del río aguas abajo del sitio de presa.
4. El modelo simula tendencias a largo plazo, de arrastre o deposición de un lecho (cambio en la geometría del canal debido al flujo e hidráulica) que pueden resultar de diferentes alternativas de frecuencia y duración de la descarga de agua, o del avance de inundaciones, permitiendo estimar el arrastre máximo durante eventos de avenidas

5. Para simular el lugar y la cantidad de deposición de sedimentos en canales de concreto.
6. Predice el impacto de los cambios en los patrones de sedimentos sobre la profundidad mínima o flujo mínimo del cauce, permite el diseño de contracciones del canal requerido para mantener las profundidades de navegación o disminuir el volumen de dragado para mantenimiento y predecir la influencia que el dragado tiene sobre la tasa de deposición.
7. De una secuencia de descarga de flujo de un hidrograma, el modelo calcula los cambios (respecto al tiempo y distancia a lo largo del cauce) de: la carga total de sedimentos, el volumen y gradación de los sedimentos depositados, la elevación/disminución del lecho y el flujo de sedimento

### 2.8.3 Bases teóricas para el cálculo de perfiles

Las ecuaciones para la conservación unidimensional de la energía y continuidad de la masa del agua se resuelven, por el método de paso estándar para calcular los perfiles de la superficie del agua.

La ecuación de conservación de la energía se puede resumir como:

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{[\partial \alpha V^2/2g]}{\partial x} = S_{le} \quad (2.12)$$

donde:

- $g$  : aceleración de la gravedad
- $H$  : elevación de la superficie del agua
- $S_{le}$  : pendiente de línea energética
- $V$  : velocidad media
- $x$  : Dirección del flujo
- $\alpha$  : coeficiente de corrección por distribución horizontal de velocidades

La ecuación anterior, se puede representar en la figura 2.6 y la siguiente ecuación:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + S_e \quad (2.13)$$

Los límites de conducción, contenciones de flujo por diques, áreas de flujo inefectivo y desborde de diques, se simulan en una forma similar a HEC-2. De hecho, si el usuario ejecuta HEC-6 en modo de lecho fijo (sin datos de transporte de sedimentos y gradaciones), estaría efectuando una aplicación de HEC-2, en la que se calculan los perfiles de la superficie del agua.

Las pérdidas de energía se componen de la pérdidas por fricción  $h_f$  y de las pérdidas por forma  $h_o$ , esto es:

$$S_e = S_f + S_o \quad (2.15)$$

Las pérdidas se pueden calcular por:

$$S_f = L \text{ Slope}_f \quad (2.16)$$

$$S_o = CL \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2.17)$$

Donde:

- L : Longitud corregida del tramo
- Slope<sub>f</sub> : Pendiente promedio de la línea de energía
- CL : Coeficiente de pérdida local producida por la expansión o la contracción

En realidad las pérdidas por fricción son calculadas por la ecuación de Manning. La rugosidad hidráulica se describe por los valores "n" de Manning y pueden variar de una sección transversal a la otra. En cada sección transversal los valores de "n" pueden variar verticalmente o por descarga.

$$S_f = (Q / K')^2 \quad (2.18)$$

$$K' = \sum_{j=1}^J [1.49/n_j] \frac{[(A_2 + A_1)_j / 2] [(R_2 + R_1)/2]_j^{2/3}}{L_j^{0.5}} \quad (2.19)$$

Donde:

- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> = áreas aguas abajo y aguas arriba, de la sección transversal con flujo normal a su dirección.
- j = número total de subsecciones transversales
- L<sub>j</sub> = longitud del j-ésimo tramo entre subsecciones
- Q = descarga de agua
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> = radios hidráulicos aguas abajo y aguas arriba, respectivamente.
- n = coeficiente de rugosidad de Manning.

Es necesario especificar la elevación de la superficie del agua, aguas abajo, para los cálculos del perfil de la superficie del agua.

En el caso de un embalse la regla de operación puede ser utilizada, pero si se dan condiciones de un río natural, la curva de descarga se especifica usualmente como la condición del límite aguas abajo.

#### 2.8.4 Transporte de Sedimentos.

Así como se utilizó la ecuación de la conservación de energía para determinar los perfiles de agua superficial, junto con los parámetros hidráulicos (velocidad, profundidad, ancho y pendiente) en cada sección, a lo largo de la longitud de alcance, se debe tener una ecuación de continuidad de sedimentos, llamada ecuación de Exner, que se combina con las fórmulas de descarga de sedimentos para satisfacer las variables desconocidas  $\partial G$  y  $\partial Y_s$ . La ecuación de Exner se puede expresar como:

$$q_{sl} = \frac{\partial Q_s}{\partial x} + B \frac{\partial y_s}{\partial t} \quad (2.20)$$

donde:

- $B_s$  : es el ancho del lecho móvil (m)
- $\partial Q_s$  : tasa volumétrica de transporte de sedimentos ( $m^3/día$ )
- $q_{sl}$  : es el flujo lateral o tributario de sedimentos ( $m^3/m/día$ )
- $\partial t$  : es el tiempo (días)
- $\partial x$  : es la distancia en la dirección del flujo
- $\partial y_s$  : es el cambio de elevación en la superficie del lecho

La ecuación (2.20) expresada en diferencias finitas para un punto P mostrado en la figura 2.7, se puede expresar como:

$$\frac{Q_{sl} - Q_{so}}{0.5(Ld+Lu)} + \frac{B_{sp} (y'_{sp} - y_{sp})}{DT} = q_{sl} \quad (2.21)$$

o bien:

$$y'_{sp} = y_{sp} - \frac{DT}{0.5 B_{sp}} \frac{Q_{sl} - Q_{so}}{Ld + Lu} + q_{sl} \quad (2.22)$$

Donde:

Bsp:	ancho del fondo móvil en el punto P.
$Q_{so}, Q_{sl}$ :	cargas del sedimento aguas arriba y aguas abajo de la sección transversal.
$L_u, L_d$ :	longitudes de alcance aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, entre secciones.
$y_{sp}, y'_{sp}$ :	profundidad del sedimento antes y después de un período de tiempo, para el punto P.
0.5:	factor de forma del volumen utilizado para pesar la longitud de alcance aguas arriba y aguas abajo.
DT:	período de tiempo.

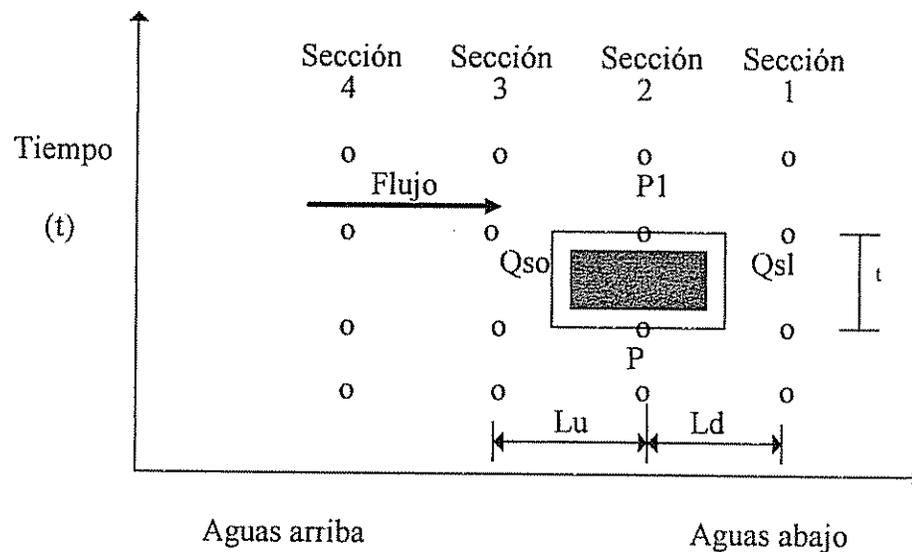


Figura 2.7 Esquema para explicar ecuación Exner

Explicación de la fórmula anterior: la profundidad final depende de la profundidad inicial, la diferencia de carga de los sedimentos, el intervalo de tiempo, el área del fondo del río del volumen de control y el aporte lateral de los sedimentos, desde la sección aguas arriba hacia aguas abajo.

Para la longitud de alcance aguas arriba, la condición de carga límite la provee el usuario. El sedimento dejando el volumen de control  $Q_{sl}$ , llega a ser el nuevo  $Q_{so}$  para el siguiente volumen de control aguas abajo.

La diferencia entre  $Q_{sl}$  y  $Q_{so}$  es a cantidad de material que se deposita o escurre en el tramo llamado región computacional de la figura anterior y se resume a los cambios de elevación del fondo.

Como se mencionó la ecuación de Exner se utiliza para el cálculo de la continuidad de los sedimentos. Si la capacidad de transporte supera la carga que entra al volumen de control, el sedimento disponible es removido del fondo satisfaciendo la continuidad.

Sin embargo, al depender la capacidad de transporte de la fracción de las partículas que constituyen el material del fondo, se hace necesario recalcular las fracciones presentes en el intercambio de los sedimentos en el fondo, el número de intercambios de los incrementos SP1 se puede calcular como:

$$SP1 = \frac{(DT) (Velocidad)}{\text{Long. del cauce}} \quad (2.23)$$

Retomando la ecuación de Exner, respecto a la tasa de sedimentos, se puede decir, que se relaciona a los parámetros hidráulicos, por medio de una función de transporte de sedimentos, donde además de las variables desconocidas anteriormente señaladas, se incluye la variable desconocida  $P_i$  (Thomas, 1982):

$$G = f(v, d, Se, B, D_{eff}, T, D_{si}, P_i) \quad (2.24)$$

donde:

- G : tasa de descarga de sedimento en unidades de peso por tiempo
- d : profundidad efectiva del flujo
- B : ancho efectivo del flujo
- $D_{eff}$ : tamaño efectivo de la partícula de sedimento en la clase de tamaño i
- $D_{si}$  : media geométrica del intervalo i
- T : temperatura del agua
- $P_i$  : porcentaje del i-ésimo tamaño de clase en el lecho

La ecuación para  $P_i$ , se expresa como la graduación de las superficies del lecho:

$$P_i = G_{di} / G_d \quad (2.25)$$

donde:

- $G_d$  : peso total del sedimento en la capa superficial del lecho
- $G_{di}$  : peso del i-ésimo tamaño de clase en la capa superficial del lecho

### 2.8.5 Determinación de los estratos o capas activas e inactivas.

La capa superficial del lecho en las ecuaciones anteriores es la zona cerca de la superficie del fondo conocida como capa activa.

La capa activa es aquella que continuamente interactúa o se mezcla (debido a acciones de turbulencia o esfuerzos cortantes) por el flujo. Presenta una superficie con movimiento de partículas bajo. En la inactiva no se tiene la interacción.

El volumen de control para los sedimentos del lecho se establece en cada sección transversal, ver figura 2.8

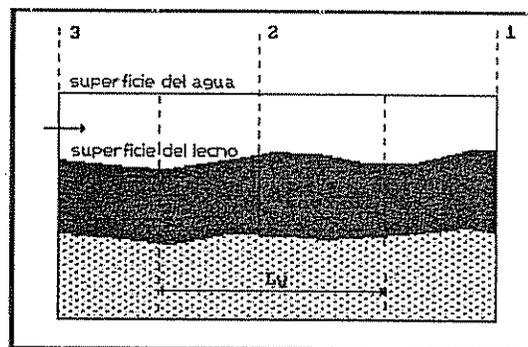


Figura 2.8 Volumen de control de sedimentos

La elevación de la superficie se modifica conforme el sedimento sea depositado o extraído del volumen de control. Las dimensiones iniciales del volumen de control son:

$$V_{inic} = L_v B_s d_{scv} \quad (2.26)$$

donde:

- $L_v$  : longitud del volumen de control
- $B_s$  : ancho
- $d_{scv}$  : profundidad medida entre la superficie del lecho y el fondo rocoso

El sedimento en el volumen de control se divide en 3 zonas llamadas capas: activa, inactiva y acorazada.

La capa activa es la capa sujeta a mezclas continuas por el flujo, pero puede tener una superficie con movimiento lento de partículas que acorazan las partículas más finas, impidiendo su ingreso al flujo.

La capa inactiva es la capa del sedimento del lecho, que se extiende del fondo de la capa activa hasta el fondo del modelo.

La capa acorazada es aquella capa con diámetro de partículas más gruesos sobre la superficie del lecho, que actúa como una coraza que produce bajo movimiento, protegiendo a las partículas más finas bajo ella, de las fuerzas erosivas. La capa activa incluye la zona acorazada y la capa subsuperficial, se extiende a partir de la capa inactiva en el volumen de control de sedimentos en una profundidad determinada por la ecuación:

$$d_{EQ} = [q / (SUK d^{1/3})]^{6/7} \quad (2.27)$$

donde:

- $d_{EQ}$  : profundidad de equilibrio, esto es, profundidad para  
cero transporte de sedimentos  
 $d$  : tamaño de la partícula del sedimento  
 $q$  : descarga unitaria

$$SUK = \left[ \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \frac{1}{\psi} \right] (1.486) (29.3) \quad 2.28$$

donde,

- $\gamma_s$ : peso unitario del sedimento  
 $\gamma_f$ : peso unitario del fluido  
 $\psi$ : parámetro de intensidad de flujo de Einstein, para no  
movimiento

Para las arenas  $\gamma_s = 2.65$ ,  $\gamma_f = 1$  y  $\psi = 30$ , se obtiene:

$$SUK = 10.21$$

$$d_{EQ} = [q / (10.21 d^{1/3})]^{6/7} \quad (2.29)$$

La figura 2.9 ilustra la profundidad de equilibrio y la elevación resultante del lecho en equilibrio.

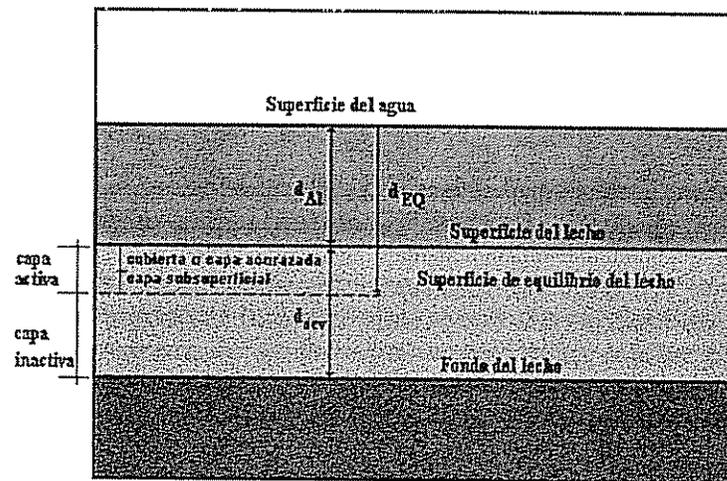


Figura 2.9 Diagrama explicativo para la profundidad de equilibrio y el espesor de la capa activa

El espesor de la capa activa se puede calcular al conocer el tamaño de partícula que produzca  $d_{EQ}$ , esto es, el tamaño más pequeño estable en la capa acorazada, así:

$$d_{SE} = d_{EQ} - d_{AL} \quad (2.30)$$

donde:

$d_{SE}$  : espesor de la capa activa

$d_{AL}$  : profundidad del agua

La profundidad de equilibrio es la profundidad para la que las partículas en la capa superficial cesan el movimiento. Esto no se relaciona a la condición de equilibrio descrita anteriormente, para las fórmulas de descarga de sedimentos, obsérvese que cuando el tamaño de la partícula crece, la profundidad de equilibrio decrece. Así, cuando  $d_{EQ}$  llega a ser menor o igual a  $d_{AL}$ , se dice que el fondo está completamente acorazado, generalmente este es el caso, cuando un flujo gravoso se mueve sobre un lecho arenoso.

De otra forma, cuando  $q$  decrece,  $d_{EQ}$  disminuye, sugiriendo que aún pequeños tamaños de partículas pueden actuar como en una capa acorazada cuando el flujo pasa a través del ancho de las secciones transversales.

Finalmente, donde el agua se deposita en un embalse,  $d_{AL}$  aumenta, y aún la arena que se acumula, llega a formar la capa acorazada, cubriendo las partículas más finas.

Los valores de  $q$ ,  $d$  y  $d_{AL}$  cambian continuamente de sección a sección y de un evento de descarga a otro en la misma sección transversal. Así, para un tiempo dado, la elevación de equilibrio del lecho cambia, como consecuencia del intercambio de las partículas entre las capas activa e inactiva. Las capas previas se mantienen, pero una vez que el flujo destruye la capa acorazada, las partículas son mezcladas uniformemente en la gradación de la capa activa para el alcance dado. La capa será reestablecida conforme la intensidad del flujo y la carga de los sedimentos entrantes lo permitan.

La ecuación de continuidad de los sedimentos se resuelve en forma explícita por medio de un esquema de diferencias finitas de 6 puntos.

Cada sección transversal representa un volumen de control, con ancho igual al ancho del lecho movable y con una profundidad que va de la superficie del agua a la parte superior del lecho rocoso u otro control geológico abajo de la superficie del fondo. En las áreas en que no existe un fondo rocoso, se asigna un límite superior arbitrario denominado fondo del modelo.

Hay una diferencia en las ecuaciones de continuidad, dado que la ecuación de sedimentos se describe para este volumen de control, en tanto que la ecuación de energía se describe entre las secciones transversales. La cantidad de sedimentos en el fondo del río, usando una aproximación del promedio del área final es:

$$V_{sed} = B_o y_s [(Lu + Ld)/2] \quad (2.31)$$

donde:

- $B_o$  : ancho del lecho movable (aproximado al ancho promedio que se utiliza para resolver la ecuación de energía).
- $Lu, Ld$ : longitudes de alcance aguas arriba y aguas abajo, respectivamente, usados en los cálculos del volumen de control.
- $V_{sed}$  : volumen de sedimentos en el volumen de control.
- $y_s$  : profundidad del sedimento, es la profundidad de los sedimentos en el volumen de control.

#### 2.8.6 Método para el cálculo de los cambios en composición - gradación del material del fondo respecto al tiempo.

El espesor de la capa activa se calcula al inicio de cada intervalo. El tamaño de la superficie del área acorazada es proporcional a la cantidad del fondo activo removido por el escurrimiento, así la profundidad de escurrimiento requerido para acumular suficiente cantidad de material más grueso para acorazar el fondo (Gessler, 1970), se calcula con el siguiente procedimiento:

$$SA = N / [\pi d^2/4] \quad (2.32)$$

donde:

N : Número de partículas de sedimento en la superficie del fondo (se asumen partículas esféricas).  
SA: superficie del fondo

La superficie de la columna puede estar parcialmente protegida por el estrato acorazado, lo que reduce el número de partículas N, expuestas al arrastre:

$$N = SA \text{ SAE} / [\pi d^2/4] \quad (2.33)$$

donde:

SAE: razón de superficies, área de arrastre potencial respecto al área total.

La profundidad del arrastre requerido para producir el volumen de un tamaño de partícula suficiente para completar la cubierta del fondo a un espesor de un diámetro de partícula dado, es:

$$V_{se} = PC \text{ SA } D_{se} = N \pi d_a^3 / 6 \quad (2.34)$$

donde:

$d_a$  : partícula más pequeña estable en la capa acorazada  
 $D_{se}$ : profundidad del material del fondo, el cual debe ser removido para alcanzar el equilibrio en un lapso de tiempo  
PC : fracción del material más grueso que el tamaño  $d_a$   
 $V_{se}$ : volumen del material de fondo, el cual debe ser removido para alcanzar el equilibrio en un lapso de tiempo

Combinando las ecuaciones de superficie y volumen, se tiene finalmente:

$$D_{se} = 2/3 [SAE d / PC] \quad (2.35)$$

Que en conjunto con la ecuación (2.29) sirve para calcular la profundidad de equilibrio para una mezcla de tamaños de partículas.

Después de que la profundidad de la capa activa se ha calculado, se completan los cálculos de los cambios del fondo para la sección transversal. A cada incremento de SPI, se chequea el volumen de los sedimentos en la sección transversal. Debido a las limitaciones de este método, se cuenta con un método alternativo, en el que se reemplaza el concepto de "superficie de área expuesta por un factor de estabilidad del fondo.

### 2.8.7 Funciones de transporte de sedimentos

Las tasa de transporte de sedimentos pueden calcularse para sedimentos de hasta 2048 mm. Para el transporte de arenas se pueden escoger entre más de 10 fórmulas de arrastre de material del fondo, tales como las mencionadas de Ackers-White, Meyer, Peter y Müller, Colby, etc.

Las funciones con que se cuenta son:

1. Función de transporte de Toffaleti (1966).
2. Relación de Laursen (1958), modificada por Madden (1963).
3. Flujo de corrientes para arenas de Yang (1973).
4. Función de transporte de Duboys (1975).
5. Función de transporte de Ackers White (1973).
6. Función de transporte de Colby (1964).
7. Combinación de Toffaleti (1966) y Schoklitsch (1930).
8. Meyer Peter y Müller (1948).
9. Combinación de Toffaleti y Meyer-Peter y Müller.
10. Relación de Laursen (1958) modificada por Madeen (1985).
11. Modificación por Ariothurai y Krone (1976) por Pathernaides (1965) para el escurrimiento y por Krone (1962) para la deposición de sedimentos cohesivos.
12. Modificación de la relación de Laursen (Copeland y Thomas 1989).
13. Coeficientes de transporte de sedimentos especificados por el usuario y basados sobre datos observados.

Vanoni, Brooks y Kennedy, 1960, y posteriormente Vanoni, 1975, hacen una revisión de las fórmulas para las funciones de descarga de sedimentos. El lector interesado puede referirse a estos documentos para más detalle.

Si hubiesen suficientes datos de campo como para desarrollar una relación funcional de los parámetros hidráulicos y el transporte de sedimentos por tamaño de partícula para cada tamaño de clase  $i$ , la relación funcional se puede escribir como:

$$G_{Pi} = \left[ \frac{E_{FD} S_{LO} - C_i}{A_i} \right]^{B_i} E_{FW} S_{TO} \quad (2.36)$$

donde:

EFD: profundidad efectiva

EFW: ancho efectivo

SLO: pendiente energética

STO: factor de corrección por rugosidad

A,B,C: coeficientes de transporte de sedimentos

GP: transporte potencial de sedimentos

## 2.9 Bases teóricas para el cálculo de elementos hidráulicos

### *Geometría del modelo.*

Se pueden simular simultáneamente un sistema de derivación principal, tributarios y puntos de entrada y salida de flujos.

La geometría del sistema fluvial está representada por las secciones transversales, que son especificadas por puntos de coordenadas (estaciones y elevaciones) y la distancia entre las secciones transversales. Cada sección se define por pares de coordenadas, teniendo un canal principal y sobrebancos izquierdo y derecho.

El modelo eleva o disminuye las elevaciones de las secciones para reflejar la deposición y el escurrimiento. Las localizaciones horizontales de los bancos del canal son consideradas fijas y las planicies de inundación a cada lado del canal se consideran que tienen localizaciones fijas del terreno, pero se pueden mover verticalmente si están dentro del lecho o fondo movable.

Las secciones transversales preliminares pueden obtenerse de mapas topográficos a escalas adecuadas, por ejemplo 1:5000 o 1:1000, o con levantamientos topográficos de campo. El trabajar con modelos de elevación digital facilitará el trabajo en un futuro.

Además de las características geométricas usuales de la sección, comentadas anteriormente, la porción del lecho movable debe ser especificada. El número estándar de subsecciones es 3, pero se permiten mayores subdivisiones. La longitudes de alcance (distancias entre dos secciones transversales) son deseables.

### *Profundidad crítica.*

La curva de energía crítica se traza a su valor mínimo para localizar la profundidad crítica. La profundidad crítica siempre es monitoreada para asegurar la consistencia de los cálculos.

### *Rugosidad hidráulica.*

Los valores "n" de Manning se ingresan en la primera sección transversal y se pueden cambiar en cualquier sección. Los valores "n" pueden ser constantes o pueden variar en la vertical como una función de la elevación o de la descarga.

***Descarga de agua.***

La descarga de agua puede incluirse como una constante para el área total de estudio o puede ser cambiada hasta 20 veces para contabilizar el flujo de tributarios.

***Material sedimentable.***

Se requieren 4 propiedades básicas de los sedimentos:

1. La concentración total de las cargas suspendidas y de fondo.
2. La distribución del tamaño de las partículas para la concentración total.
3. La distribución del tamaño de los sedimentos en el lecho del río.
4. Los pesos unitarios de los depósitos.

***Temperatura del agua.***

La temperatura del agua es importante para el transporte de sedimentos y debe ser especificada para cada descarga en el hidrograma.

***Coefficientes requeridos.***

Además de los valores de "n" de Manning, y los coeficientes de contracción y expansión se deben proveer otros coeficientes:

1. La gravedad específica y la forma de las partículas de sedimentos.
2. La tensión cortante en la cual las partículas de sedimentos inician el movimiento.
3. El peso unitario de los sedimentos, arcillas y depósitos de arenas (tratados como coeficientes por lo difícil de medirlos), los cambios de densidad con el tiempo.

Nota: Existen valores por omisión para los coeficientes relacionados con los sedimentos, si los valores de datos de campo no están disponibles.

**2.10 Consideraciones para cálculos de sedimentos por el programa**

Las tasas de transporte de sedimentos se calculan para cada flujo del hidrograma y para cada tamaño de partícula. El transporte potencial se calcula para cada tamaño de partícula en el lecho, asumiendo que el tamaño comprende el 100% del material del fondo.

Para cálculos reales de escurrimiento y condiciones de equilibrio, se debe medir la gradación del material que forma el fondo del río. Esto puede ser especificado en cada sección transversal. Si sólo se espera la deposición del material, la gradación del material de fondo es menos importante y puede ser calculada por el programa usando la gradación de la carga del flujo del sedimento, para esto se toma en cuenta que el tramo del río con un lecho compuesto por el mismo tipo de material de sedimento como el que se mueve con el arrastre, provee un registro del sedimento que el río tiene, crea y transporta. Este registro es reflejado en los materiales que se forman en los bordes del río. Al unir las propiedades hidráulicas del flujo, con las características del material de sedimentos, (las cuales pueden ser determinadas al analizar muestras de partículas del fondo del río), se puede calcular la tasa de transporte de los sedimentos, (USACE, 1993).

Los cálculos hidráulicos empiezan en el límite aguas abajo y se procede sección por sección hasta alcanzar el límite aguas arriba. Los parámetros hidráulicos se calculan y se almacenan para el cálculo de los sedimentos. Los cálculos para el movimiento de sedimentos se inician en límite aguas arriba y se procede sección por sección hasta el límite aguas abajo, se prueba la estabilidad de la capa acorazada, y se calculan: la profundidad de equilibrio, la elevación del lecho en equilibrio y el espesor de la capa activa. El sedimento se intercambia entre las capas activa e inactiva, y el tamaño efectivo de la mezcla superficial del lecho, se calcula por la ecuación:

$$P_i(I) = \frac{\int_{i=1}^I P_i D_{si}}{\int_{i=1}^{All} P_i D_{si}} \quad (2.37)$$

donde:

$D_{si}$  : media geométrica para la partícula del tamaño de intervalo de clase

$P_i$  : probabilidad media de que las partículas en el intervalo de clase  $i$  permanezcan

$P_i(I)$ : tamaño efectivo de la mezcla superficial del lecho para la totalidad de los intervalos de clase  $i$ .

El transporte potencial se calcula para cada sección transversal, si hay o no sedimento presente en la superficie del lecho, usando las formas de transporte potencial de la ecuación de transporte. Así, la ecuación de continuidad de los sedimentos (ecuación de Exner en su forma 2.22), se puede re-escribir como:

$$y_s^t = y_s^{t-1} + \Delta y_s - DT q_{sl} / B_s \quad (2.38)$$

donde:

$y_s^t$  : elevación del lecho en el tiempo  $t$

$y_s^{t-1}$  : elevación del lecho en el tiempo  $t-1$

$\Delta y_s = [(Q_{si} - Q_{so}) / (0.5 L B_s)] DT$

$L = L_u + L_d$

La ecuación anterior permite explicar de una forma más simple el cálculo de los cambios en el lecho, por deposición o socavación, resumidos en la figura 2.10.

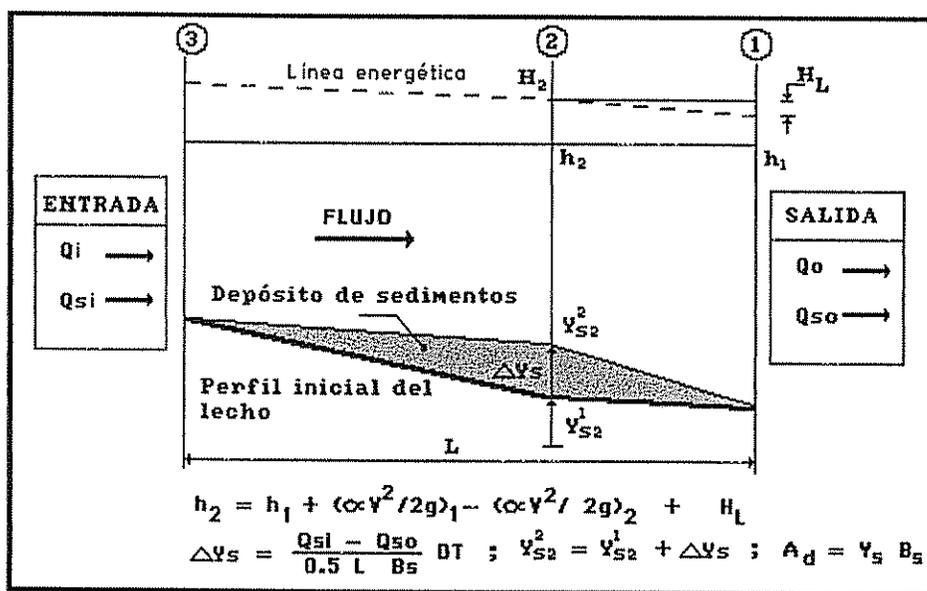


Figura 2.10 Diagrama ilustrativo del cálculo de la elevación del lecho

Dado que el sedimento que entra se prescribe a la condición límite y  $B_s$  y el valor inicial de  $y_s$  se conocen en la sección transversal, sólo  $Q_{s0}$  y  $y_s^1$  son desconocidos.

Recordando que la disponibilidad de las partículas puede ser evaluada de acuerdo a su probabilidad  $P_i$ , y que el transporte potencial de la carga del lecho puede ser evaluado, se puede calcular la capacidad de transporte mediante la ecuación:

$$q_s = \sum q_{pi} P_i \quad (2.39)$$

donde:

- $q_s$ : capacidad de transporte
- $q_{pi}$ : transporte potencial de la carga del lecho
- $P_i$ : definido en ecuación 2.25, porcentaje del  $i$ -ésimo tamaño de clase en el lecho

La ecuación 2.42 y la ecuación 2.25 se pueden combinar para producir una variable de graduación del lecho durante el intervalo de tiempo  $DT$ , de donde  $Q_{s0}$ , se puede escribir como:

$$Q_{s0} = B_s q_{pi} G_{di} / G_d \quad (2.40)$$

La notación en *italico* indica promedios durante el tiempo  $DT$ .

Un valor positivo de  $Q_{si} - Q_{so}$  indica deposición, y la cantidad se convierte a un peso y se agrega tanto a  $G_{di}$  y  $G_d$ . Una diferencia negativa significa erosión y la cantidad se sustrae de  $G_{di}$  y de  $G_d$ , siempre que exista una cantidad suficiente. De otra forma todo el material disponible se extrae causando que  $P_i$  para el tamaño de clase dado se aproxime a cero. La descarga de sedimento resultante del tramo  $Q_{so}$  llega a ser el sedimento promedio entrante al siguiente tramo aguas abajo, y el proceso se repite. Para asegurarse que las ecuaciones de agua y de sedimentos se resuelven sobre el mismo espacio geométrico, se usan dos secciones transversales para calcular las propiedades promedios de ambos límites y tres son usadas en los puntos interiores.

El modelo fue diseñado para ser usado en el análisis y el comportamiento a largo plazo, de los ríos y embalses, más que dar la respuesta de los sistemas fluviales en corto tiempo, eventos únicos y avenidas. De hecho, el programa no simula los bancos de erosión o la migración lateral del canal.

La separación de la sedimentación, de la hidráulica del flujo, es válida en algunas circunstancias; por ejemplo: la deposición en embalses profundos puede ser caracterizada como una reducción progresiva en la capacidad del embalse porque el material raramente es removido una vez que es depositado. Para predecir el comportamiento de embalses y de ríos poco profundos, se debe considerar la interacción entre las características hidráulicas del flujo, el transporte de sedimentos y cambios asociados, en las fronteras geométricas y su rugosidad.

Se debe hacer la aclaración que el programa HEC-6 no predice la erosión laminar de la cuenca hidrográfica, sino que simula la habilidad de un río para transportar sus sedimentos. El cálculo del arrastre incluye tanto las cargas de fondo como suspendidas, descrito por una función de descarga de fondo similar a la de Einstein.

### 3. Caracterización del área de estudio

Con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica, como herramienta para el manejo de la información temática y la generación de modelos de elevación digital del terreno, esto es, superficies digitales tridimensionales continuas, obtenidas a partir de datos de valores de elevación (curvas de nivel o puntos), se realizó la caracterización fisiográfica del área de interés.

#### 3.1 Localización

La Cuenca del Río Pacuare hasta el sitio de estudio tiene un área de 652.4 Km<sup>2</sup>, comprendida entre los 83° 26' 14" y los 83° 40' 52" de longitud oeste y entre los 9° 36' 22" y los 10° 04' 19" de latitud norte, se ubica en la Vertiente Atlántica, en la Provincia de Cartago, con un eje longitudinal que va del SSO al NNE, ver figura N° 3.1. Su forma se puede asimilar a la de una ese alargada con una longitud de 58 Km y un ancho medio de 11 Km, con su eje mayor orientado de Sur a Norte. (DEB, 1988).

La caracterización fisiográfica referente a la cuenca hidrográfica, que normalmente se realiza por medios semi-manuales, se ha obtenido a través de la manipulación de los mapas digitales (e.g. delimitar el contorno a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, ubicar el centroide de la cuenca, etc.).

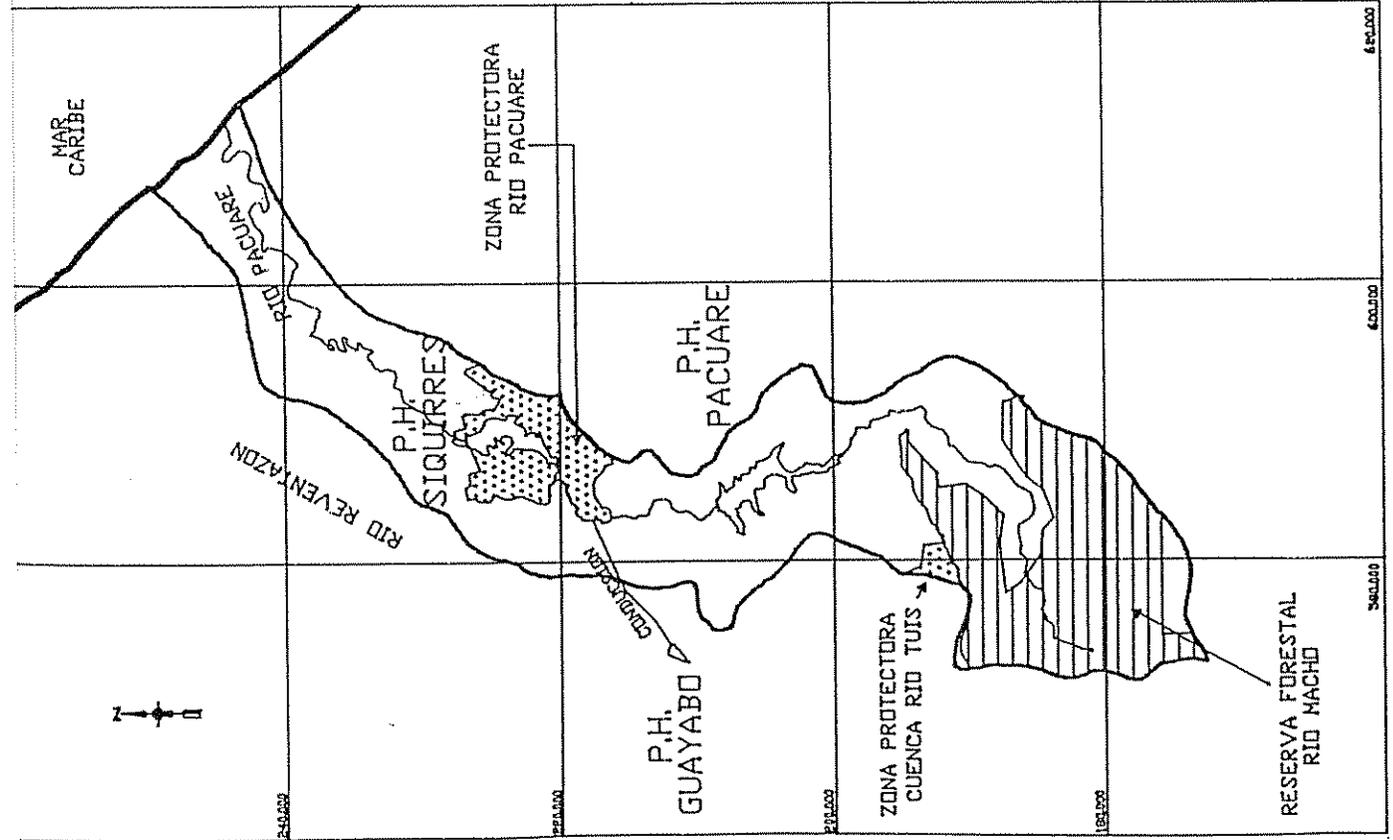
Se parte de un análisis de la cuenca, donde se ha colectado información temática de diferentes estudios, se han digitalizado los mapas y sobre la información básica se ha generado nueva información.

Luego se enfoca la caracterización al cauce principal del Río Pacuare, que es al área específica sobre la que se aplica el modelo HEC-6, aquí el detalle incluye colecta de información a mayor detalle 1:5000 en el caso de curvas de nivel, secciones transversales realizadas con medición topográfica en el campo y digitalización de la información suministrada por el estudio hidromorfológico del cauce del Río Pacuare (DG-UCR, 1994).

Esta cuenca ha venido siendo objeto de diferentes estudios y se cuenta con información variada a diferentes escalas. Sin ser el propósito el repetir o copiar la información de los diferentes estudios, se pretende introducir la forma de obtener parámetros caracterizantes de la cuenca, por medios automatizados y comparar los resultados con los obtenidos por procedimientos tradicionales, en unos casos, y en otros generar nueva información sobre la cuenca.

FIGURA 3.1

PROYECTOS HIDROELECTRICOS EN CUENCA RIO PACUARE



CARACTERISTICAS	P.H. PACUARE	P.H. SQUIRRRES
CUENCA	510 Km <sup>2</sup>	650 Km <sup>2</sup>
AREA CAPTACION		
PRESA	GRAVEDAD 133 m	NIXTA 180 m
TIPO		
ALTURA		
EMBALSE		
VOLUMEN UTIL	135 hm <sup>3</sup>	515 hm <sup>3</sup>
ESPEJO DE AGUA	48 km <sup>2</sup>	12.5 km <sup>2</sup>
NIVELES MAXIMO Y MINIMO NORMALES	530, 490 m s.n.m.	245, 190 m s.n.m.
CONDUCCION		
CAPACIDAD	70.8 m <sup>3</sup> /s	250 m <sup>3</sup> /s
LONGITUD	7.0 km	3.7 km
ALTERNATIVA B		920 m
ALTERNATIVA D		
CAIDA MAXIMA	270 m	204, 180 m
ALTERNATIVAS B Y D		
POTENCIA Y ENERGIA		
POTENCIA CUENCADES Y MVO	62 FRANCIS = 156.4 HV	(4 FRANCIS) = 412 HV
ENERGIA MEDIA ANUAL	709 GVh	1930 GVh
COSTO		
COSTO TOTAL	US\$ 260 X 10 <sup>6</sup>	US\$ 680 X 10 <sup>6</sup>
COSTO KV INSTALADO	US\$ 1681	US\$ 1660
COSTO KVH	US\$ 0.06	US\$ 0.049
PROGRAMACION		
NIVEL ACTUAL	Factibilidad	Factibilidad
FECHA ENTRADA OPERACION	Cerca del 2010	Cerca del 2005
UBICACION	REGION ATLANTICA	
SISTEMA HIDROGRAFICO	CUENCA RIO PACUARE	
PRECIPITACION ANUAL MEDIA	4021 mm	
ESCORRENTIA MEDIA ANUAL	3032 mm	

### 3.2 Base de datos digital

La información colectada se digitalizó, contándose con los siguientes archivos digitales, en las escalas indicadas:

#### i. Mapa vectoriales

##### (a) Fisiográficos

Nombre archivo	Descripción	Escala
CURVAS	Archivo de curvas de nivel	1:50000
REDH-P	Archivo con la red hidrográfica hasta Sitio de Presa	1:50000
CAUCE-P	Cauce principal R. Pacuare	1:50000
LIMITE	Límite de cuenca	1:50000

##### (b) Temáticos

Nombre archivo	Descripción	Escala
USOP	Uso potencial de la cuenca	1:200000, corregido parcialmente por escala 1:50000
USOA	Uso actual de la cuenca	1:200000, corregido parcialmente por escala 1:50000
GEOLO	Geología	1:200000
SUELOS	Suelos	1:200000
ISOY	Isoyetas de precipitación media	1:100000
ZONAS-V	Zonas de vida, según Holdridge	1:200000

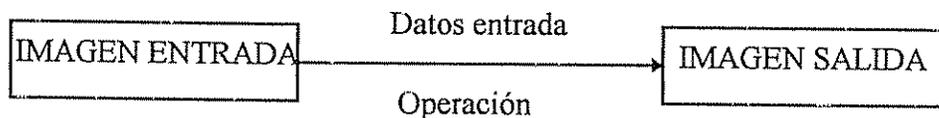
#### ii. Mapas "raster"

A partir de los mapas básicos digitalizados, se crearon los siguientes mapas "raster", con un tamaño de pixel de 120 x 120 mts.

Nombre	Descripción
ELEV120	Elevación Cuenca R. Pacuare
MED-P	Modelo de elevación digital filtrado de la Cuenca del R. Pacuare
D120-P	Modelo de elevación digital derivado de ELEV120
PEND%-P	Pendientes en porcentaje - Cuenca R. Pacuare
PEND-P	Pendientes en grados - Cuenca R. Pacuare
ASPECT-P	Dirección de la pendiente en azimuth - Cuenca R. Pacuare
USOA-P	Uso actual - Cuenca R. Pacuare
USOP-P	Uso potencial - Cuenca R. Pacuare
SUELOS-P	Clasificación de suelos - Cuenca R. Pacuare
ZVIDA-P	Zonas de vida según Holdridge - Cuenca R. Pacuare
REDH_P	Red hidrográfica - Cuenca R. Pacuare
ISOY-P	Isoyetas rasterizadas como líneas - Cuenca R. Pacuare
ISOYI-P	Isoyetas interpoladas - Cuenca R. Pacuare
DISTCP-P	Distancia del cauce principal - Cuenca R. Pacuare
LIMITE	Límite de la Cuenca del R. Pacuare

### 3.3 ESQUEMAS

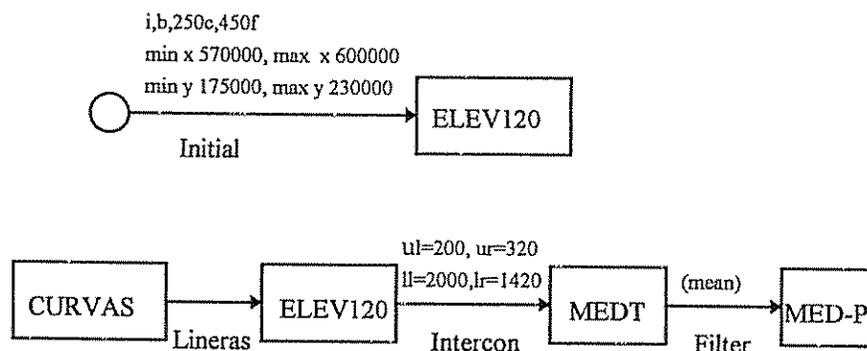
Al trabajar con programas como IDRISI se genera una gran cantidad de archivos. Si no se llevan anotaciones, el riesgo de confusión y de pérdida de datos es grande. De hecho se recomienda anotar cada acción previa al uso del módulo. Una buena práctica es el usar esquemas para planear la solución del problema, usando nombres nemotécnicos sugestivos, además, en la siguiente notación una letra seguida de un número se refiere a un archivo o mapa temporal o intermedio para obtener un mapa final.



### 3.4 GENERACION DE LOS MAPAS

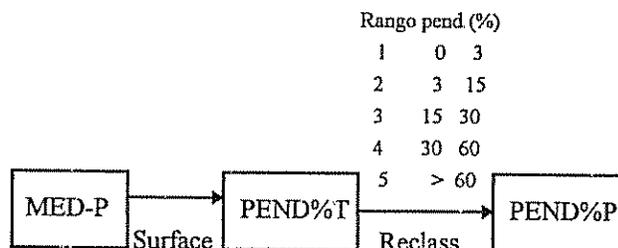
En esta sección se dan los esquemas que sirven para crear los mapas de pendientes que servirán para describir las características de la cuenca del Río Pacuare.

#### 3.4.1 Mapas de elevación y modelo de elevación digital.

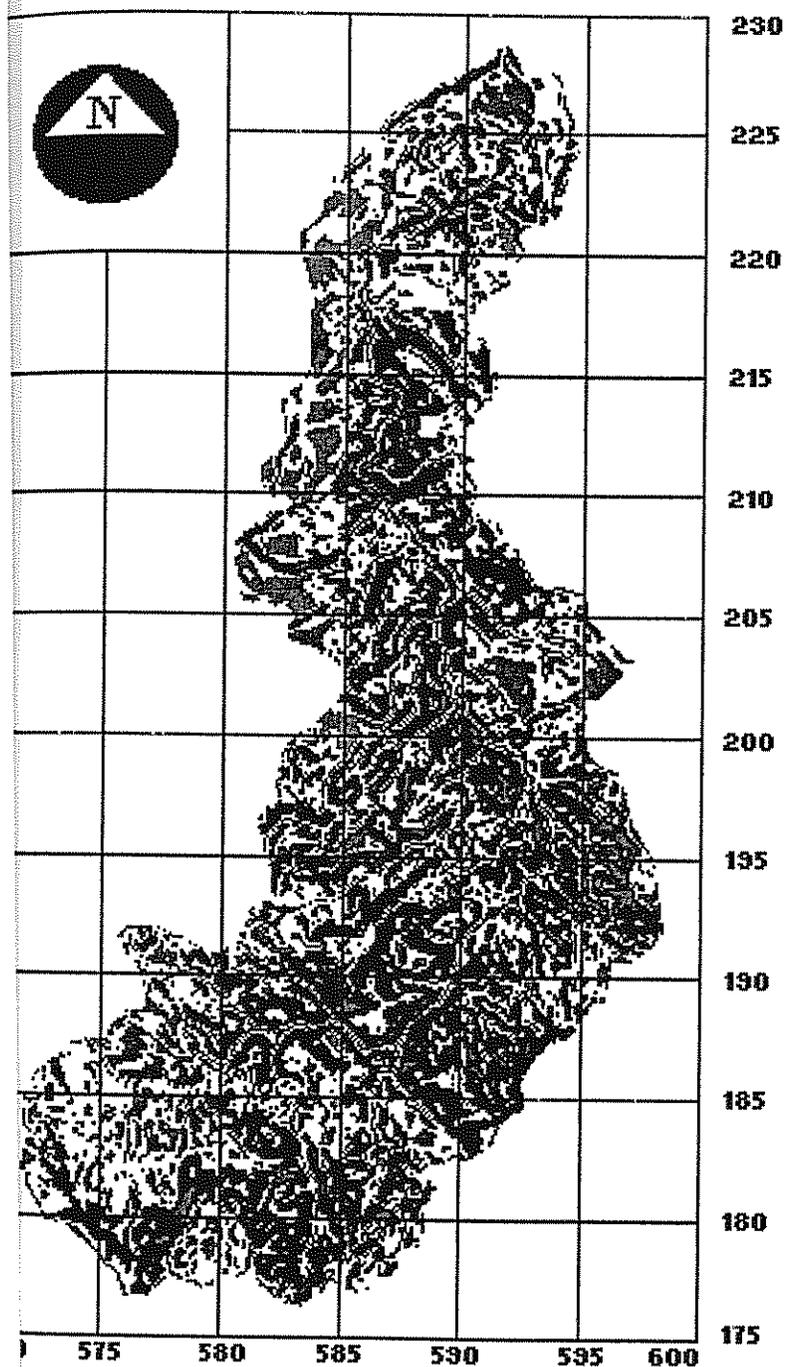


#### 3.4.2 Mapas de pendientes

A partir del modelo de elevación digital se obtiene el mapa de pendientes, que se reclasifica a las categoría mostradas en la figura N° 3.2. El procedimiento para su generación se resumen a continuación.



En forma similar se procede para obtener PENDP, esto es el mapa de pendientes en grados.



**FIGURA 3.2**  
**PENDIENTES - CUENCA RIO PACUARE**  
**HASTA DOS MONTAÑAS.**  
 (REALIZADO POR :ING. JAVIER SABORIO B)

COLOR	CATEGORIA (%)	AREA (Km <sup>2</sup> )
	0 - 3	4.2
	3 - 15	110.2
	15 - 30	271.2
	30 - 60	256.0
	> 60	10.8

Escala Gráfica :



### 3.5 Caracterización biofísica

En la descripción de cuenca, el área de estudio comprende la cuenca media y superior del Río Pacuare con una superficie de 652.4 Km<sup>2</sup> que se extiende desde el nacimiento del mismo, hasta 300 mts. aguas abajo del sitio Dos Montañas. En el estudio de sedimentación a nivel de cauce, el área estudiada comprende un corredor de 500 mts. a ambos lados del cauce principal, que va del sitio de Paso Marcos hasta el sitio de presa o Dos Montañas, con una longitud del cauce de 45 Km, y un área de 38 Km<sup>2</sup>.

### 3.6 Información fisiográfica

El contar con un modelo de elevación digital permite caracterizar rápidamente la cuenca desde un punto de vista fisiográfico.

Parámetro	Valor calculado	Valor de informe
Área	652.4 Km <sup>2</sup>	-
Longitud cauce	88,8 Km	88.5 Km
Perímetro	204.3 Km	-
Centroide	x = 586429.2, y = 198047.1	-
Elevación máxima cauce	2880 m.	3110 m.
Elevación mínima cauce	78 m.	75 m.
Elevación mínima cuenca	80 m.	75 m.
Elevación máxima cuenca	3220 m.	3175 m.
Elevación media	1177.7 m.	1175 m.
Pendiente media	27.9%	19.6%
Pendiente media cauce	3.2%	3.5%

Perfiles:

Intervalo de elevación m.s.n.m	Pendiente cauce calculado	Pendiente cauce reportado	Pendiente cuenca calculado <sup>1</sup>
75 - 800	1.02%	1.25%	24.6%
800 - 1800	3.72%	4.35%	29.1%
1800 - 2680	13.35%	13.97%	29.0%
2680-2880	83.47%	-	27.7%

<sup>1</sup>/ No se tiene valor reportado para estos rangos

### 3.7 Clima

Según la clasificación de Köepen, tabla N° 3.1, la cuenca del Río Pacuare (ICE, 1992) presenta 2 variedades de clima.

Tabla N° 3.1 Variedades de clima - Cuenca Río Pacuare

Símbolo	Descripción	Ubicación	Características
AFW	Tropical lluviosa	Parte baja y media de la cuenca.	Variaciones estacionales mínimas. Temperatura media mes más frío mayor a 18° C, lluvia del mes de menor precipitación es igual o mayor a 60 mm. La temporada de lluvia se divide en 2 períodos
Cfa	Templado húmedo	Parte alta.	No tiene definida una estación seca, en el mes de menos lluvia la precipitación es mayor a 30 mm. La temperatura media del mes más frío es inferior a 18 °C pero superior a -3° C. En el mes más caluroso se sobrepasan los 22 ° C.

### 3.8 Precipitación

Existen estudios que hacen análisis de la precipitación, tanto de su distribución temporal como espacial, entre otros, los presentados en (DEB- ICE, 1993), (DG-UCR, 1994) y (AB Hydroconsult, 1994).

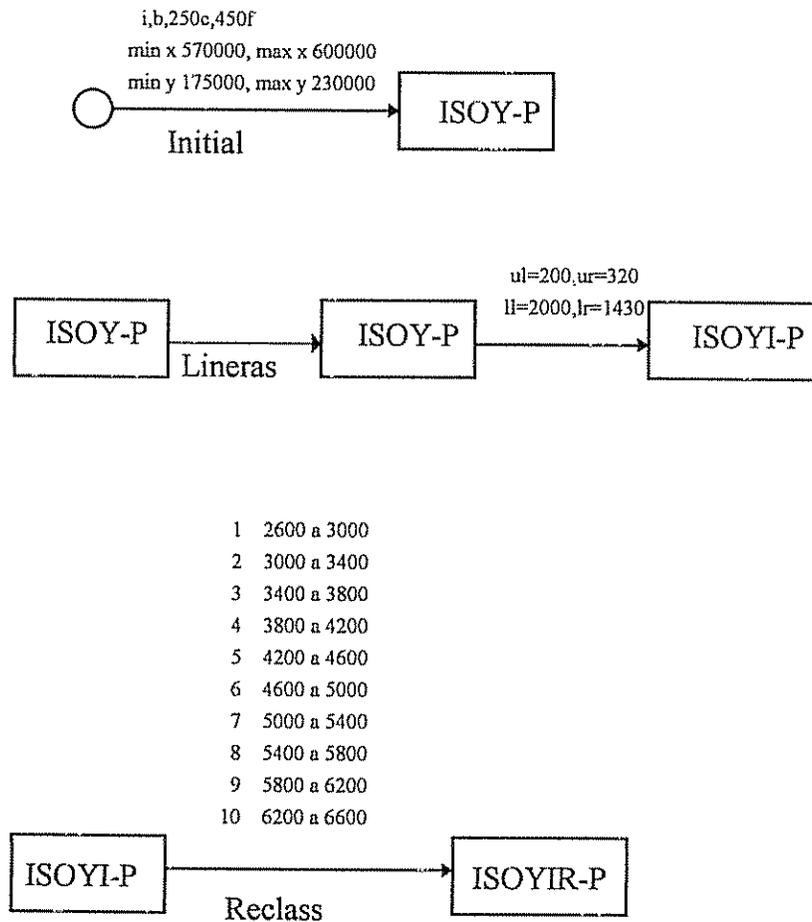
Temporalmente, se puede decir, que el máximo se presenta en el mes de octubre y corresponde a 660.3 mm, con un máximo secundario de 571.1 mm en junio y un mínimo de 139.8 mm. en el mes de marzo. En los meses de mayo a noviembre la precipitación se presenta a partir de las 13 horas, con máximos durante los meses de agosto, setiembre y octubre, a partir de las 16 horas. En los meses de diciembre y enero la precipitación se registra entre las 24 y 08 horas.

La variación espacial de la precipitación, ha sido reportada en diferentes estudios y se nota una clara diferencia propiciada por los registros tomados en cuenta y por las mejoras metodológicas que se han venido practicando, así el informe hidrológico del P.H. Siquirres (DEB-ICE, 1988) reporta un máximo de 6500 mm. en la región noreste de la cuenca, disminuyendo hacia las regiones sureste y centro este hasta un mínimo de 2500 mm., en tanto que el informe del P.H. Pacuare (DEB-ICE, 1993) reporta un máximo estimado de 8000 mm ubicado en la región sureste, con tendencia a disminuir hacia las partes más altas, hasta alcanzar un mínimo de 2800 mm., hacia el centro y en la región noreste se presenta un máximo secundario de 6400 mm.

Una estimación más reciente, en etapa de publicación muestra diferencias al último reporte, con máximos en 6400 mm. En este trabajo se utiliza esta última información, con el propósito de generar nueva información.

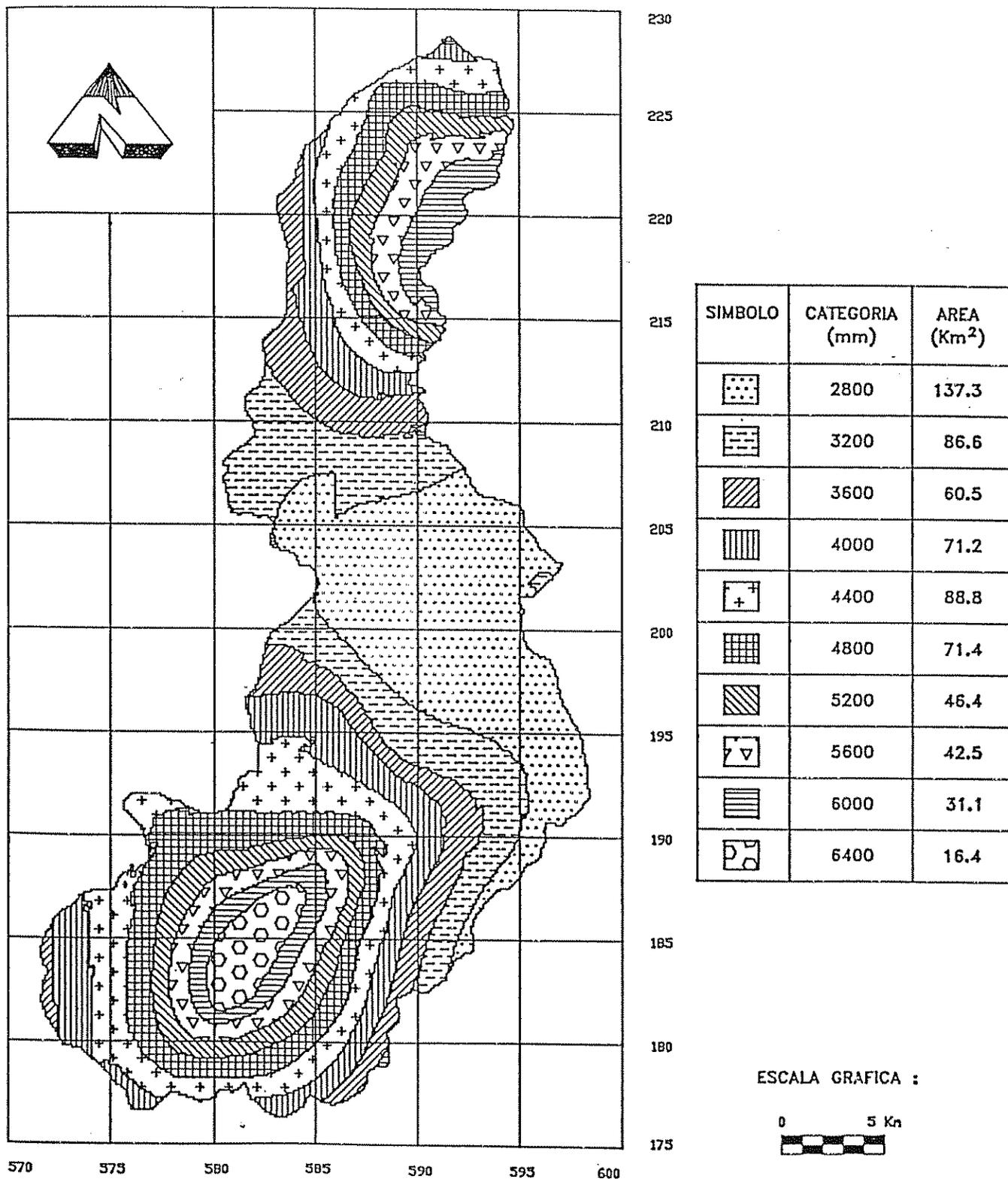
En un procedimiento similar a como se obtuvo el mapa o modelo de elevación digital de la cuenca, se puede generar una superficie continua en la que en lugar de elevación se utilice otra variable, en este caso la precipitación.

Así, se digitalizaron líneas de isoyetas trazadas por meteorólogos (Chacón R., 1994), realizándose el mapa mostrado en la figura N°3.2. El procedimiento se resume a continuación.



El mapa interpolado de isoyetas, convenientemente reclasificado, se incluye en la figura N° 3.3

FIGURA 3.3 ISOYETAS INTERPOLADAS CUENCA RIO PACUARE HASTA DÓS MONTANAS  
 (Fuente : Balance Hidrológico Costa Rica, en edición)  
 Período analizado 1968 -1992



### 3.9 Suelos.

Basándose en el mapa de Asociaciones de Suelos de Costa Rica, escala 1:200,000., tabla N° 3.2, la mayoría de los suelos en la Cuenca Media del Río Pacuare se incluyen entre la categoría de residuales, con desarrollo pedogenético in-situ, con órdenes predominantes: inceptisoles y ultisoles.

Tabla N° 3.2 Suelos dominantes Cuenca Río Pacuare (escala 1:200,000)

Orden	Categoría	Nomenclatura	Area (km <sup>2</sup> )
Inceptisoles	Tropaquept	It	54.3
Inceptisoles	Humitropept	Im	62.2
Ultisoles	Tropohumult	Ut	535.9

\*/Fuente: Asociaciones de suelos de Costa Rica, 1982

En el estudio de (Brenes G., y otros, 1994) también se señalan los suelos entisoles como predominantes: en las partes de mayor pendiente de la vertiente y en su parte baja dominan los suelos pertenecientes al orden ultisoles: Typic Tropohumult, orden entisoles: Typic Trophent, orden inceptisoles: Typic Humitropept y Audic Distrandept. Estos suelos están en estado de desarrollo intermedio sobre materiales del terciario como areniscas, lutitas, brechas verdes, etc., y sobre materiales volcánicos como conglomerados, flujos de lava y piroclastos.

Presentan un desarrollo incipiente de su perfil de suelo, con concentraciones bajas de materia orgánica. Hay sitios con características de andisoles (coloración negro-parda con presencia de materiales arcillosos). En las áreas de deposición reciente como terrazas aluviales o zonas de inundación periódica se tienen suelos de textura franca clasificados como Fluventic Humitropept (Brenes G, y otros, 1994).

### 3.10 Geología

Respecto a geología, se cuenta con información escala 1:200000 del Mapa Geológico de Costa Rica (1982), tabla N° 3.3, estudios más recientes (DG-ICE, 1990), (Brenes G. y otros, 1994), (CAURA, 1994), presentan más detalle. En (AB Hydroconsult, 1994) se da una explicación de los procesos que conllevaron a las formaciones geológicas.

TABLA N° 3.3 Geología en la Cuenca del Río Pacuare

Categoría	Area (Km <sup>2</sup> )	Descripción
Tva	19,7	Formación doan (conglomerados volcánicos de andesitas y basaltos)
Qal	47,4	Depósitos cuaternarios: esquistos y areniscas aluviales-conglomerados finos.
Tom	30,9	Material rocoso sedimentario del Oligoceno-Mioceno
Tmi	25,6	Intrusivos ácidos (granodioritas y granitos)
To	101,9	Rocas sedimentarias del Oligoceno
Tp	5,9	Rocas sedimentarias del Plioceno
Tep	420,0	Rocas sedimentarias del Paleoceno

\*/ Fuente Mapa Geológico de Costa Ricas, 1984.

La geología descrita se une a un fuerte tectonismo, con asociación de eventos volcánicos de origen fisural. El patrón de fallamiento se presenta en un sentido noreste sureste asociado a l comportamiento general del país y de noroeste a suroeste, en respuesta al patrón de levantamiento del territorio debido a la interacción de las placas Cocos y Caribe.

Estas condiciones hacen que la topografía sea irregular, con pendientes elevadas predominantes mayores a 45%, y de acuerdo a condiciones de cobertura e infiltración se presenten deslizamientos en la mayor parte del área y en particular en las partes bajas de la cuenca del Río Pacuare (Cerdas, 1991).

## **4. Materiales y métodos**

### **4.1 Materiales**

#### **Cartográficos**

- Hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:50000
- Fotogrametría 1:5000
- Mapas temáticos de geomorfología, suelos, cobertura, etc., en escalas 1:200000 y 1:50000
- Secciones transversales a escalas 1:1000

#### **Inventario hidrogeomorfológico (DG, 1994)**

- Formaciones superficiales
- Uso de la tierra
- Características del cauce
- Texturas
- Curvas granulométricas

Nota: El inventario hidrogeomorfológico del cauce del R. Pacuare, produjo información de muestreos y de análisis de laboratorio, esta consultoría proveyó información valiosa para este trabajo y tuvo un costo de 1 millón de colones al año 1994. Igualmente la investigación llevada a cabo por AB Hydroconsult (1995), produjo información necesaria y valiosa para este estudio a un costo mayor.

#### **Instrumentos y equipos**

- Microcomputador AT 486/66
- Mesa digitalizadora
- Scanner
- Impresora de inyección de tinta

#### **Programas**

- HEC6 (versión a setiembre 1993)
- IDRISI, versión 4.1 para DOS
- AUTOCAD, versión 12.
- Procesador de texto: MS WORD 6.0 para Windows
- Hoja electrónica: EXCEL 5.0 para Windows
- Graficador: Harvard Graphics, versión 2.3

#### **Trabajo de campo**

- Vehículo doble tracción
- Altimetro
- Sistema de posicionamiento de terreno "GPS" manual
- Binóculos
- Cámara fotográfica

## 4.2 Metodología

El estudiar la dinámica de los sedimentos en el cauce principal en una cuenca hidrográfica, obliga por lo general a dos escalas de análisis en el estudio: nivel de cuenca hidrográfica y nivel de cauce.

El nivel de cuenca hidrográfica comprende una descripción de la hoya, donde la información generada tiene por objeto el tener un mayor conocimiento de las variables ambientales que inciden en la producción general de los sedimentos; información útil al planificar proyectos hidroeléctricos.

Este estudio se llevó a cabo en paralelo con un estudio de investigación de los procesos de sedimentación y erosión en la cuenca del R. Pacuare realizado por AB Hydroconsult, para el ICE, durante 1993 a 1995, (AB Hydroconsult, 1995).

Como consecuencia de esto, se aplicaron metodologías basadas en los planteamientos de zonas de vida de Holdridge para producir mapas climáticos, así como la ecuación universal de pérdida de suelos para obtener datos de erosión potencial laminar en la cuenca, útil para comparar con el estudio citado.

En el nivel de cauce, interesa centrar la atención en los procesos de erosión - deposición en el cauce, para esto hay que preparar información en detalle: geometría, hidrológica y de sedimentos para realizar la calibración y posterior modelación con el programa HEC6 .

La información de entrada a este tipo de modelos por lo general no existe y resulta difícil de obtenerla, en particular la obtención de las secciones transversales con medición topográfica de campo y los muestreos y análisis de los sedimentos en un periodo de tiempo y espacio representativos resultan ser costosos. Afortunadamente, cuando se cuenta con proyectos hidroeléctricos en estudio, llevados a nivel de factibilidad, se han realizado diversos estudios que se pueden utilizar para producir la información de entrada al modelo.

En ambos enfoques se digitalizó la información básica y se utilizó el programa IDRISI, como herramienta para producir información a partir de los datos básicos.

## 4.3 Enfoque de cuenca

A partir de los mapas digitales básicos, se han programado los modelos empleados con el programa IDRISI. La programación permitida por este programa resulta ser una herramienta valiosa en modelamiento espacial de fórmulas o modelos matemáticos, permitiendo realizar las aplicaciones en forma automática, mejorando la eficiencia en cuanto a tiempo y eliminación de errores manuales.

#### 4.4 Mapas climáticos

La ecuación del balance hídrico de una cuenca, se expresa generalmente con la fórmula:

$$ESC = PPT - EVTR + (S1 - S2) \quad (4.1)$$

donde:

ESC : volumen de esorrentía en el período  
 PPT : precipitación media  
 EVTR : evapotranspiración real  
 (S1-S2) : cambio en el volumen de almacenamiento

Cuando el período de tiempo es suficientemente largo, como para que los términos sean representativos de las condiciones promedio entonces (S1 - S2) tiende a cero y la ecuación se reduce a:

$$ESC = PPT - EVTR \quad (4.2)$$

Holdridge (1978), propone el uso de un nomograma para calcular el balance hídrico, a partir de la precipitación promedio (PPT) en la cuenca, y de la biotemperatura ( $t_b$ ), definida como la temperatura media anual y calculada de manera que todos los valores horarios de temperatura por debajo de 0 °C o mayores de 30 °C se consideran como cero.

La fórmula de Holdridge para calcular la evapotranspiración potencial indica,

$$EVTP = 58.93 t_b \quad (4.3)$$

donde:

EVTP : evapotranspiración potencial en mm.  
 $t_b$  : biotemperatura media anual  
 58.93 : constante de EVTP para  $t_b = 1^\circ C$

Los diagramas de Holdridge de zonas de vida, figura N° 4.1 y de movimiento del agua en asociaciones climáticas, figura N° 4.2, se relacionan para definir los ámbitos de zonas de vida como para estimar el balance hídrico. En la figura N° 4.1, se introduce el término Relación de Evapotranspiración Potencial (RE), que se expresa como:

$$RE = EVTP / PPT \quad (4.4)$$

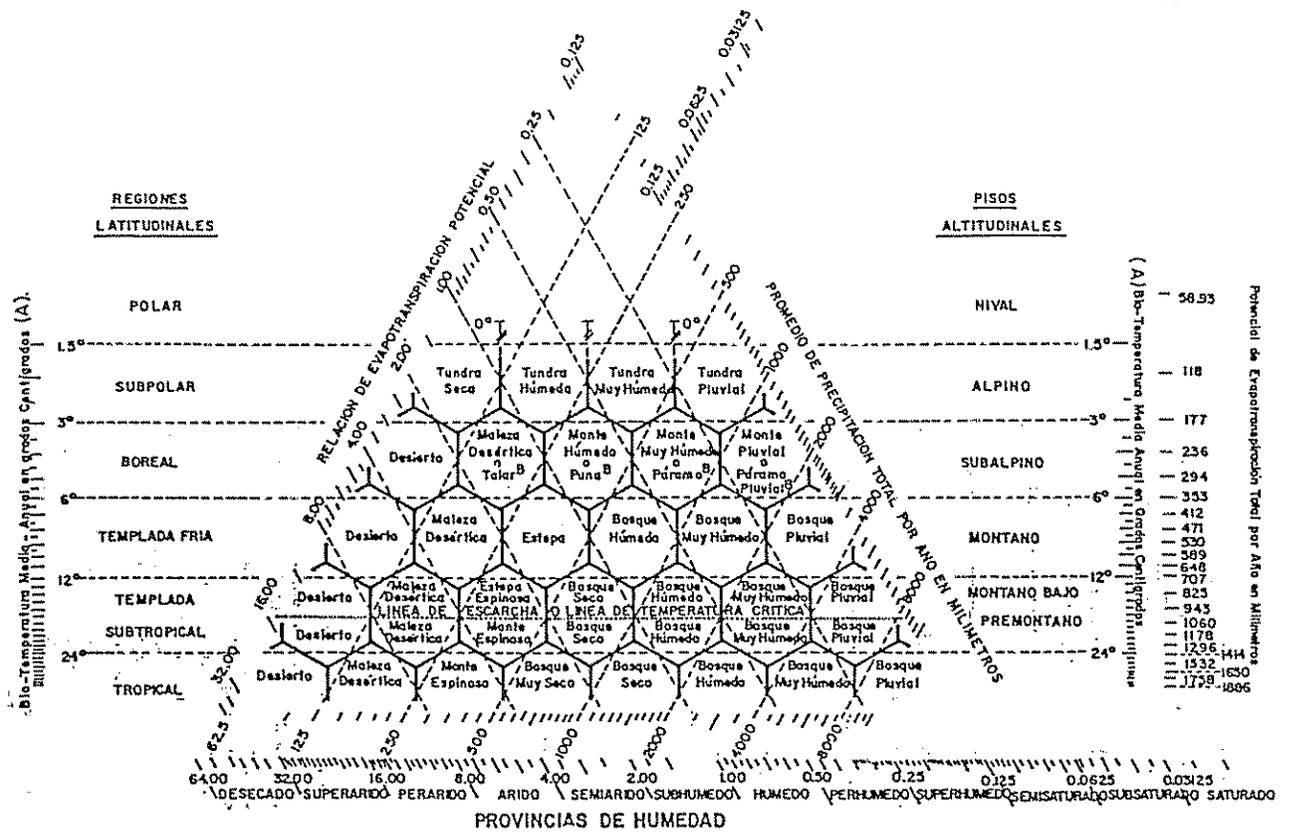


Figura 4.1 Diagrama de zonas de vida, tomado de Holdridge, 1987.

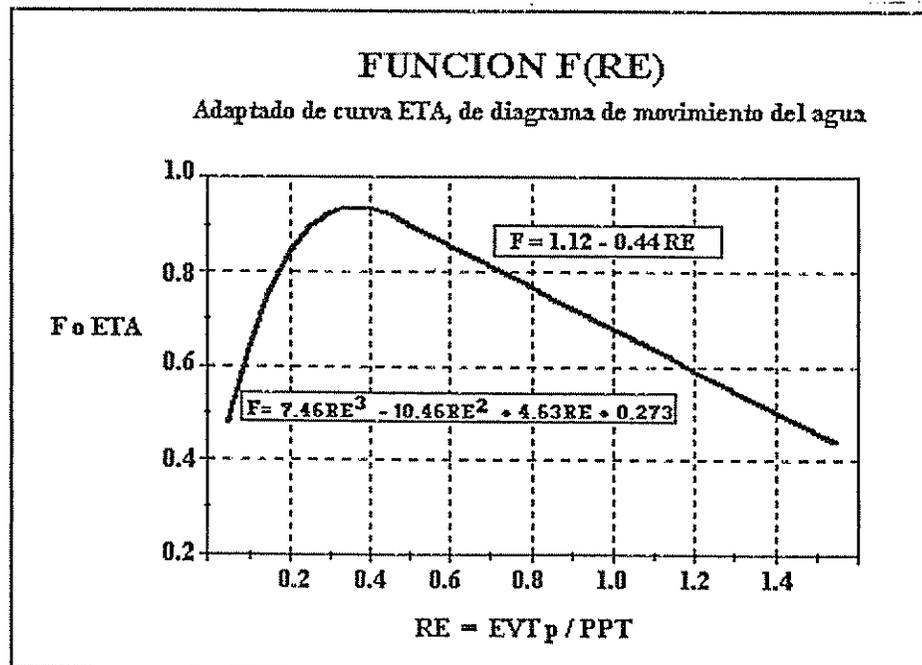


Figura 4.2 Movimiento del agua en asociaciones climáticas, tomado de Holdridge, 1987.

Este término se usa para calcular la EVTR, entrando en la curva de la figura 4.2, rotulada por ETA, que representa una relación denominada función de evapotranspiración que es función de RE.

$$F = EVTR / EVTP \quad (4.5)$$

En estudios de Rodríguez A. y Saborío J. (1983), y para las condiciones climáticas de Costa Rica, se estimó que F es aproximadamente una línea recta entre los valores de  $0,45 < RE < 1.50$ , con ecuación:

$$F = 1,12 - 0,44 RE \quad (4.6)$$

En el intervalo  $0,0625 < RE < 0,45$ , F se ajusta a un polinomio de tercer orden:

$$F = 7,46 RE^3 - 10,46 RE^2 + 4,63 RE + 0,273 \quad (4.7)$$

Sustituyendo ecuaciones, el balance se puede expresar como:

$$ESC = PPT - 58,93 * t_b * F \quad (4.8)$$

De un análisis de 25 estaciones diseminadas en el país y a diferentes elevaciones, Rodríguez A. (1982), obtuvo una fórmula para obtener la temperatura en función de la precipitación y la elevación:

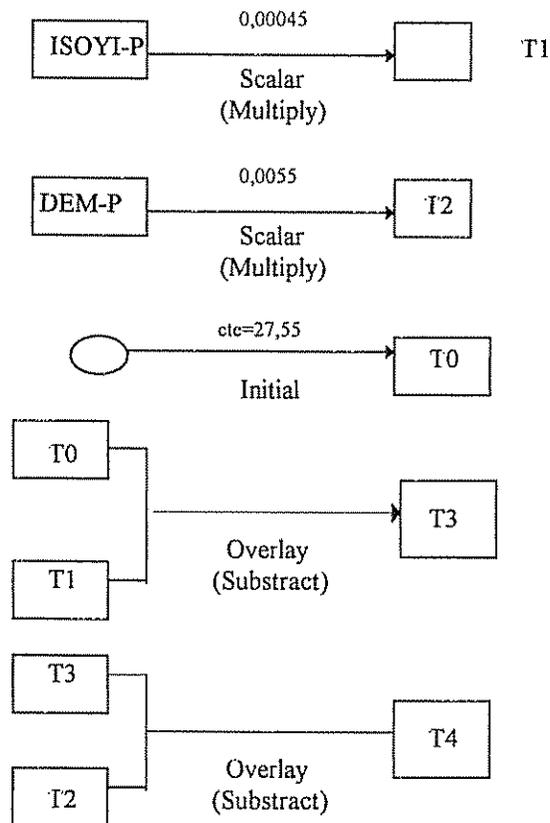
$$T = 27,55 - 0,00045 PPT - 0,0055 ELEV \quad (4.9)$$

La temperatura ambiental T es igual o muy parecida a la biotemperatura  $t_b$ , excepto en las áreas costeras o bajas, donde es conveniente disminuir el valor de  $t_b$  en  $2^\circ C$  para lugares cuya elevación es inferior a 500 m.s.n.m., cuando se calcule por la fórmula anterior.

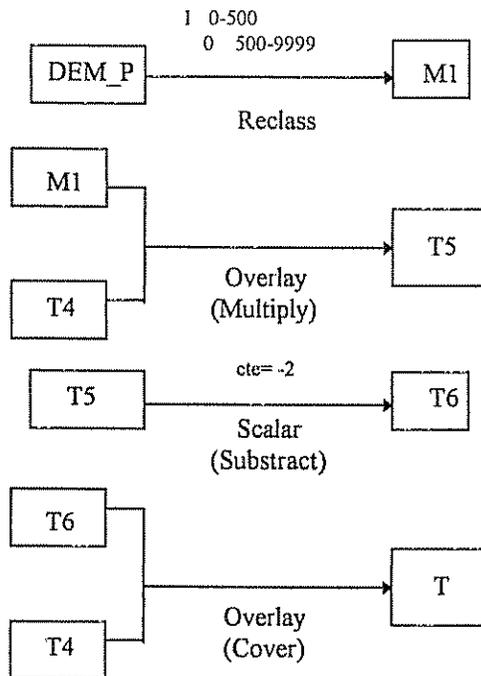
Se observa que las formulaciones anteriores permiten obtener los mapas de temperatura ambiental, así como evapotranspiración real y potencial y el escurrimiento promedio teóricos de una cuenca, esto es para una cuenca sin intervención.

Los siguientes esquemas muestran la obtención de estos mapas.

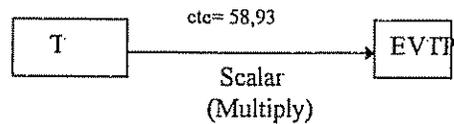
#### 4.4.1 Mapa de temperatura ambiental



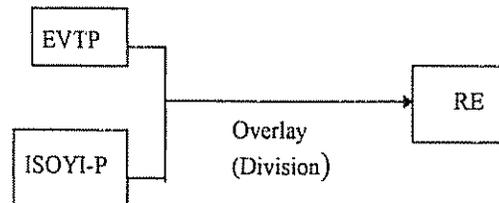
Corrección para valores menores a 500 m.s.n.m.



#### 4.4.2 Mapa de evapotranspiración potencial

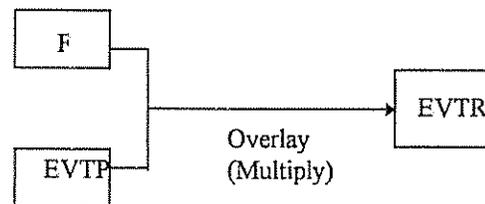


#### 4.4.3 Mapa de la relación de evapotranspiración (RE)



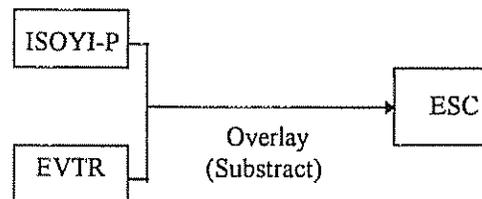
#### 4.4.4 Mapa de la evapotranspiración real (EVTR)

Se requieren máscaras booleanas para los intervalos  $0,45 < RE < 1,50$  y  $0,0625 < RE < 0,45$ . Esto se logra con el comando RECLASS, luego se aplican las fórmulas, con los comandos OVERLAY y SCALAR, obteniéndose para cada intervalo F1 y F2. Finalmente esto se integran en el mapa F.



#### 4.4.5 Cálculo del escurrimiento

Por el balance hídrico se puede calcular el escurrimiento promedio.



A partir de este mapa se estima un escurrimiento promedio de 3129.1 mm ( $99.2 \text{ l/s/Km}^2$ ), que traducido a caudal promedio anual resulta en  $64.7 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , que difiere del medido  $59.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$  en +8.2%

#### 4.4.6 Zonas de vida.

Esta metodología permitiría redefinir de una forma rápida y más precisa los mapas de zonas de vida del país, los cuales sufrirán cambios conforme se mejoren las estimaciones tanto de elevaciones como de precipitación en el área de estudio, así, del nomograma de Holdridge y para los rangos de la cuenca del Río Pacuare, la tabla N° 4.1 muestra las siguientes condiciones.

Tabla N° 4.1 Rangos de zonas de vida en la cuenca del Río Pacuare

Precipitación (mm.)	Relación (RE)	Temperatura (°C)	Zona de vida
2200 - 4500	0.062 - 0.250	6.0 - 12.0	bp - M
3600 - 8000	0.062 - 0.250	12.0 - 17.0	bp - MB
4000 - 7000	0.062 - 0.250	17.0 - 24.0	bp - P
1850 - 4000	0.250 - 0.500	12.0 - 17.0	bmh - MB
2000 - 4000	0.250 - 0.500	17.0 - 24.0	bmh - P
4000 - 6000	0.250 - 0.500	24.0 - 27.0	bmh - T
1950 - 3000	0.500 - 0.750	21.5 - 24.0	bh - T1
4000 - 6000	0.250 - 0.375	17.0 - 24.0	bmh - P1
4000 - 5500	0.250 - 0.375	21.5 - 24.0	bmh - T1
3000 - 4000	0.375 - 0.500	24.0 - 27.0	bmh - P2
3300 - 6500	0.100 - 0.250	9.0 - 14.0	bp - M1

La notación indica las siguientes Zonas de Vida:

bp - M	bosque pluvial - Montano
bp - MB	bosque pluvial - Montano Bajo
bp - P	bosque pluvial - Premontano
bmh - MB	bosque muy húmedo - Montano Bajo
bmh - P	bosque muy húmedo - Premontano
bmh - T	bosque muy húmedo - Tropical
bh - T1	bosque húmedo - Tropical transición a Premontano
bmh - T1	bosque muy húmedo - Tropical transición a Premontano
bmh - P1	bosque muy húmedo - Premontano transición a Pluvial
bmh - P2	bosque muy húmedo - Premontano transición a Basal
bp - M1	bosque pluvial - Montano transición Montano Bajo

#### 4.5 Mapa de erosión potencial para la cuenca del Río Pacuare.

Con el propósito de caracterizar la cuenca y tener una mejor idea de los procesos de erosión, que se dan en la misma, se aplica la ecuación de pérdida universal de suelos (USLE), que en forma resumida se puede expresar como la fórmula de Wischmeier y Smith (1978):

$$A = R K L S C P \quad (4.10)$$

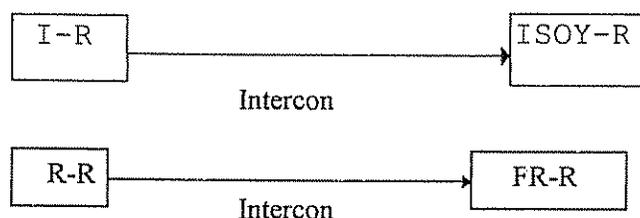
donde:

- A= pérdida de suelo calculada por unidad de superficie, expresada en unidades seleccionadas para K y para el período seleccionado para R. Para nuestro caso A se expresa en TON/(Ha x Año)
- R= factor de erosividad (t-m / ha cm / h): es el número de unidades del índice de erosividad de la lluvia (unidades EI), más un factor por escorrentía para los casos en donde la escorrentía es significativa.
- K= factor de la erodabilidad del suelo (t/ha / (t-m / ha cm / h): es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice para un suelo específico, tal como se mide en una parcela estándar, que es definida como de longitud 22.13 mts, con pendiente uniforme de 9% y bajo barbecho continuo.
- L= factor de longitud de pendiente (adimens.): es la relación entre la pérdida de suelo desde la longitud de la pendiente del campo y la de una pendiente con 22.13 mts de longitud bajo condiciones similares.
- S= factor de gradiente de pendiente (adimens.): es la relación entre la pérdida del suelo desde el gradiente de la pendiente en el campo y la pérdida desde una pendiente con 9% de gradiente con todas las otras condiciones similares.
- C= factor de manejo y cobertura: (adimens.) es la relación entre la pérdida de suelo desde una área con cierta cobertura y manejo específico y la pérdida desde una área exactamente igual pero bajo barbecho continuo.
- P= factor del método de control de erosión (adimens.): es la relación entre la pérdida de suelo con prácticas de control de erosión como la siembra en contorno, en fajas o el terraceo y la pérdida que ocurriría con las labores y siembra a favor de la pendiente.

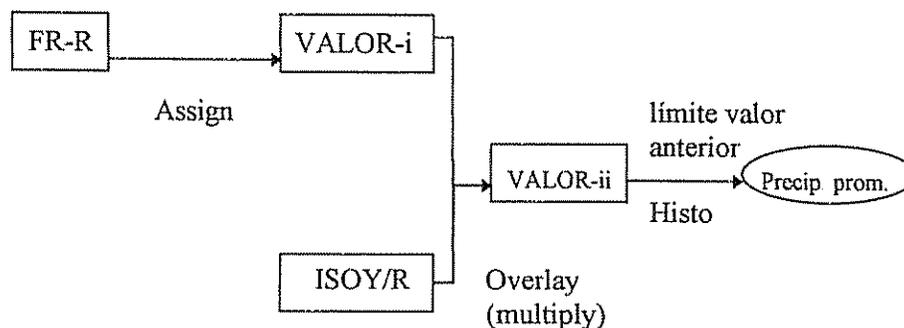
\*barbecho: tierra de labranza en período de reposo, imprescindible para poder continuar con siembras extensivas, especialmente de cereales.

##### 4.5.1 Mapa de erosividad para la cuenca del Río Pacuare

Del estudio sobre erosión en la cuenca del Río Reventazón (Saborío, 1991), vecina a la cuenca del Río Pacuare, se cuenta con información de isoyetas de precipitación en mm. y de isolíneas de erosividad, también llamado factor R, en unidades EI. Se procedió a la interpolación de las isoyetas y de las isolíneas, para obtener una distribución espacial de los datos, así se obtuvieron los mapas ISOY-R (isoyetas interpoladas para la cuenca del Río Reventazón) y FR-R (factor R interpolado para la cuenca del Río Reventazón).



Para cada valor de categoría del factor R, variando de 300 a 1000, se separó el área correspondiente y se obtuvieron los valores correspondientes a la precipitación promedio.



Con el procedimiento anterior se obtuvieron los valores mostrados en la tabla N° 4.2.

Tabla N° 4.2 Valores del factor R y de precipitación para la C. R. Reventazón

FR-R (EI)	Precip.prom.(mm.)
300	1934.6
400	2478.6
500	3665.1
600	4532.6
700	5633.2
900	6113.8
1000	6195.1

Aplicando el módulo REGRESS a los valores en la tabla N° 4.2, se obtuvo un ajuste lineal entre el factor R (FR) y la precipitación promedio (P), dado por la ecuación:

$$FR = 0.1421229 * P + 8.36725 \quad (4.11)$$

$$r = 0.9609$$

$$r^2 = 92.32\%$$

Para 1500 mm.  $\leq$  P  $\leq$  6500 mm.

El módulo REGRESS de IDRISI permite correlacionar los valores de dos mapas, de esta forma se puede repetir el análisis de regresión usando los mapas de isoyetas (ISOY-R) y de factor R (FR-R). La nueva ecuación de ajuste viene dada por:

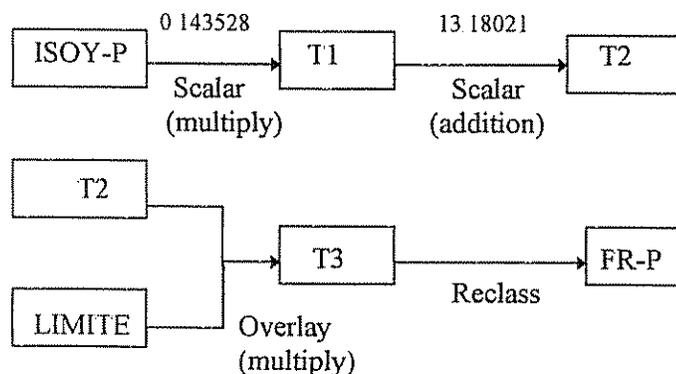
$$FR = 0.143528 * P + 13.18021 \quad (4.12)$$

$$r = 0.9747$$

$$r^2 = 95.05\%$$

Para 1500 mm.  $\leq$  P  $\leq$  6500 mm.

La ecuación (4.12) se utiliza para determinar el mapa de factor R para la cuenca del Río Pacuare. El procedimiento se describe a continuación:



#### 4.5.2 Mapa del factor LS.

Generalmente para el cálculo del factor S no se tiene problema para el cálculo, sin embargo, la consideración del factor L, resulta difícil de valorar, por medios tradicionales, sobre todo cuando el área de análisis cubre cierta área (mayor a 200 Km<sup>2</sup>).

El contar con un modelo de elevación del terreno, facilita este cálculo, por lo que se pueden aplicar las formulaciones originales (Wischmeier y Smith, 1965), para una parcela estándar de 22.13 mts y una pendiente de parcela estándar de 9%, que definen las ecuaciones:

$$L = (x / 22.13)^m \quad (4.13)$$

donde:

- L : factor de longitud de la pendiente
- x : longitud de la pendiente, en metros
- m : un exponente que varía en función de la pendiente, así:
  - m=0.5 si la pendiente ≥ 5%
  - m=0.4 si la pendiente < 5% y > 3%
  - m=0.3 si la pendiente ≤ 3% y ≥ 1%
  - m=0.2 si la pendiente < 1%

$$S = (0.43 + 0.30 s + 0.043 s^2) / 6.613 \quad (4.14)$$

donde:

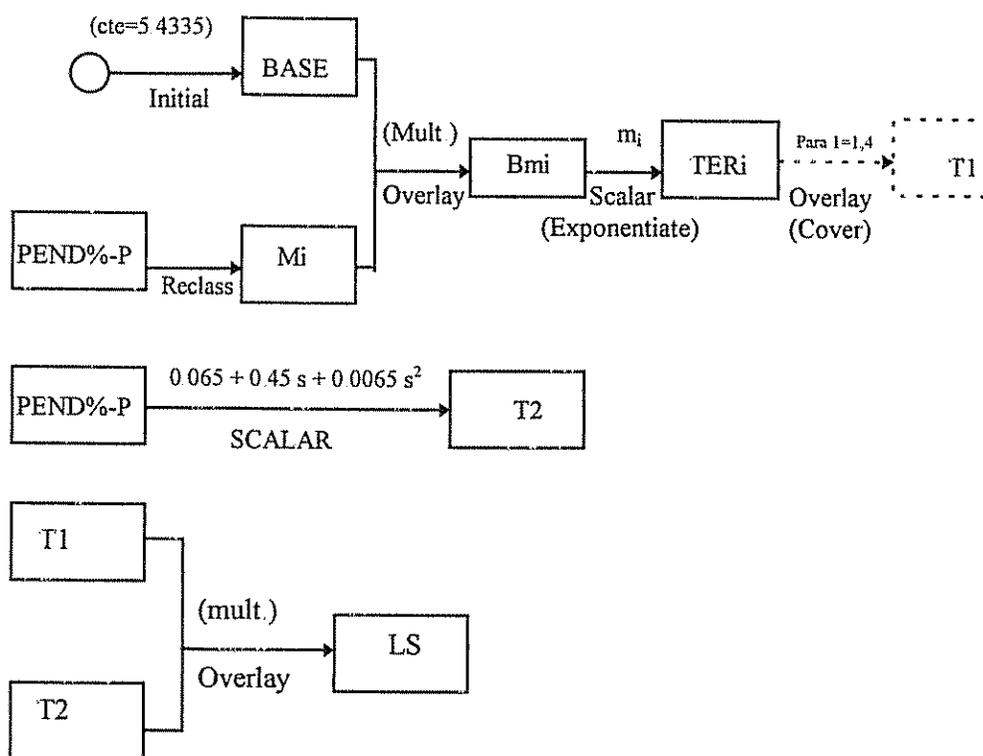
- S = factor de gradiente de pendiente
- s = gradiente en porcentaje

Para el caso del modelo de elevación de la Cuenca del Río Pacuare, se puede aproximar  $x \approx 120$  (tamaño del pixel), por lo que el factor LS se puede calcular como:

$$LS = 5.4225^m (0.065 + 0.45 s + 0.0065 s^2) \quad (4.15)$$

La ecuación 4.15 se utilizó para el obtener el mapa de factor LS. Para lograr este mapa se utiliza el módulo RECLASS, creando máscaras booleanas para contabilizar la variación de "m"., y el módulo SCALAR para las operaciones matemáticas sobre el mapa de pendientes en porcentaje.

El procedimiento se repite para cada valor de  $m_i$  ( $i=1,4$ )



### 4.5.3 Mapa de erosión potencial

No se tiene información en escalas 1:50000 o 1:100000 acerca del uso y manejo de la tierra (factor C), y de los suelos (factor K), se cuenta con información en escala 1:200000, corregida parcialmente por información 1:50000. Se cuenta con buena información de estos factores, en un corredor de 1 km (500 mts. a ambas márgenes del cauce principal), como se describe en el análisis a nivel de cauce.

Tomando en cuenta estas limitantes, se realizó el modelamiento espacial de la ecuación de pérdida de suelos, con los resultados presentados en el capítulo 5.

## **4.6 Enfoque de cauce**

La atención se centra en el modelamiento del cauce principal, para esto hay que recolectar información que permita la simulación del sistema con el programa HEC-6

### **4.6.1 Información limitada al área de modelamiento**

El inventario Hidrogeomorfológico del Río Pacuare (DG,1994), produjo información básica para ser utilizada en el modelamiento a lo largo del cauce principal del río. En particular se presentan 38 transectos de 1 km. de longitud cada uno, desde el sitio conocido como Bajo Pacuare hasta el sitio Dos Montañas, en un corredor aproximado de 1 km. de ancho. Para cada uno de estos transectos se cuenta con información de uso de la tierra, formaciones superficiales, muestreos en las márgenes y el fondo, y fotografías de los transectos.

Sin embargo, la información se presentó dibujada y en forma separada. Se procedió a la digitalización de cada transecto, y a su posterior unión, para producir dos mapas digitales con información del corredor, que incluyen el uso del suelo y las formaciones superficiales, figuras N° 4.3 y N° 4.4. Esto hace que la información sea fácilmente manejable, permitiendo ubicación rápida sobre la misma y una mejor integración para su análisis.

Utilizando el modelo de elevación digital se pueden construir en forma automática las curvas distancia-elevación e hipsométrica a partir del origen del cauce hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres, figuras N° 4.5 y N° 4.6.

Estas curvas ponen de manifiesto las altas pendientes que predominan en el cauce, corroboradas con un análisis visual de las fotografías y con anotaciones en recorridos de campo. En general se tienen pendientes altas, con taludes bien establecidos, siendo la excepción los deslizamientos provocados por fallas o alteraciones sísmicas debido a las características tectónicas del área, que no son consideradas en este estudio.

### **4.6.2 Datos de entrada del modelo**

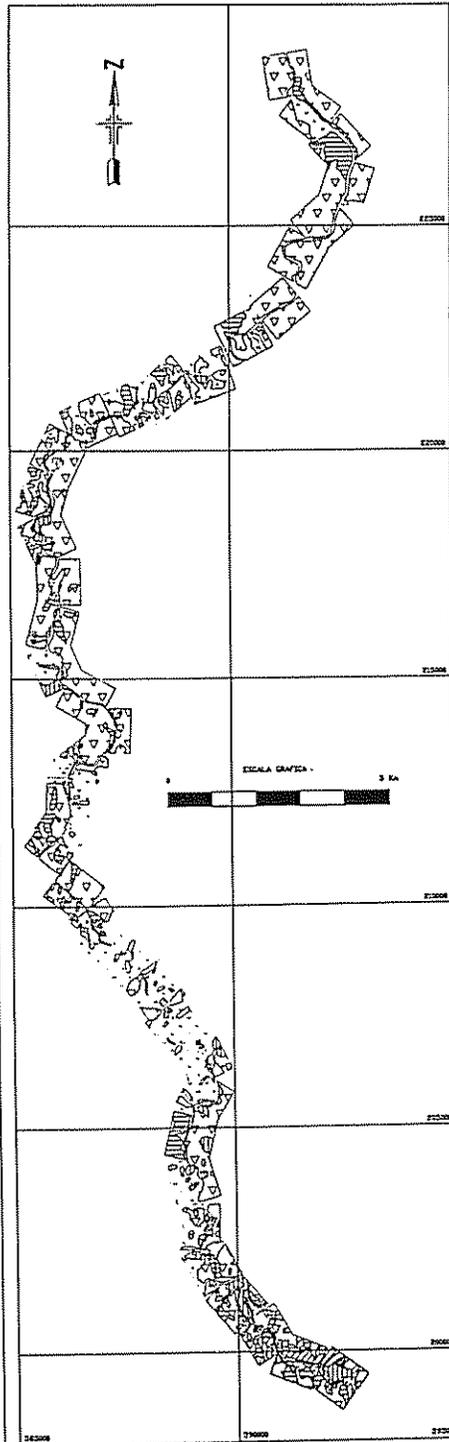
En cuanto a los requerimientos generales de datos para el programa HEC6, se deben distinguir 2 categorías generales de datos:

- a. Información del comportamiento del prototipo, utilizados en la etapa de calibración.
- b. Información para operar el modelo, etapa de entrada o ejecución.

Los datos de entrada del programa HEC6 se agrupan en categorías de geometría, sedimentos, hidrología, y comandos especiales. La descripción de los registros de entrada se da en el manual de usuario (USACE,1993). Aquí sólo se incluyen comentarios acerca de los registros de entrada, que corresponden a los usados en esta modelación y la forma en que los datos se manipularon para proveer la información necesaria para el modelo. Se indica el identificador de cada registro, que se puede seguir en la entrada de datos presentada en el anexo 2.

FIGURA 4.3  
 USO DEL SUELO - CAUCE PRINCIPAL R. PACUARE  
 (CORREDOR DE 1 Km)

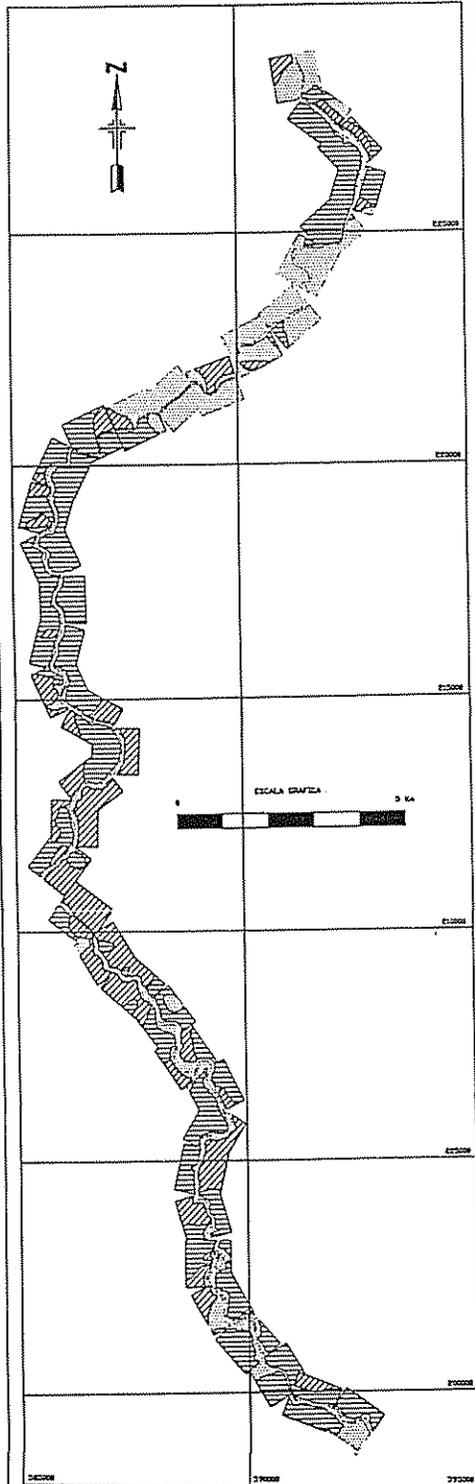
FUENTE: ESTUDIO DEMOGRAFICO-URBANO CAUCE R. PACUARE, AGE - 1994



SIMBOLOGIA :	CATEGORIA	AREA (Km <sup>2</sup> )
	BOSQUE	19.31
	SABAL	2.34
	PASTOS	4.75
	CHARREAL	1.36
	CAFE	6.81
	CASA DE ADUANA	6.89
	OTROS USOS	2.81

FIGURA 4.4  
 FORMACIONES SUPERFICIALES - CAUCE PRINCIPAL R. PACUARE  
 (CORREDDR DE 1 Km)

FUENTE: ESTUDIO HIDROGEOMORFOLÓGICO CAUCE R. PACUARE, VCH - 1984



SIMBOLOGIA	CATEGORIA	AREA (Km <sup>2</sup> )
	ARENAS	8,77
	ARCILLAS	6,24
	LIMOS	16,09

Figura 4.5 Curva distancia - elevación a partir de la naciente hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres

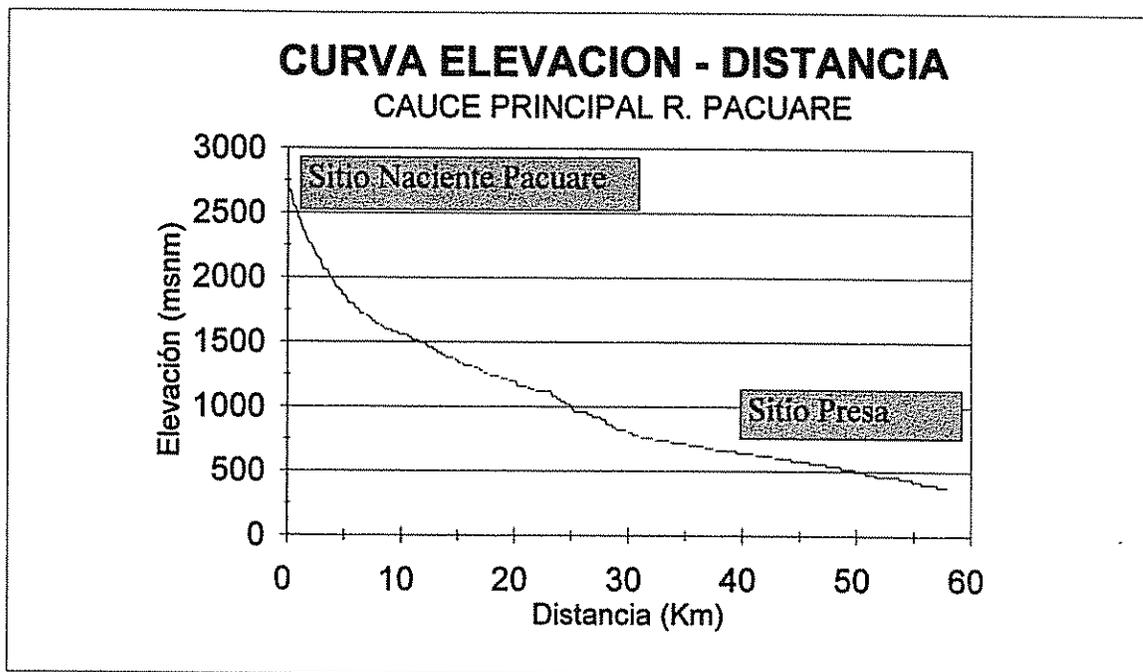
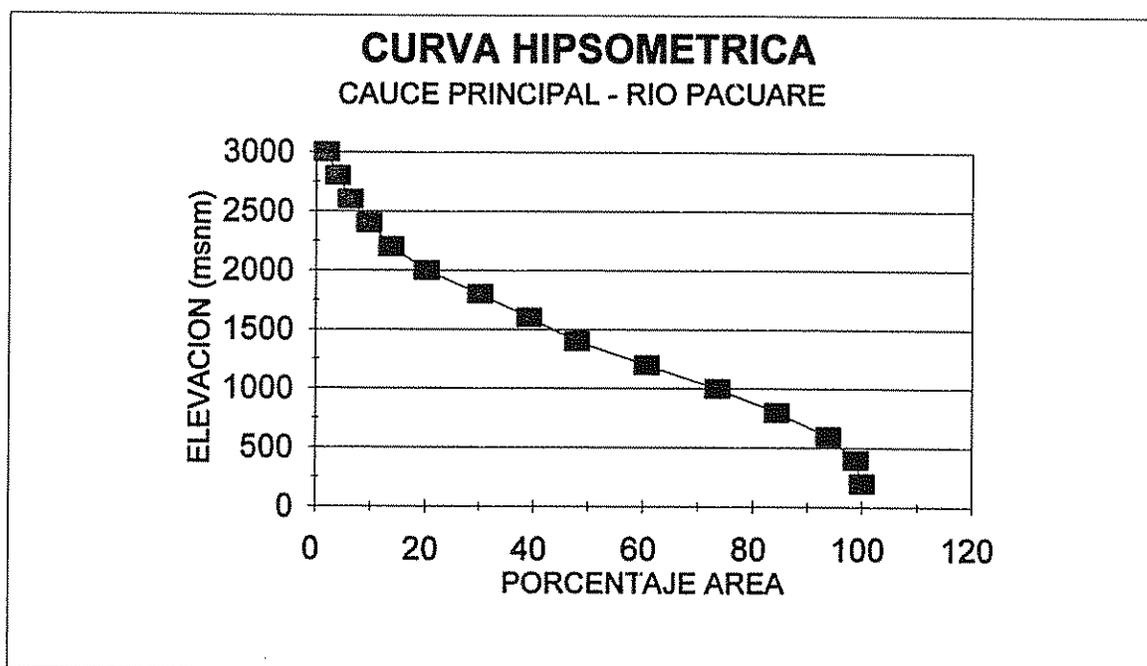


Figura 4.6 Curva hipsométrica a partir de la naciente hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres



#### 4.7 Datos geométricos.

El programa HEC6 calcula las elevaciones de la superficie del agua y de la superficie del lecho, y su cambio en el tiempo. Con el paso del tiempo, las secciones se agrandan o degradan en respuesta a la teoría del lecho móvil, sin cambiar de localización.

Los datos geométricos incluyen las secciones transversales, longitudes de alcance, y los valores de "n". Además, la porción móvil del lecho de cada sección transversal y la profundidad del material sedimentable en el modelo de lecho son definidas.

##### 4.7.1 Secciones transversales.

Las secciones transversales se especifican para las condiciones iniciales. Los cálculos son hechos directamente de los puntos de coordenadas (estaciones, elevaciones). Los registros GR son usados como las entradas de los pares de coordenadas (elevación, estación), en la figura N° 4.7 se incluye una sección típica.

Las elevaciones pueden ser positivas, cero o negativas. Los números de identificación de la sección transversal deben ser positivos y deben incrementarse en la dirección hacia aguas arriba. Si la elevación de la superficie del agua excede las elevaciones finales de la sección, los cálculos continúan al extender los puntos finales verticalmente, pero ignorando el perímetro mojado agregado.

No se ha establecido un máximo espaciamiento entre las secciones, el que depende de las necesidades del estudio y de los criterios de exactitud relacionados al modelo particular siendo usado, variando desde una fracción del ancho del río hasta varios kilómetros. El objetivo es lograr reconstruir el comportamiento del perfil del lecho y también capturar características principales del flujo y de los límites de movimiento.

Para el modelamiento se contó con 28 secciones medidas en el campo. Esto resultaba insuficiente para los alcances de esta modelación, por lo que se realizaron modelos de elevación del terreno, interpolados a partir de curvas de nivel en escalas 1:5000 y 1:50000, con chequeo de puntos utilizando GPS. Para lograr un mejor ajuste de los mismos, se digitalizó la línea del cauce principal, asegurándose mantener la elevación hasta encontrar una nueva curva de nivel que intercepte el cauce principal y siguiendo las características fluvigráficas del cauce. Una vez obtenido el modelo de elevación digital, se le aplicó un filtro de media, para suavizar la interpolación forzada hacia las líneas del río. Se procedió al trazo de las secciones, completándose 148 secciones transversales, que cubren una longitud de 48 km, desde el sitio de Bajo Pacuare hasta más abajo del sitio de presa del P.H. Siquirres. La figura N° 4.8 muestra la ubicación de las secciones. Para propósitos de la modelación, ésta se ha restringido a la distancia entre las estaciones Pacuare y Dos Montañas, por lo que las otras secciones se pueden utilizar en otro tipo de modelación, por ejemplo: comportamiento aguas abajo del sitio de presa del P.H. Siquirres. Los registros etiquetados con **GR** contienen los pares (elevación, estación) que definen cada punto del perfil, para un total de "n" puntos por sección definido en el registro **X1**, ver anexo 2.

### Sección transversal típica

Corresponde a sección 19400

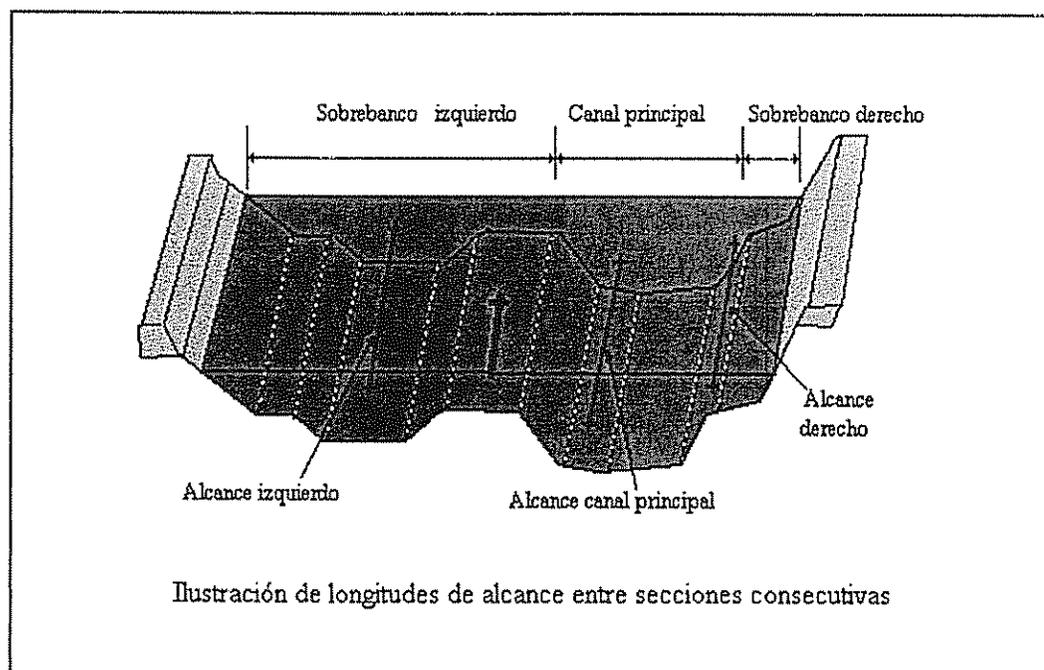
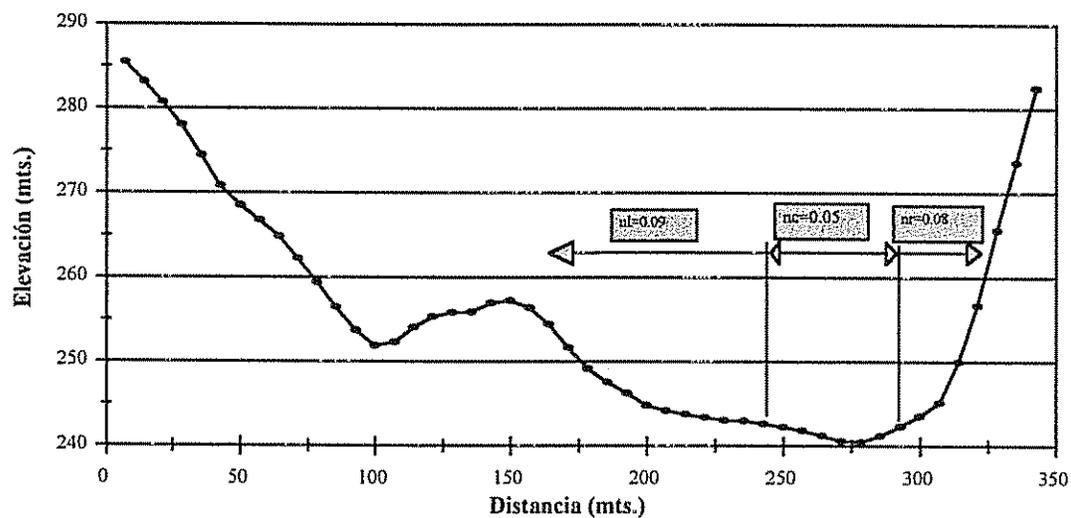
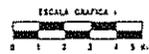
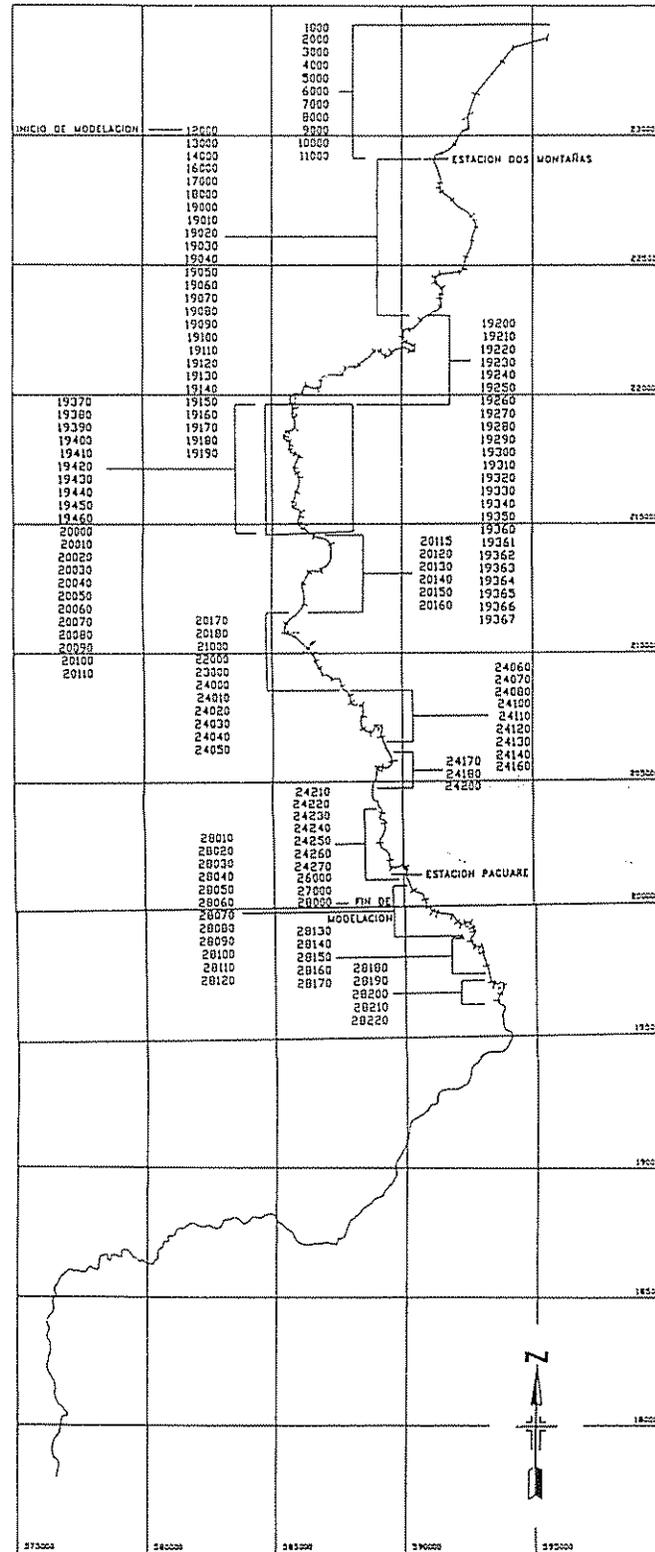


Figura 4.7 Ilustración de sección transversal típica y de longitudes de alcance

FIGURA 4.8  
 UBICACION DE SECCIONES TRANSVERSALES EN EL  
 CAUCE PRINCIPAL RIO PACUARE  
 (Se muestra el tramo entre estaciones hidrográficas)



NOTAS .  
 NUMERO DE SECCIONES TOTALES : 130  
 NUMERO DE SECCIONES PARA MODELAR CON HEC2 : 117  
 LAS SECCIONES ESTAN IDENTIFICADAS EN UNEX FUERON MEDIDAS EN EL CAMPO  
 LAS SECCIONES EN EL OTRO ENLAZADA FUERON OBTENIDAS DEL MED ESCALA 1:10,000  
 EL RESTO DE SECCIONES SE OBTUVO DEL MED ESCALA 1:100,000

#### 4.7.2 Subsecciones

Cada sección transversal se subdivide en tres partes llamadas subsecciones: el sobrebanco izquierdo, el canal principal y el sobrebanco derecho. Las longitudes de alcance y los valores de "n" son asignados a cada subsección. Los cálculos de pérdidas por fricción longitudinales son hechos promediando el área final de la subsección, promediando el radio hidráulico final y aplicando el valor de "n" de la subsección y longitud alcanzada para obtener una longitud pesada de la subsección de la conducción. Las conducciones de las subsecciones son sumadas para obtener un valor total para el alcance, que es usado para calcular las pérdidas por fricción.

#### 4.7.3 Longitud de alcance.

Cada subsección debe tener una longitud de influencia. Esta se extiende desde la sección previa (aguas abajo) a la sección presente. Esto permite la simulación de las curvas del canal donde la parte de más afuera del transecto, el cual es representado por una área de sobrebanco, tiene una longitud de alcance mayor que el canal o del lado interno del área de sobrebanco. Para ríos con meandros, la longitud del canal es generalmente mayor que las longitudes alcanzadas de sobrebanco.

El módulo DISTANCE de IDRISI se utilizó para determinar la distancia del alcance entre las secciones. Para esto basta con identificar con 1 a la línea de sección analizada y determinar las distancias de ésta a la siguiente y así sucesivamente. Los alcances para las márgenes izquierda, centro y derecha se incluyen en el capítulo 5. Se ubican en el registro etiquetado con **X1**, en el anexo 2.

#### 4.7.4 Definición de lecho móvil

Una parte de la sección se debe especificar como movable. Esto se ubica entre las estaciones izquierda y derecha del canal. Sólo las coordenadas incluidas entre estas estaciones se moverán verticalmente debidas a la socavación y deposición. Las áreas de sobrebanco más allá de estas estaciones se consideran como áreas de lecho fijo. La selección de estos límites requiere del juicio del analista y por lo general de ajustes en la etapa de calibración, registros identificados con la etiqueta **HD**, en el anexo 2.

#### 4.7.5 Valores de Manning.

Un valor de "n" se requiere para cada subsección y es utilizado hasta que éste cambia. No es posible cambiar automáticamente los valores de "n" con respecto al tiempo. Los valores de "n" pueden variar tanto con la descarga como con la elevación en el canal principal y en las áreas de sobrebanco.

El módulo PROFILE de IDRISI permite obtener datos para cada subsección, que incluyen el tipo de suelo y la formación superficial, información de apoyo a la comparación fotográfica de referencia del Estudio Hidrogeomorfológico del Río Pacuare (UCR, 1994) con las presentadas en la publicación 1849 del Geological Survey Water-Supply, que presenta y describe 50 canales naturales para los que se han determinado los coeficientes de rugosidad (Barnes, 1977). Los coeficientes determinados se incluyen en el capítulo 5 (tabla 5.1) y corresponden a los registros identificados por **NC**, en el anexo 2.

#### 4.7.6 Coeficientes de contracción y de expansión

La información para las pérdidas por contracción y expansión es más escasa que para los valores de "n". Se usan valores de 0.5 y 1.0 para cambios súbitos en áreas, acompañados por formas de codos, y valores de 0.05 y 0.10 para las transiciones más eficientes. Los valores sugeridos para diseño varían entre 0.1 y 0.2 y en transiciones graduales se tienen coeficientes de contracción y expansión de 0.1 y 0.3. Estos valores se incluyen en el registro NC, ver anexo 2.

#### 4.8 Datos hidrológicos

Los datos hidrológicos consisten de:

1. Caudales para el cauce principal y tributarios considerados
2. Una curva descarga-elevación al aguas abajo de la parte final del área de estudio
3. Temperaturas para las descargas de agua.

##### 4.8.1 Tributarios

El programa HEC6 contabiliza los aportes al cauce principal por parte de los ríos tributarios. Para el caso de análisis del cauce del Río Pacuare, si bien se pueden considerar los aportes de los tributarios principales, efectuando una corrección por área de los caudales, el hacer esto implica evaluar la calidad del material que aporta el afluente, en cuanto a sus características de sedimentos. No se cuenta con este tipo de información y aunque se pueden usar valores promedio de tributarios similares en otras cuencas de similares características se considera que es mejor trabajar con las mediciones en el cauce principal.

El módulo WATRSBED de IDRISI (Eastman, 1994), permite el trazo automático del contorno de una cuenca a partir de un mapa de aspectos, dirección de la pendiente en azimuth y de los ríos como archivo vector que señala al módulo el punto de drenaje de interés del que se formará la divisoria de las aguas, esto es, el módulo analiza la dirección que tomará una gota de agua sobre un pixel y dependiendo su dirección de la pendiente lo asignará al área de drenaje o no.

Así a partir del sitio de la estación Pacuare y aproximadamente hasta el sitio de presa del P.H. Siquirres se procedió a la revisión de cada uno de los tributarios al cauce principal produciéndose el mapa con las subcuencas y áreas afluentes al cauce principal. Este mapa se incluye como resultado en el capítulo 5. Una simple razón de áreas permitiría en posteriores estudios el considerar la influencia de los tributarios.

#### 4.8.2 Caudales

Los volúmenes de sedimento actúan en el tiempo modificando la geometría del canal, por lo que obliga a utilizar hidrogramas de descarga. Los registros históricos son necesarios para reconstruir el comportamiento observado, y luego se simulan flujos para analizar las condiciones futuras. La longitud del periodo de estudio es importante. El considerar más de 30 años, aunque real llega a ser poco efectivo en cuanto al manejo de información. Un hidrograma anual de flujos diarios promedios resulta ser representativo y a la vez manejable con pocas descargas de duraciones largas.

Si se consideran tributarios se debe mantener un balance del agua para el periodo de análisis, utilizando razones de áreas para afectar a los caudales entrantes.

El intervalo de cálculo (o paso de tiempo) usado en HEC-6 es variable. Pasos de tiempo corto se toman durante avenidas donde grandes cantidades de sedimento se mueven, y el hidrograma rápidamente cambia; pasos de tiempo mayores se usan durante periodos de flujos bajos.

Es importante incluir un año húmedo y un año seco en adición al año promedio. Para tal propósito se contó con los datos de caudales diarios de la estación Pacuare, que cuenta con registros de junio - 1958 a marzo - 1994.

Se estimó el hidrograma del año con caudales promedio. Luego se construyó la condición húmeda: considerando el año en que se presentó mayor caudal; en forma similar la condición seca considerando el año de más déficit. El trabajar con los hidrogramas reales no favorece los cálculos con el programa HEC6, esto implicaría usar periodos de tiempo unitarios para cada uno de los 365 días, en su lugar es mejor crear el hidrograma computacional o calculado, para esto se definieron pasos de tiempo para cada una de las condiciones, respetando las variaciones de los datos reales.

Los hidrogramas reales y calculados (caudales contra diferentes intervalos de tiempo) se muestran en las figuras N° 4.9 a N° 4.11. Se hace necesario realizar una estimación de la variación de los caudales para diferentes intervalos de tiempo para las tres condiciones hidrológicas, valores se incluyen en los registros **Q** y **W** que se repiten para cada intervalo de tiempo, ver anexo 2.

Figura 4.9 HISTOGRAMAS ANUALES PARA CONDICION PROMEDIO

## HISTOGRAMA REAL Y CALCULADO ESTACION PACUARE

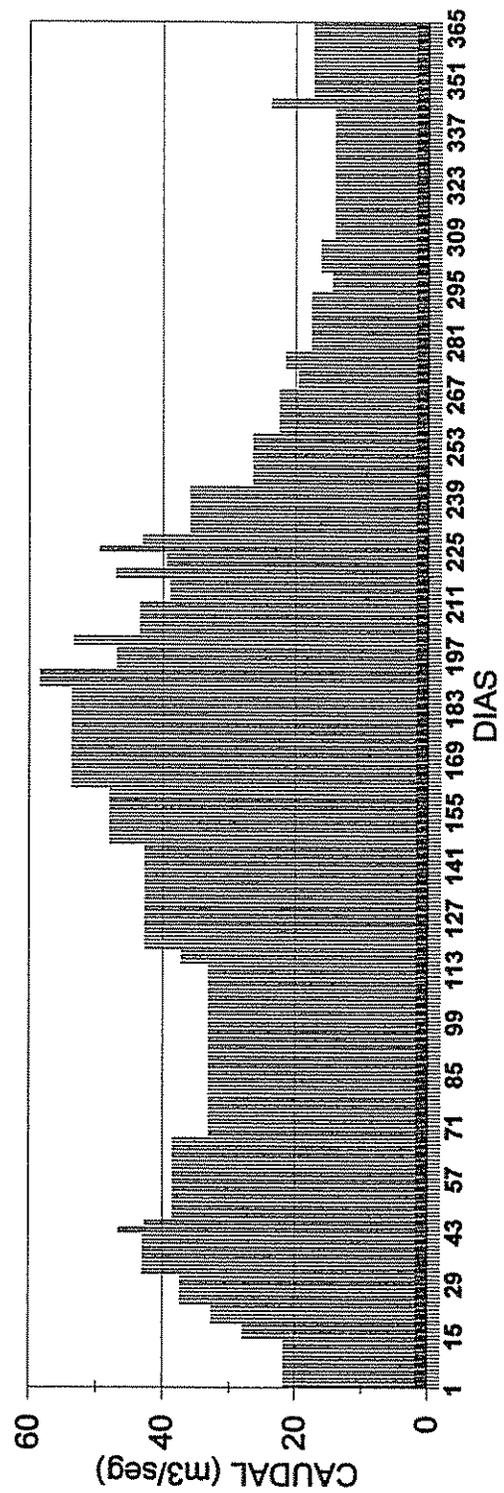
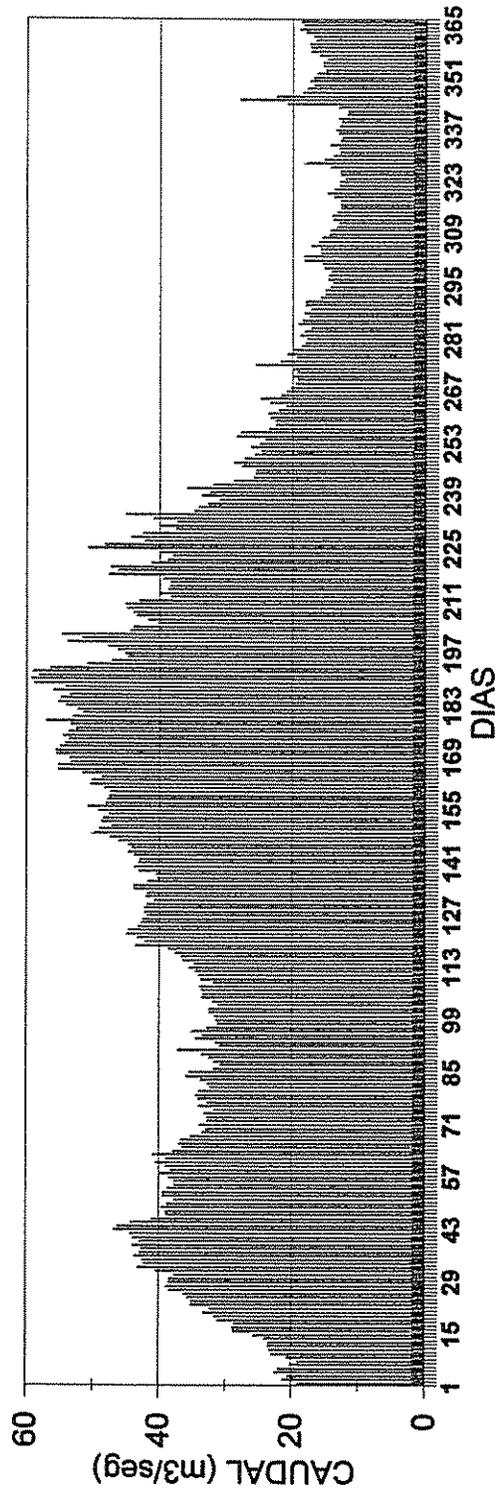


Figura 4.10 HISTOGRAMAS ANUALES PARA CONDICION HUMEDA

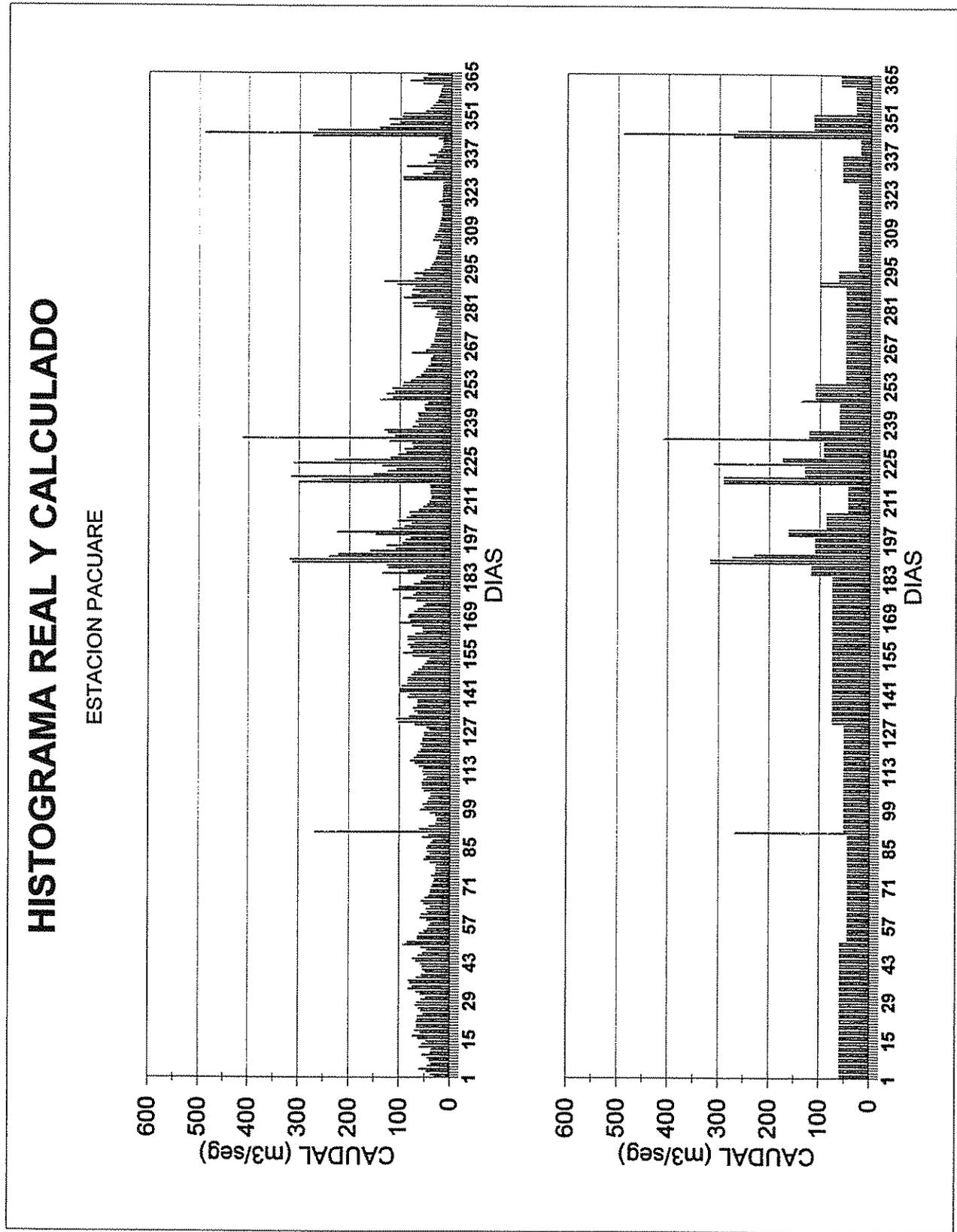
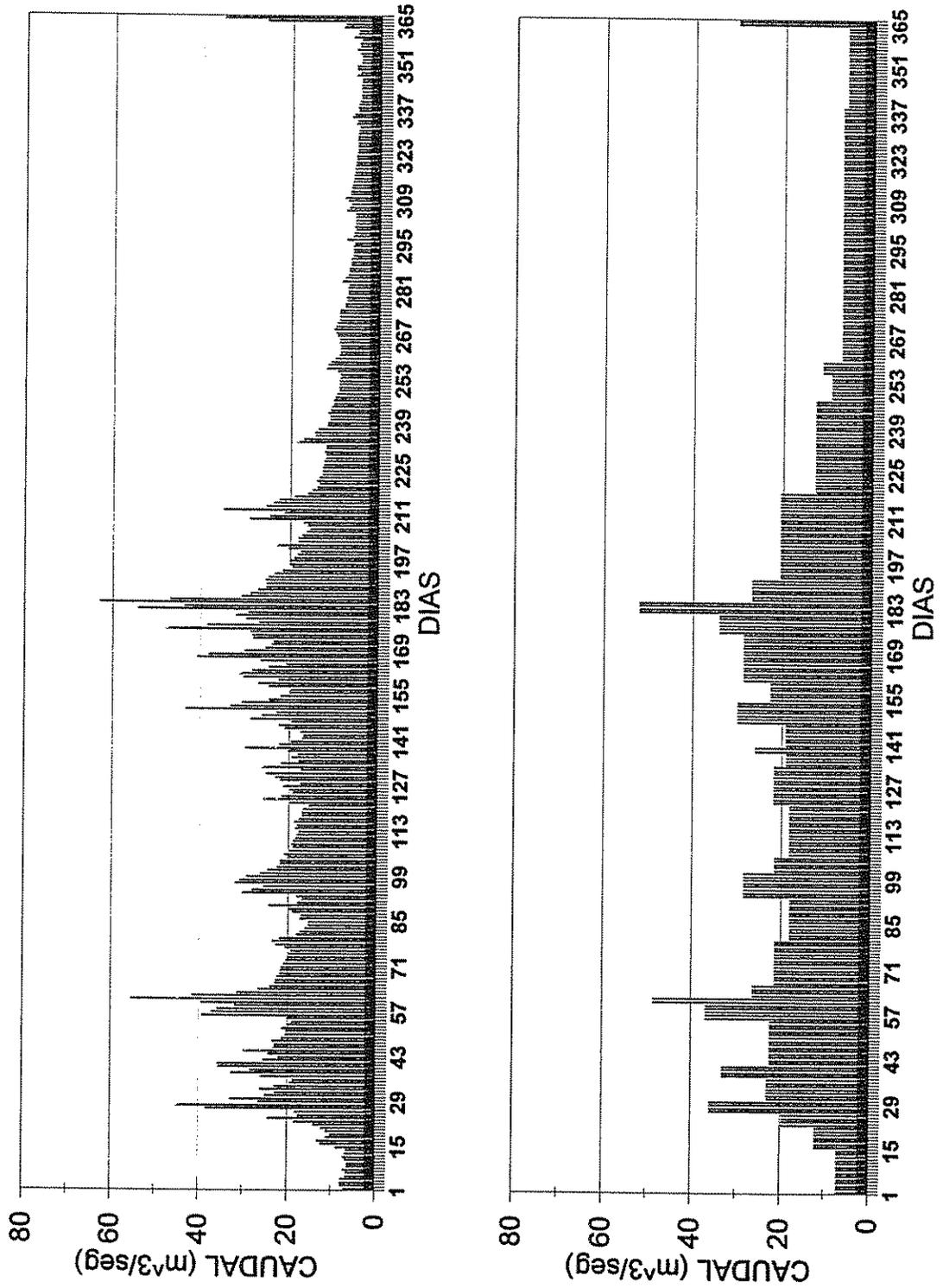


Figura 4.11 HISTOGRAMAS ANUALES PARA CONDICION SECA

# HISTOGRAMA REAL Y CALCULADO

## ESTACION PACUARE



### 4.8.3 Curva descarga - elevación

Los ríos de montaña de Costa Rica presentan una gran variación de niveles con la descarga de agua, el Río Pacuare no ha sido la excepción, y basta con observar los registros para notar que se han usado 14 curvas de descarga en la Estación Pacuare y 10 para la estación Dos Montañas. Aquí sólo se incluyen las curvas siendo utilizadas de los años 1991 a la actualidad.

Para la estación Pacuare, el ICE ha utilizando las siguientes curvas de descarga:

Curva 13 (válida del 22-05 93 a la actualidad)

$$Q = 15.642 (H - 0.222)^{2.6709}, \text{ para } 0.90 \leq H < 2.0$$

$$Q = 7.3753 (H + 0.175)^{2.9467}, \text{ para } 2.00 \leq H < 2.5$$

$$Q = 11.114 (H - 0.129)^{2.8834}, \text{ para } 2.50 \leq H < 6.0$$

Curva 12 (se usó en periodos dentro de los años 1992 y 1993)

$$Q = 30.3000 (H - 0.444)^{1.9198}, \text{ para } 0.9 \leq H < 1.5$$

$$Q = 7.3753 (H + 0.175)^{2.9467}, \text{ para } 1.5 \leq H < 2.5$$

$$Q = 11.114 (H - 0.129)^{2.8834}, \text{ para } 2.5 \leq H < 6.0$$

Curva 9 (se usó en periodos dentro de los años 1991 y 1992)

$$Q = 7.3753 (H + 0.175)^{2.9467}, \text{ para } 0.8 \leq H < 2.5$$

$$Q = 11.114 (H - 0.129)^{2.8834}, \text{ para } 2.5 \leq H < 6.0$$

Para la estación Dos Montañas, el ICE ha utilizando las siguientes curvas de descarga:

Curva 10 (válida del 9/12/94 a la fecha)

$$Q = 96.359 (H - 1.9800)^{1.6862}, \text{ para } 2.1 \leq H < 2.5$$

$$Q = 56.477 (H - 1.6800)^{2.8621}, \text{ para } 2.5 \leq H < 3.0$$

$$Q = 127.38 (H - 2.0100)^{1.9293}, \text{ para } 3.0 \leq H \leq 6.0$$

Curva 9 (se usó en periodos dentro de los años 1993 y 1994)

$$Q = 70.135 (H - 1.580)^{1.87779}, \text{ para } 1.8 \leq H < 2.5$$

$$Q = 24.545 (H - 1.177)^{2.8621}, \text{ para } 2.5 \leq H < 3.0$$

$$Q = 45.537 (H - 1.274)^{2.3815}, \text{ para } 3.0 \leq H \leq 6.0$$

Curva 8 (se usó en periodos dentro de los años 1993 y 1994)

$$Q = 70.490 (H - 1.460)^{2.1889}, \text{ para } 1.7 \leq H < 3.0$$

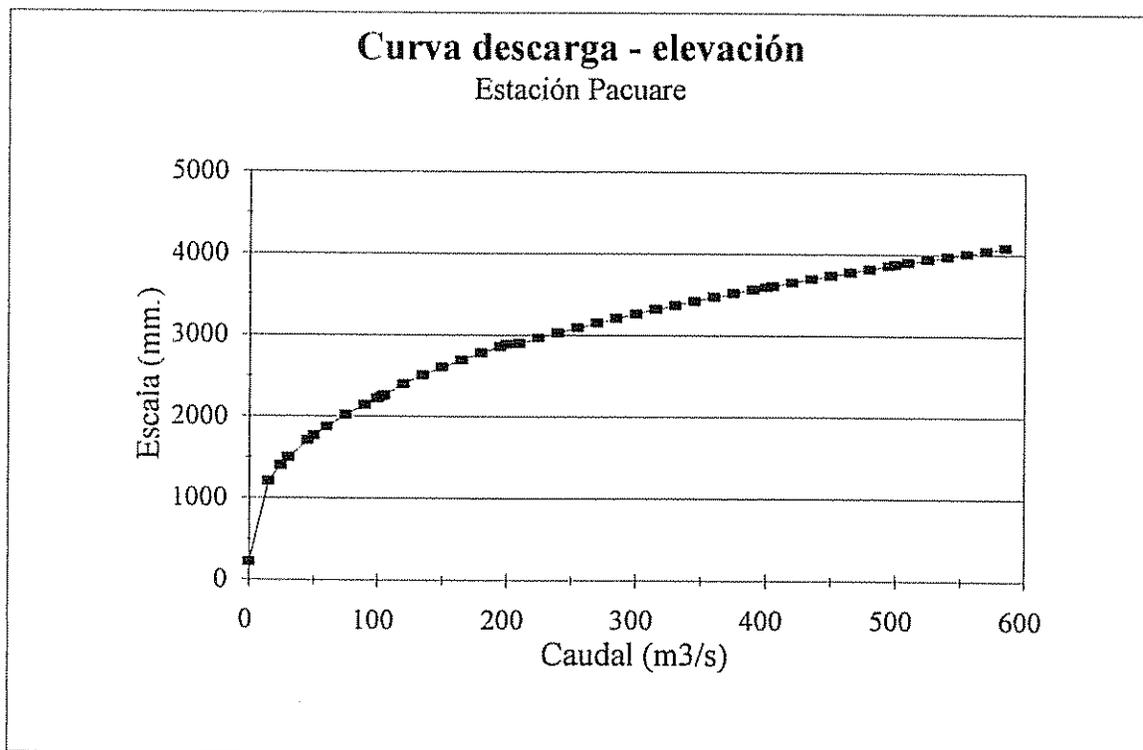
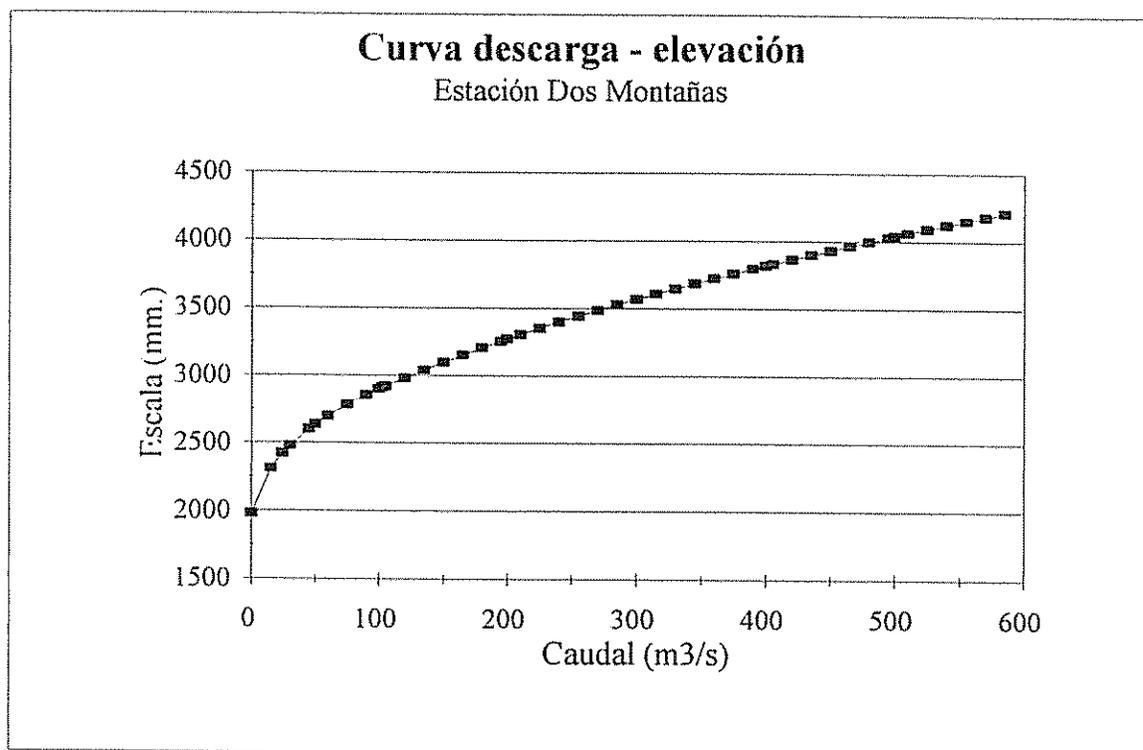
$$Q = 98.421 (H - 1.617)^{1.9815}, \text{ para } 3.0 \leq H < 6.0$$

El programa requiere de una curva-descarga, escogiendo la curva actualizada se procedió a definir la curva descarga - elevación para el formato HEC-6, tabla 4.3 y figura N° 4.12, que corresponden a los registros identificados con RC, bajo el identificador \$RATING, en el anexo 2. En este caso se utiliza la curva de la estación Dos Montañas que corresponde al final aguas abajo de la longitud en estudio.

Tabla N° 4.3 Curvas descarga - elevación para las estaciones Dos Montañas y Pacuare

Caudal (m <sup>3</sup> /seg.)	Escala (mm.)	
	Curva 10 - Dos Montañas	Curva 13 - Pacuare
0.0	1980.0	222.0
15.0	2311.8	1206.4
30.0	2480.6	1498.1
45.0	2603.7	1707.3
60.0	2701.4	1876.2
75.0	2784.2	2020.4
90.0	2856.8	2147.4
105.0	2921.9	2261.8
120.0	2981.2	2401.9
135.0	3040.6	2507.0
150.0	3098.4	2604.7
165.0	3153.5	2696.0
180.0	3206.3	2782.1
195.0	3257.0	2863.5
210.0	3305.8	2900.1
225.0	3353.0	2967.2
240.0	3398.7	3031.5
255.0	3443.0	3093.1
270.0	3486.1	3152.5
285.0	3528.0	3209.7
300.0	3568.9	3265.0
315.0	3608.9	3318.5
330.0	3647.9	3370.4
345.0	3686.1	3420.8
360.0	3723.4	3469.7
375.0	3760.1	3517.3
390.0	3796.0	3563.7
405.0	3831.3	3609.0
420.0	3866.0	3653.2
435.0	3900.0	3696.3
450.0	3933.5	3738.5
465.0	3966.5	3779.8
480.0	3999.0	3820.2
495.0	4030.9	3859.8
510.0	4062.5	3898.6
525.0	4093.5	3936.7
540.0	4124.2	3974.1
555.0	4154.4	4010.8
570.0	4184.3	4046.9
585.0	4213.7	4082.3

Figura 4.12 Curvas descarga-elevación estaciones cuenca R. Pacuare



#### 4.8.4 Temperaturas

Los registros de temperaturas de agua en el cauce del Pacuare son escasos, se cuentan con los siguientes registros, tabla N° 4.4, en la Estación Dos Montañas.

Tabla N° 4.4. Muestréos de temperatura del agua en la Estación Dos Montañas

Fecha	T (° C)	Fecha	T (° C)
16/05/80	26,0	23/09/81	25,0
18/06/80	27,0	16/10/81	24,5
22/07/80	26,0	17/11/81	24,0
22/08/80	28,0	08/01/82	27,0
09/09/80	27,0	10/02/82	25,0
24/10/80	28,0	09/03/82	24,5
13/11/80	29,0	13/04/82	25,5
13/01/81	23,0	11/05/82	24,0
10/02/81	23,0	08/06/82	23,5
12/03/81	23,0	10/07/82	24,0
08/04/81	25,0	06/08/82	23,0
07/05/81	24,0	07/09/82	25,0
04/07/81	25,0	06/01/83	28,0
18/08/81	22,5	Promedio	25,2

Para Pacuare se reporta un valor para un mes de 19.5° C. En el estudio se sedimentos (AB Hydroconsult, 1995), se utilizó un valor de 20 °C al efectuar la variación de caudales para diferentes tamaños de partícula en esta estación. El punto A puede estimarse a 22.7 °C.

#### 4.9 Datos de sedimentos

En estudios de embalses, la curva representativa de carga de sedimentos es esencial, ésta es una relación entre la descarga de agua y el flujo de la carga de sedimentos en un periodo de tiempo, promediando el sedimento de campo. Sin embargo, en estudios de ríos el objetivo es establecer la carga y gradación de sedimentos, que acompaña al flujo del río entrando en el área de estudio y determinar la distribución del tamaño apropiado y características del material de fondo. Para cualquier año dado, la curva de carga representativa, integrada con el hidrograma para el año, debería producir el volumen anual de sedimentos. La carga total de entrada y la distribución de los tamaños de las partícula, se deben ajustar hasta lograr establecer una curva representativa.

##### 4.9.1 Sedimentos de entrada

- (a) Concentraciones del sedimento de entrada. Los muestréos del sedimento en suspensión se han tomado desde mayo de 1968, normalmente esto datos se presentan como curvas de descarga-sedimentos.

Según (AB Hydroconsult, 1995) de 3 estimaciones diferentes: 1. curva descarga - sedimento del ICE, 2. curva basada en los promedios de clases de las mediciones regulares y 3. curva basada en los promedios de clases de todas las mediciones. Se ha escogido como representativa la tercera:

$$L = 0.344 Q^{1.43} \quad (Q < 28.7 \text{ m}^3/\text{s}) \quad (4.1)$$

$$L = 0.0000017 Q^{5.08} \quad (28.7 < Q < 100 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$L = 2.42 Q^{2.0} \quad (Q > 100 \text{ m}^3/\text{s})$$

Esta curva indica una carga de sedimento en suspensión de 500,000 tons para el periodo de análisis. Este valor fue corregido por el uso de descargas diarias en lugar de horarias (Jansson y Rodríguez, 1992), estimándose una carga media anual de sedimento en suspensión de 600,000 tons en Pacuare para el periodo 1968-1993. En forma similar para la estación Dos Montañas se tiene una carga media anual de sedimento en suspensión de 1.4 millones tons, para el periodo 1970-1993.

- (b) Tamaño de las partículas. La descarga total del sedimento debe ser particionada en tamaños de clases para los cálculos del lecho móvil. La distribución del material en suspensión es importante para el transporte del material en el canal del río y para la deposición en las riberas, planicies y embalses. En el informe Hidrológico del P.H.Pacuare (DEB, 1992) se incluye una curva granulométrica del material del fondo para los diámetros 0.05 a 200 mm., que puede utilizarse para considerar los diámetros mayores de 2 mm., presentados en la tabla 4.7. En el estudio sedimentológico de Cachí (Jansson y Rodríguez, 1992) presentan 3 diferentes distribuciones de tamaños de partículas para el sedimento en suspensión fino, normal y grueso. A falta de muestreos en Pacuare, y teniendo presente que con una variación de distribución de tamaños considerable es difícil definir una distribución representativa, se usará para esta modelación la correspondiente a la condición promedio, tomando en cuenta que los muestreos en Siquirres confirman tamaños entre normal y gruesos (AB Hydroconsult, 1995). En la tabla 4.5 se muestra la distribución de la carga de sedimentos por tamaño de las partículas.

Tabla N° 4.5 Distribución de la carga de sedimentos por tamaños de partículas

Caudal medio del periodo= 32.9m <sup>3</sup> /s		Carga total fondo = 90000 t/año 246.57 t/día		Carga total suspendida = 600000 t/año		Carga total sedimentos= 690000 t/año	
Diámetro partícula mm.	Clasificación	Porcentaje de carga de fondo	Carga de fondo ton/día	Porcentaje de carga en suspensión	Carga en suspensión ton/día	Carga total	
< 0.625	Arcilla	0.05	0.12	71.0	1167.12	1167.25	
0.0625 - 125	Arena muy fina	0.75	1.85	18.0	295.89	297.74	
0.125 - 250	Arena fina	1.6	3.95	4.0	65.75	69.70	
250 - 500	Arena mediana	2.8	6.90	7.0	115.07	121.97	
500 - 1	Arena gruesa	6.1	15.04			15.04	
1 - 2	Arena muy gruesa	6.5	16.03			16.03	
2 - 4	Grava muy fina	6.5	16.03			16.03	
4 - 8	Grava fina	1.6	3.95			3.95	
8 - 16	Grava mediana	3.2	7.89			7.89	
16 - 32	Grava gruesa	5.7	14.06			14.06	
32 - 64	Grava muy gruesa	11.2	27.62			27.62	
64 - 128	Piedras pequeñas	41.0	101.10			101.10	
>128	Piedras grandes	13.0	32.06			32.06	
TOTAL		100.0	246.57		1643.83	1890.40	

En el estudio de Procesos de Erosión y Sedimentación (AB Hydroconsult, 1995) se presenta una distribución porcentual de sedimento en suspensión para el Embalse de Guayabo. Al no contar con datos para Pacuare y teniendo una relación de áreas de embalse de 0.86 (0.48 Km<sup>2</sup> a 0.56 Km<sup>2</sup>) y de elevaciones de 1.03 (490 m.s.n.m. a 475 m.s.n.m.) muy similares, se podrían utilizar las distribuciones presentadas en el estudio.

Dado que embalse de Pacuare es de menor capacidad pareciera razonable utilizar la distribución al nivel menor de 425 m.s.n.m. Se adoptó esta distribución. En todo caso, esta distribución fue obtenida por la fórmula de eficiencia de atrape presentada por Sundborg, 1992:

$$T = 1000 \left[ 1 - e^{-\frac{w \Phi(w) A_{\text{flow}(D)}}{Q}} \right] \quad (4.2)$$

donde:

T : eficiencia de atrape, porcentaje de material que es depositados con una velocidad de sedimentación W.

Q : caudal.

$\Phi(w)$  : es la relación entre las concentraciones de sedimento en suspensión de las partículas con una velocidad de sedimentación W y las concentraciones del fondo y promedio en el flujo de partículas con la velocidad W. Si se asume un valor de 1 se aproxima a condiciones naturales para todos los tamaños de partículas excepto las más gruesas.

W : velocidad de sedimentación, tomada de tablas con temperatura asumida de 20° C.

$A_{\text{flow}(D)}$ : el área activa de flujo es difícil de definir. Para embalses en Reventazón se ha utilizado un 40% del área total de los niveles reales de los embalses, en todo caso las relaciones entre distribución de tamaño de las partículas, niveles de agua y descarga de agua llegan a ser razonablemente correctas, aún si se asume un área no muy correcta. Si se repite el ejercicio se obtienen distribuciones muy similares a las de la tabla 4.6.

La tabla N° 4.6 muestra la distribución de la carga de sedimentos en suspensión por tamaño de las partículas. El valor de L se calculó con las ecuaciones (4.1) que definen la curva descarga-sedimentos.

Tabla 4.6 Distribución del tamaño de partículas para diferentes descargas y nivel 425 m.s.n.m

q (m <sup>3</sup> /s)	10	20	50	100	300	500	1000
L (Ton/día)	9.3	25.0	726.5	24572.58	217800.0	605000.0	2420000.0
P1 (%)	35	41	49	56	64	75	83
P2 (%)	24	28	34	40	48	61	70
P3 (%)	13	15	18	21	27	39	52

- (c) Cálculo de flujo de sedimentos con la teoría de transporte. Si no hay mediciones disponibles, se puede proceder a la ejecución del programa HEC6, calculando una condición límite de sedimentos, mediante una fórmula apropiada de transporte de sedimentos.

#### 4.9.2 Porcentajes de sedimento total

Combinando la información de las tablas 4.5. y 4.6 se obtienen los porcentajes para el sedimento total para diferentes caudales, tabla 4.7, que se incluyen en los registros LF, ver entrada de datos del programa HEC6, en el anexo 1.

Tabla 4.7 Porcentajes de sedimento total para diferentes caudales ( $m^3/s$ ) y tamaños de partículas

Material	Q <sub>1</sub> =1	Q <sub>2</sub> =10	Q <sub>3</sub> =50	Q <sub>4</sub> =100	Q <sub>6</sub> =500	Q <sub>7</sub> =1000
AMF	0.8	0.9	4.6	62.4	77.1	74.5
AF	1.6	1.6	2.4	1.1	22.1	25.3
AM	2.8	2.8	2.6	2.4	0.4	0.2
AG	40.8	40.7	38.9	2.5	0.2	0.0
AMG	54.0	54.0	51.5	2.5	0.1	0.0
GMF	.0	.0	0.	0.6	0.1	0.0
GF	.0	.0	0.	1.2	0.0	0.0
GM	.0	.0	0.	2.2	0.0	0.0
GG	.0	.0	0.	4.3	0.0	0.0
GMG	.0	.0	0.	20.8	0.0	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Notación: AR : AMF: arena muy fina, AF : arena fina, AM : arena media, AG : arena gruesa, AMG: arena muy gruesa, GMF : arena muy fina, GF : grava fina, GM : grava media, GG : grava gruesa, GMG: grava muy gruesa

#### 4.9.3 Gradación de partículas en el fondo.

La gradación del material del fondo, en porcentaje más fino, se define por la gradación del sedimento de fondo en el embalse (en porcentaje), en cada sección transversal como una curva de distribución de los tamaños de las partículas.

Los cálculos requieren información de gradación para cada sección aunque no es necesario ingresar estos registros para cada sección. Se debe ingresar al menos un registro; si sólo se ingresa un registro éste se usa para todas las secciones, el identificador de sección indica dónde aplicar la gradación. Si faltan estos registros entre secciones se realiza una interpolación lineal.

El estudio Inventario Hidrogeológico del Río Pacuare (UCR, 1993) proveyó análisis granulométricos a los largo de las 38 secciones del cauce, tanto en puntos del fondo del cauce, como en las márgenes. La tabla N° 4.8 resume los valores de los registro PF porcentaje más fino de las partículas para diferentes diámetros, ver el anexo 1, para las secciones modeladas.

Tabla 4.8 Gradación del material de fondo - porcentaje más fino

SECCIONES Inicio a final	# Sección- # muestra	DIAMETROS DE LAS PARTICULAS (mm.)					
		2	1	0.5	0.25	0.125	0.063
12000 a 19020	1-2	97.83	94.87	64.63	12.36	2.08	0.3
19030 a 19050	2-2	47.99	38.13	24.05	11.37	4.63	1.81
19060 a 19080	3-2	98	92.18	80.85	41.73	6.83	0.71
19090 a 19090	4-2	100	99.7	93.3	42.18	5.26	0.16
19100 a 19120	5-1	97.6	89.9	61.3	23.5	3.2	0.4
19130 a 19180	6-1	99.08	93.44	68	30.87	6.26	2.57
19190 a 19200	7-1	99.9	99.5	98.69	89.21	55.24	25.3
19210 a 19280	8-2	97.4	89.29	67.36	27.96	8.94	5.93
19290 a 19300	9-1	99.31	93.14	60.3	20.4	2.89	0.4
19310 a 19310	9-3	100	99.8	98.29	83.38	35.95	10.47
19320 a 19330	10-1	89.6	68.89	31.02	6.97	0.61	0.21
19340 a 19360	11-4	78.6	75.98	72.47	58.2	27.14	10.06
19361 a 19367	12-2	99.91	99.31	88.74	29.35	2.67	0.5
19370 a 19400	14-2	71.93	27.22	5.77	1.16	0.26	0.16
19410 a 20000	15-2	99.91	99.31	92.31	37.67	2.7	0.7
20010 a 20040	16-2	100	99.91	97.32	60.76	14.15	3.09
20050 a 20060	17-1	79.18	52.72	26.56	7.75	0.71	0.21
20070 a 20110	18-2	97.19	83.41	32.5	4.83	0.61	0.21
20115 a 20120	19-1	94.98	82.42	56.69	25.03	5.43	1.01
20130 a 20140	21-1	97.59	92.04	65.73	26.52	8.27	2.73
20150 a 20160	22-2	99.9	99.7	97.67	51.58	9.67	2.14
20170 a 20180	23-1	99.8	97.09	77.07	37.13	12.18	2.82
21000 a 24010	25-5	99.78	98.78	87.94	48.83	14.64	5.26
24020 a 24160	26-3	100	99.71	76.9	2.12	0.12	0.07
24170 a 24190	30-2	100	99.9	93.4	47.1	7.3	0.3
24200 a 24210	31-2	98.47	97.45	85.37	35.42	2.77	0.21
24220 a 24230	33-2	31	18	9	3.89	1.49	0.49
24240 a 24250	34-3	99.08	95.08	63.42	20.9	1.33	0.31
24260 a 28000	35-4	86.6	80.2	63	24.3	3.9	0.4
28010 a 28030	36-5	49.8	28.73	11.25	2.86	0.72	0.31
28040 a 28120	38-3	98.2	94.4	76.18	32.74	7.11	1.61

#### 4.10 Calibración y resultados de modelo

En este capítulo se describen los procedimientos seguidos en la calibración del programa HEC-6 para la modelación del cauce principal del Río Pacuare y los resultados obtenidos.

##### 4.10.1 Pruebas iniciales de los datos.

Se debe realizar una operación del modelo para un periodo de prueba, en esta caso para un caudal promedio del registro; se puede usar el histograma del año promedio, sin embargo esto toma aproximadamente 1 hora en un microcomputador 486/25, y lo que se pretende es asegurar la consistencia de los datos. Es un proceso previo a la etapa de calibración y se verifica que:

- a. Las partículas finas no se debieran depositar en el canal, bajo las condiciones naturales. Cualquier sección transversal que exhiba una reducción en la carga de partículas finas a través de la sección debería chequearse en cuanto a ser muy larga o a que puede existir un control falso del canal aguas abajo.
- b. La carga de arenas debería aproximarse a un valor permanente en el tiempo, aproximadamente igual a la carga del flujo de entrada, de sección a sección. Las secciones usadas en HEC-6 son representativas de los alcances, por lo tanto requieren un afinamiento de los datos de campo. Las secciones que presentan una capacidad de transporte baja son verificadas para eliminar errores en la geometría de la sección, alcances, valores de "n", límites del fondo movable o bien la gradación del material del lecho.

En general, las reglas a seguir son: un excesivo llenado puede significar que los límites del fondo movable son muy angostos o que el nivel natural es muy bajo; si el modelo está depositando sedimento por encima de los sobrecanos se deben expandir los límites del fondo movable para incluir el sobrecano. Si el agua está sobrepasando los sobrecanos pero el área no es efectiva para la conducción, se elevan los niveles naturales en los datos de entrada. Si se da una excesiva socavación en los resultados, significa que que el fondo es acorazado o no erosivo siendo resistente a esta acción.

#### **4.10.2 Calibración de los parámetros geométricos.**

El análisis de los datos geométricos y la calibración de los valores "n" se prueba para tres condiciones de descarga de agua. Los cálculos se efectúan al inicio con fondo fijo y luego se usa fondo móvil.

#### **4.10.3 Pruebas con fondo fijo**

##### **Con una condición próxima a banco lleno.**

Es conveniente iniciar con una condición de año húmedo o de avenida máxima próxima a banco lleno, en este caso se usó la segunda con una condición aproximada según (USACE, 1992) a una descarga pico de avenida con periodo de retorno de 2 años, esta se logra según (ICE, 1993), con una probabilidad del 50% con un caudal de 376 m<sup>3</sup>/s. Se deben verificar que los resultados hidráulicos sean aceptables, reconstruyendo el perfil de la superficie del agua así como examinando la velocidad del agua, profundidades y anchos de los perfiles. Esta prueba revela generalmente incrementos de anchos entre las secciones transversales, que son mayores que las tasas de expansión del fluido y por lo tanto requieren de límites de conducción.

Las velocidades calculadas en las secciones curvas muy profundas, pueden no ser representativas del transporte de sedimentos próximo a la curva; un recurso es eliminar aquellas secciones del modelo. Los resultados de esta prueba también dan algún indicio del régimen normal, esto es, si ocurre un flujo de sobrebanco, justifica que esto ocurre en el prototipo y no se debe a un problema en los datos.

#### **Caudales mínimos.**

Se deben examinar también los flujos bajos, un hidrograma de año seco. Los cambios extremos en velocidad, profundidad o ancho de una sección a otra pueden reflejar errores en los datos y deben verificarse, esto se prueba para un caudal mínimo promedio anual de  $14.1 \text{ m}^3/\text{seg}$  para el mes de abril (período 1958-1990).

#### **Caudales máximos.**

Una tercera prueba es considerando la descarga igual al máximo proyectado en el hidrograma de flujos a ser usado por el proyecto en estudio. Esto se justifica más en estudios de embalses que en modelación de cauces, por lo que no se aplica en este caso.

#### **4.10.4 Pruebas del modelo con fondo móvil**

Es útil evaluar el comportamiento del modelo en la condición de flujo a banco lleno, ahora con fondo móvil. Si el canal está cerca del régimen, esto debería aproximar a la descarga dominante y resulta en una agradación o degradación poca. Antes de enfocarse al transporte de sedimentos se debe revisar que los valores  $n$  de Manning son apropiados para los límites móviles. Se deben hacer los ajustes necesarios para que los valores de  $n$  para las porciones móviles de las secciones transversales está acorde con los obtenidos de los predictores de rugosidad del fondo. En el caso de proyectos la tasa de transporte será usualmente mayor al inicio de la simulación que en periodos posteriores por causa de la abundancia de partículas finas en las muestras del fondo que serán lavadas al formarse las capas del fondo.

En esta modelación es muy importantes especificar elevaciones de bancos que sean representativas de las condiciones de prototipo.

#### **4.10.5 Medidas de calibración.**

La selección de apropiadas medidas de calibración, o pruebas, para fondo móvil no siguen una regla específica. Usualmente el contar con secciones transversales y mediciones de tasas de transporte de sedimentos periódicamente a través del periodo de calibración es la excepción. Consecuentemente se usan diferentes medidas de calibración, dependiendo de los objetivos del estudio, datos disponibles, etc.

## 5. Resultados

### 5.1 Mapas generados - enfoque de cuenca

#### 5.1.1 Resultados del modelo de Holdridge

El modelo ecológico de Holdridge fue programado como archivo de proceso por lotes en IDRISI versión DOS, ver anexo 2. La salida produjo los mapas de temperatura, evapotranspiración real y potencial teóricos promedios anuales para la cuenca del R. Pacuare hasta el sitio Dos Montañas. Los mapas se muestran en las figuras N° 5.1, 5.2 y 5.3.

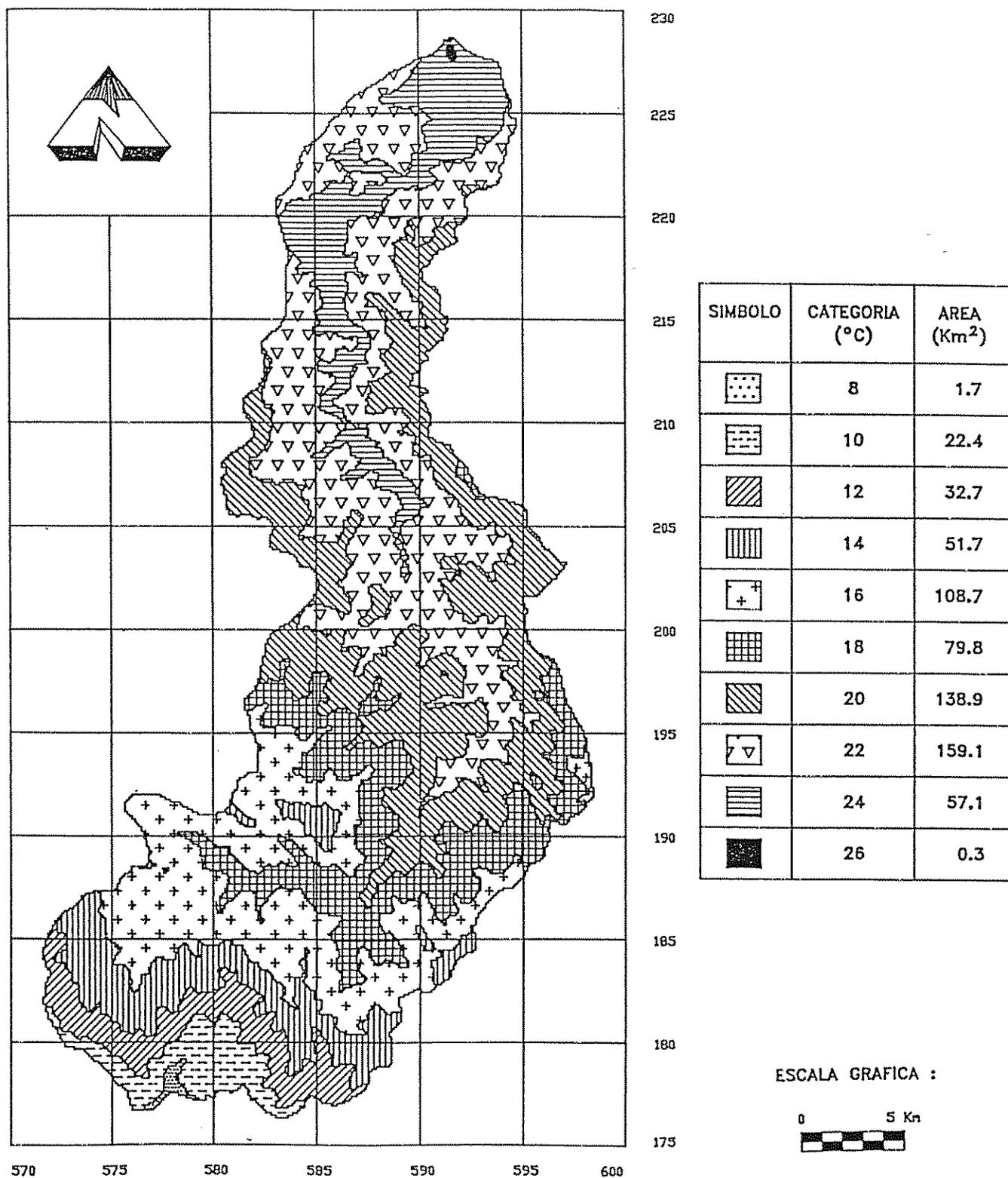
El escurrimiento estimado promedio por el modelo es de 3129.1 mm (99.22 l/s/Km<sup>2</sup>), que traducido a caudal promedio anual resulta en 64.7 m<sup>3</sup>/seg, que difiere del medido por el ICE 59.8 m<sup>3</sup>/seg en +8.2%. La diferencia aunque aceptable para estudios hidrológicos se explica porque el método es aplicable a condiciones naturales, esto es no se ha aplicado ninguna corrección por efecto de cambios en la cobertura de la tierra. Por otra parte, si se considera que la elevación es un parámetro relativamente estable y que la precipitación es un dato relativamente dinámico y que el trazo de las isoyetas se ve influenciado por criterios de los especialistas, por ejemplo, el Centro Científico Tropical (CCT) usa un criterio más ecológico (Watson V., 1994) que el de meteorología que usa el ICE, lo que influye directamente sobre el resultado.

En la figura N° 5.4 se incluye el mapa de zonas de vida calculado para la cuenca del Río Pacuare hasta Dos Montañas. La Tabla N° 5.1 muestra las diferencias, respecto a un mapa preliminar de zonas de vida, escala 1:200000 editado por el CCT. A la fecha se ha producido un nuevo mapa escala 1:50000, por parte del CCT.

Tabla N° 5.1 Diferencia entre clasificaciones

Categoría	Area (km <sup>2</sup> ) de Zonas de Vida calculado	Area (Km <sup>2</sup> ) de Zonas de Vida 1:200000
bp-M	18.7	31.5
bp-MB	157.1	214.9
bp-P	82.6	137.9
bmh-MB	2.6	5.0
bmh-P	282.9	159.0
bmh-T	9.6	28.0
bmh-P1	18.4	22.0
bmh-T1	41.6	52.8
bp-M1 por bmh-	18.9	1.3

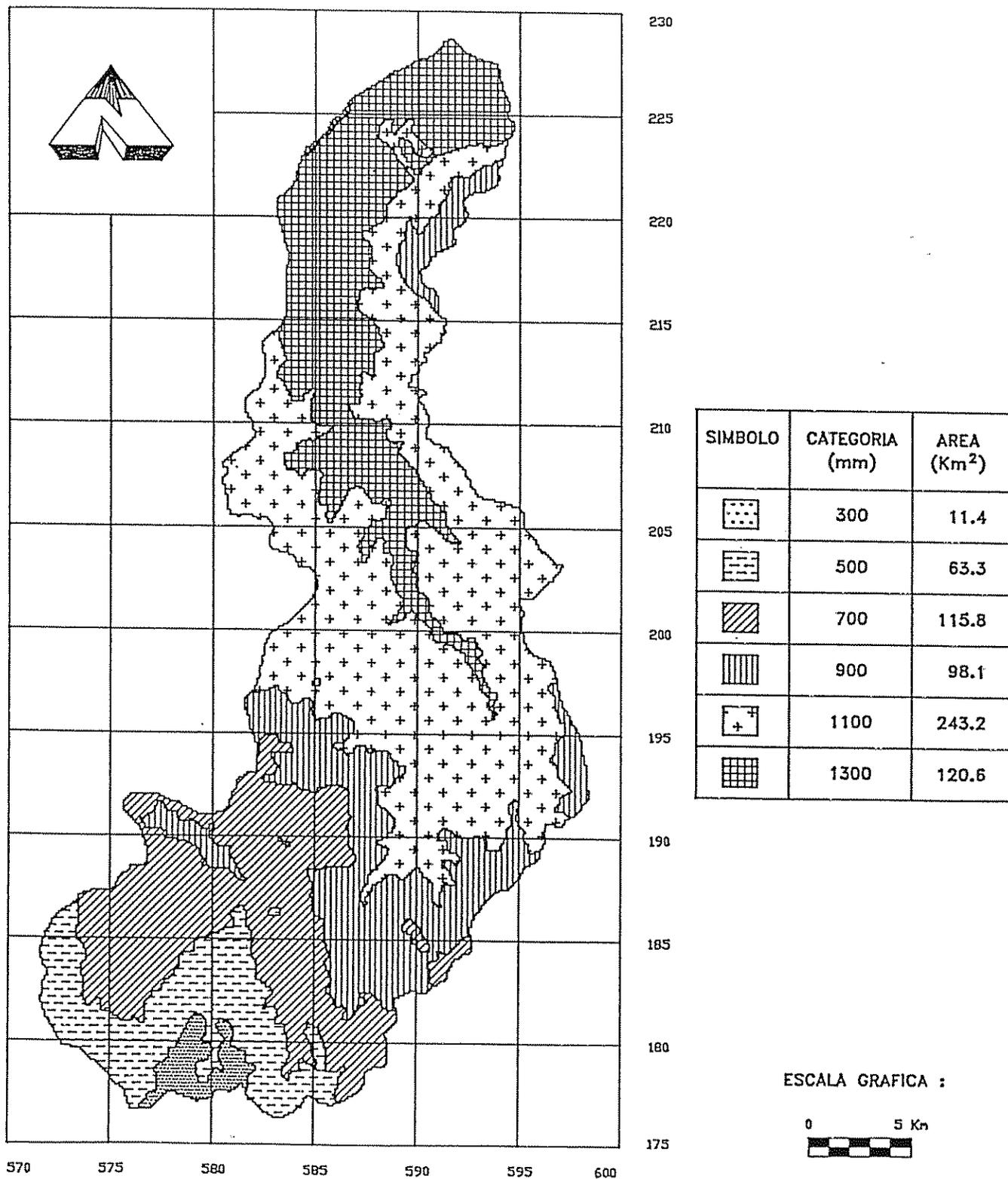
**Figura 5.1 Temperatura promedio anual cuenca  
Río Pacuare hasta Dos Montañas**  
(Derivado de fórmulas de Holdridge.)  
Realizado por Ing. Javier Saborío B.



## Figura 5.2 Evapotranspiración real promedio anual cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas

(Derivado de fórmulas de Holdridge.)

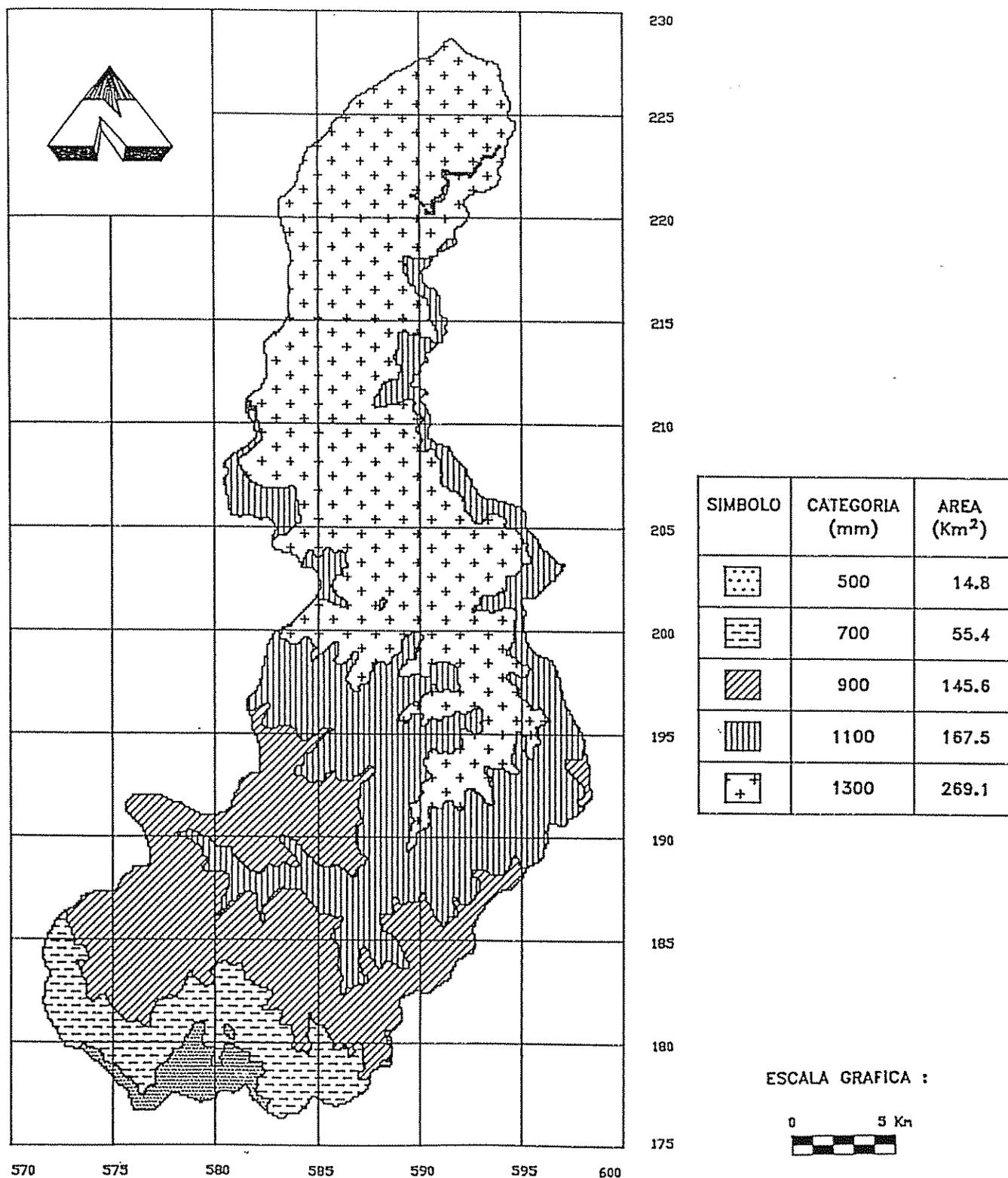
Realizado por Ing. Javier Saborío B.



### Figura 5.3 Evapotranspiración potencial promedio anual cuena Río Pacuare hasta Dos Montañas

(Derivado de fórmulas de Holdridge.)

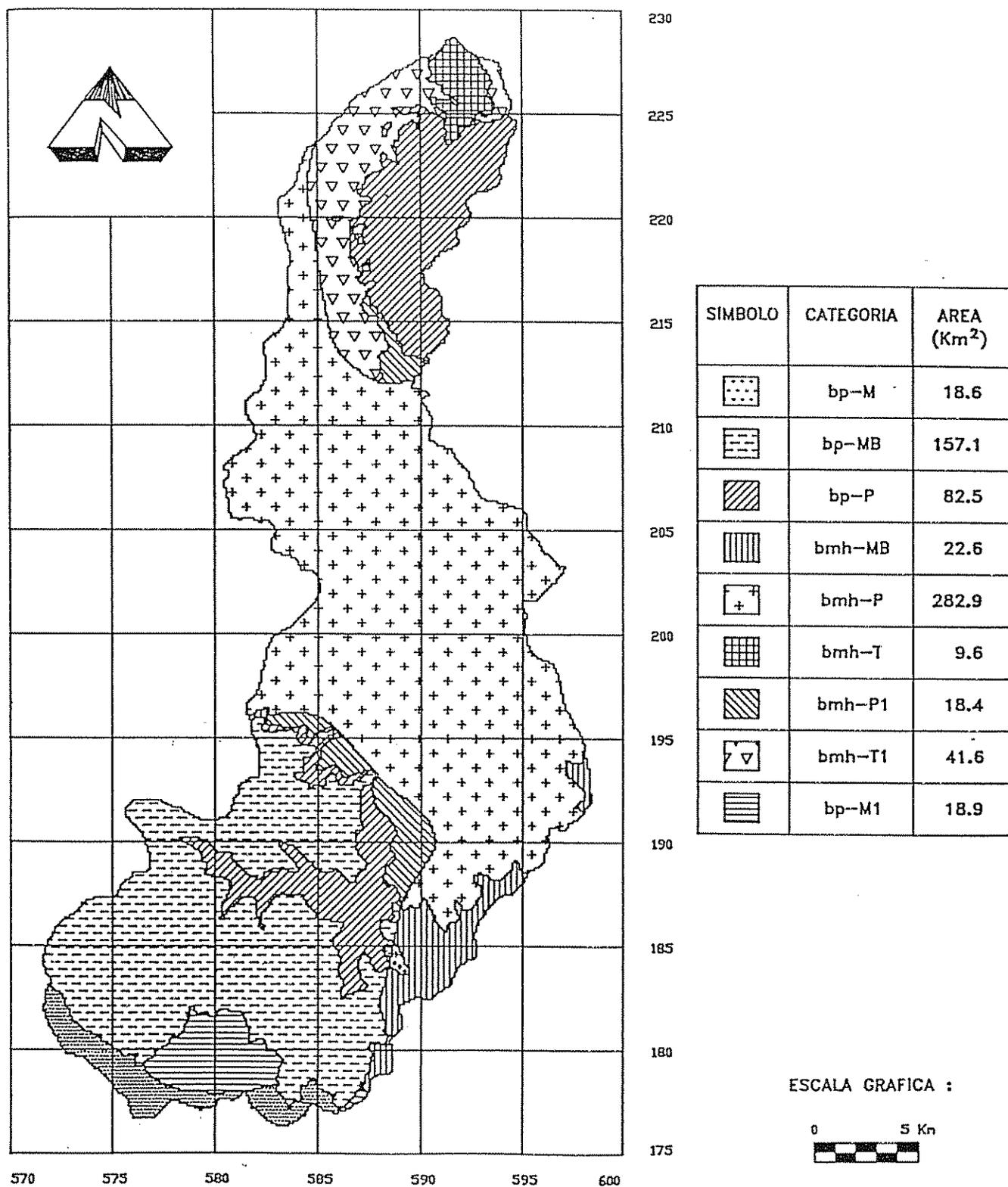
Realizado por Ing. Javier Saborío B.



### Figura 5.4 Zonas de vida cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas

(Derivado de fórmulas de Holdridge)

Por: Ing. Javier Saborío B.



Las diferencias se explican por las diferentes escalas usadas y porque variación de la definición de los límites de las zonas de transición. En todo caso lo rescatable aquí es la metodología del método en forma programada que permite obtener los mapas climáticos, incluyendo las zonas de vida a partir de los dos mapas básicos: modelo de elevación digital e isoyetas de precipitación en 5 minutos en un microcomputador 486/66, para un área de 652 Km<sup>2</sup>.

### 5.1.2 Resultados de la ecuación universal de pérdida de suelos

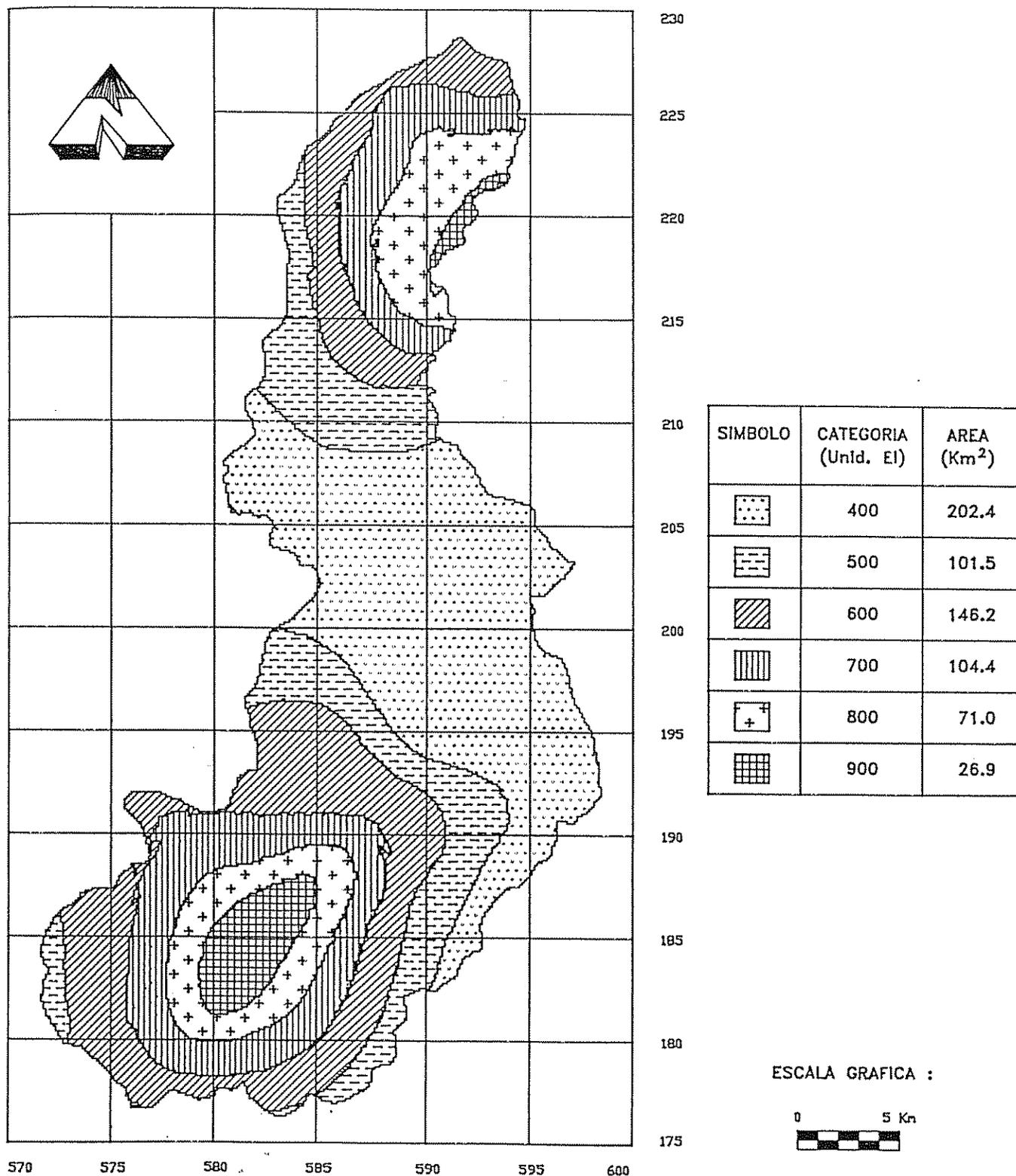
Se realizó el modelamiento espacial de la ecuación de pérdida de suelos, con los resultados presentados en la tabla N° 5.2, y en los mapas del factor R, factor K o mapa de suelos, factor LS, factor C o de cobertura y erosión potencial, presentados en las figuras N° 5.5 a N° 5.9. Por ser un modelo más simple en cuanto a operaciones aritmética espaciales, no se programó.

Tabla N° 5.2 Factores R, K, LS, C, P y erosión potencial para la Cuenca Río Pacuare

Mapa	Categorías	Porcentaje del área total	Valores
<b>Factor R</b> (unidades EI)	400	31.0	400
	500	15.6	500
	600	22.4	600
	700	16.0	700
	800	10.9	800
	900	4.1	900
<b>Factor K</b> (t-m / ha cm / h)	It-Tropaquet	8.3	0.25
	Ut-Tropohumult	82.1	0.14
	Im-Humitropept	9.6	0.17
<b>Factor LS</b> (adimensional)	P - plano	0.4	0.35
	SO - suavemente ondulado	5.0	2.11
	MO- Moderadamente ondulado	14.2	5.62
	FO - Fuertemente ondulado	23.9	11.79
	E - Escarpado	56.5	15.00
<b>Factor C</b> (adimensional)	Bosque	79.6	0.003
	Tacotal	0.5	0.008
	Pastos	16.6	0.01
	Charral	0.2	0.01
	Café	0.1	0.086
	Caña azúcar	2.8	0.34
	Otros cultivos	0.2	0.086
<b>Factor P (adim.)</b>	No se consideran prácticas	100.0	1.0
<b>Erosión potencial</b> (T/Ha/año)	Tolerable	92.4	0 - 10
	Moderada	4.7	10 - 50
	Severa	1.0	50 - 200
	Muy severa	1.9	> 200

**Figura 5.5 Factor R (precipitación + escorrentía) promedio anual  
cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas**

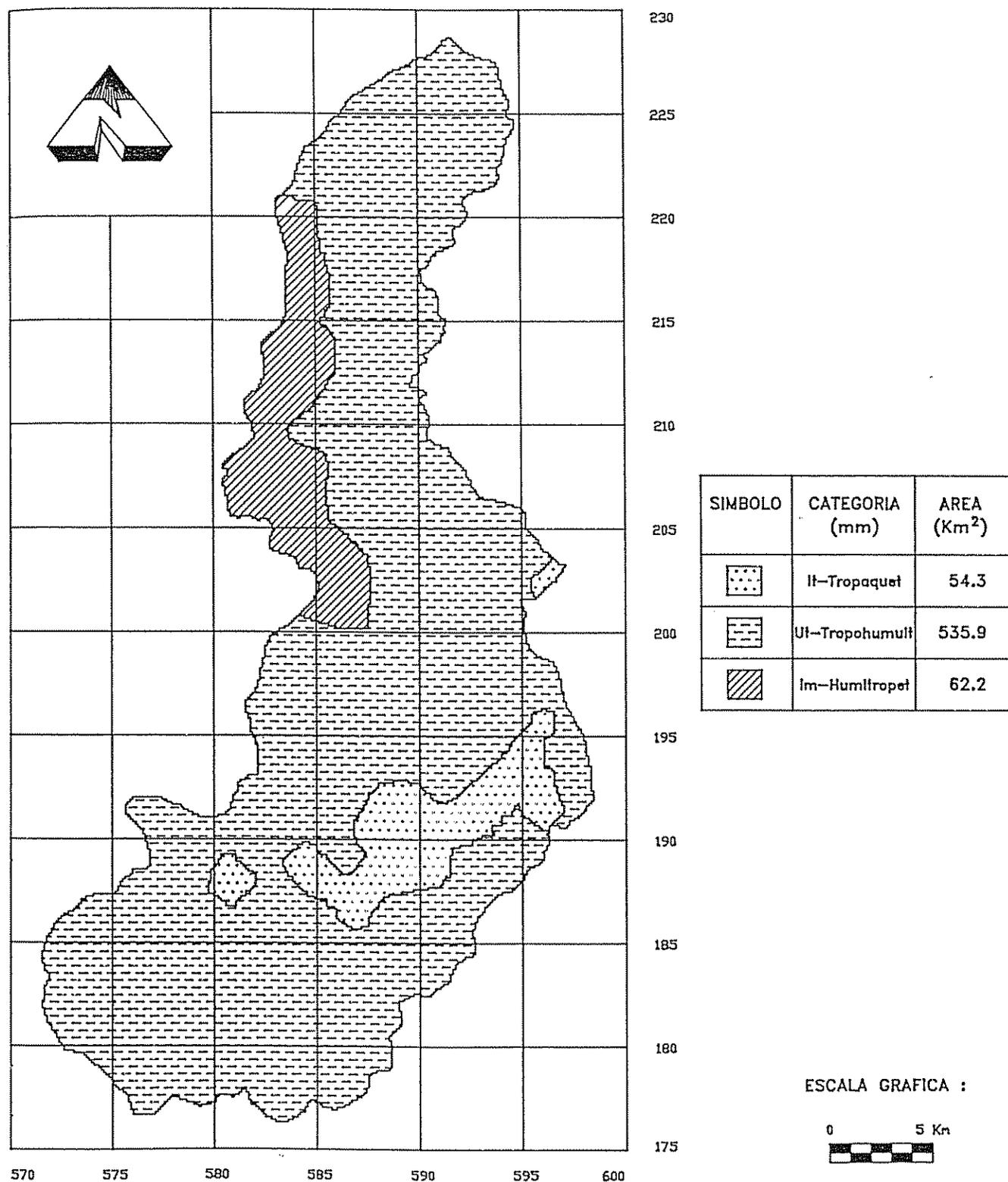
Realizado por Ing. Javier Saborío B.

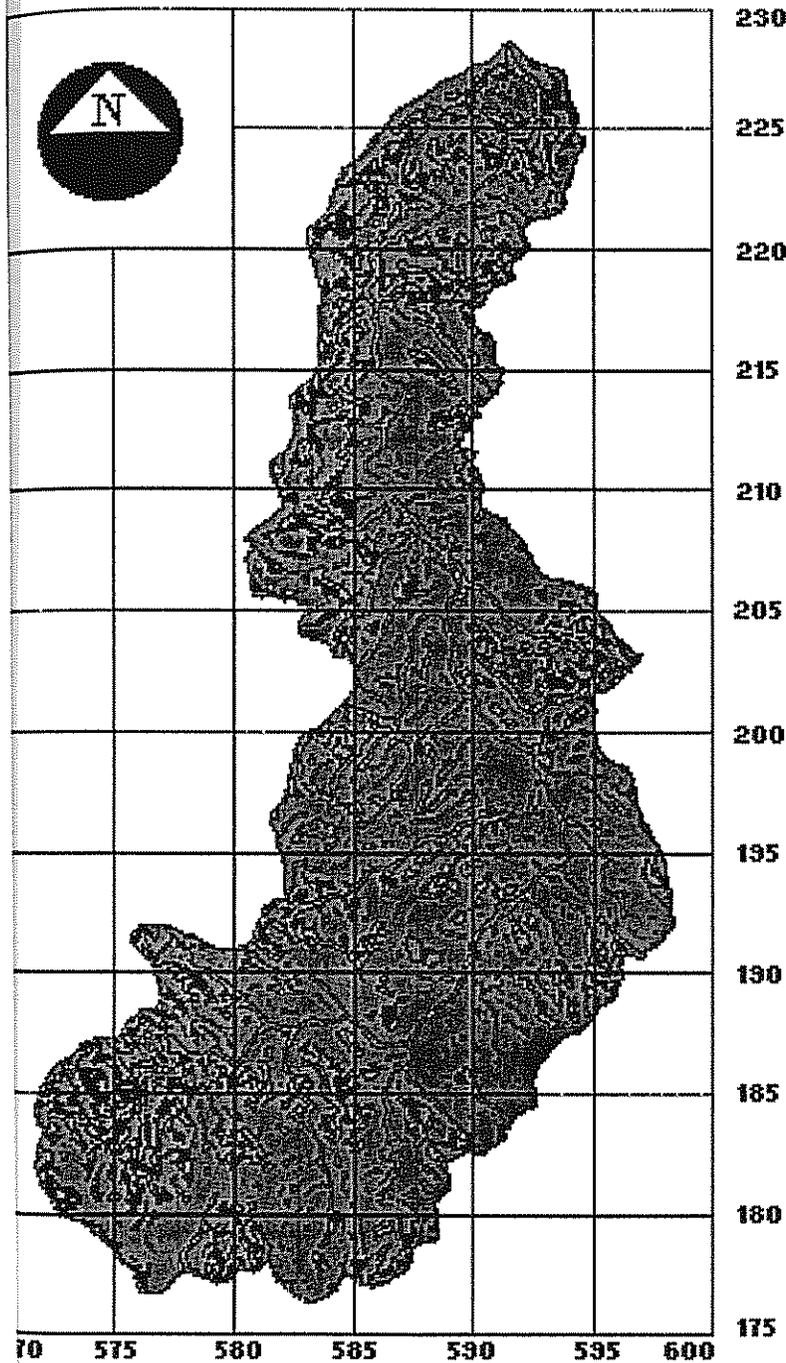


### Figura 5.6 Suelos principales cuenca Río Pacuare hasta Dos Montañas

(Fuente : Mapa de Suelos de Costa Rica)

Realizado por Ing. Javier Saborío B.





230

FIGURA 5.7

FACTOR "LS" CUENCA RIO PACUARE  
HASTA DOS MONTAÑAS.

225

(REALIZADO POR :ING. JAVIER SABORIO B)

220

215

COLOR	CATEGORIA	AREA (Km <sup>2</sup> )
	PLANO	2.6
	SUAV. ONDUL.	32.5
	MOD. ONDUL.	92.7
	FUERT. ONDUL.	156.1
	ESCARPADO	368.5

210

205

200

Escala Gráfica :



0 5 Km.

195

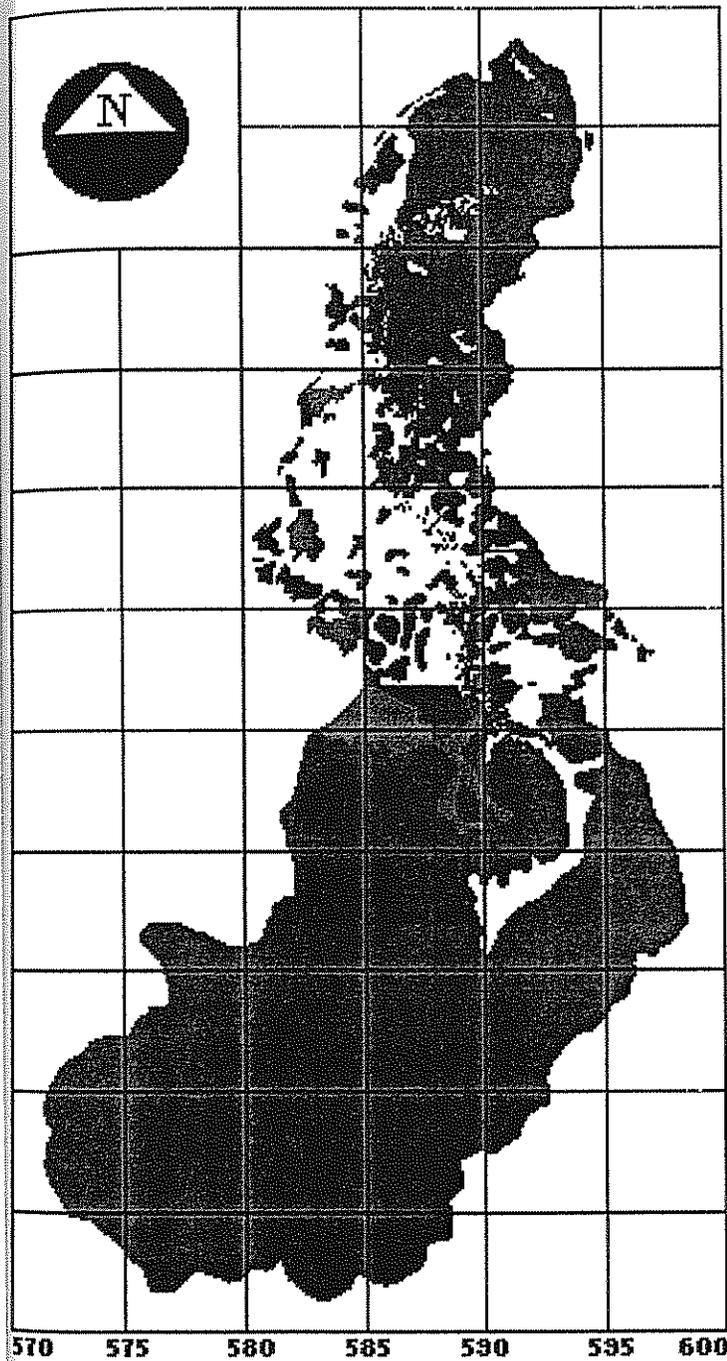
190

185

180

175

70 575 580 585 590 595 600



230

**FIGURA 5.8**

**USO ACTUAL - CUENCA RIO PACUARE  
HASTA DOS MONTAÑAS.**

225

**(REALIZADO POR :ING. JAYIER SABORIO B)**

220

215

COLOR	CATEGORIA	AREA (Km <sup>2</sup> )
	BOSQUE	519.2
	TACOTAL	3.4
	PASTOS	107.9
	CHARRAL	1.4
	CAFE	0.7
	CAÑA AZUCAR	18.5
	OTROS CULT.	1.3

210

205

200

195

**Escala Gráfica :**



**0 5 Km.**

190

185

180

175

570

575

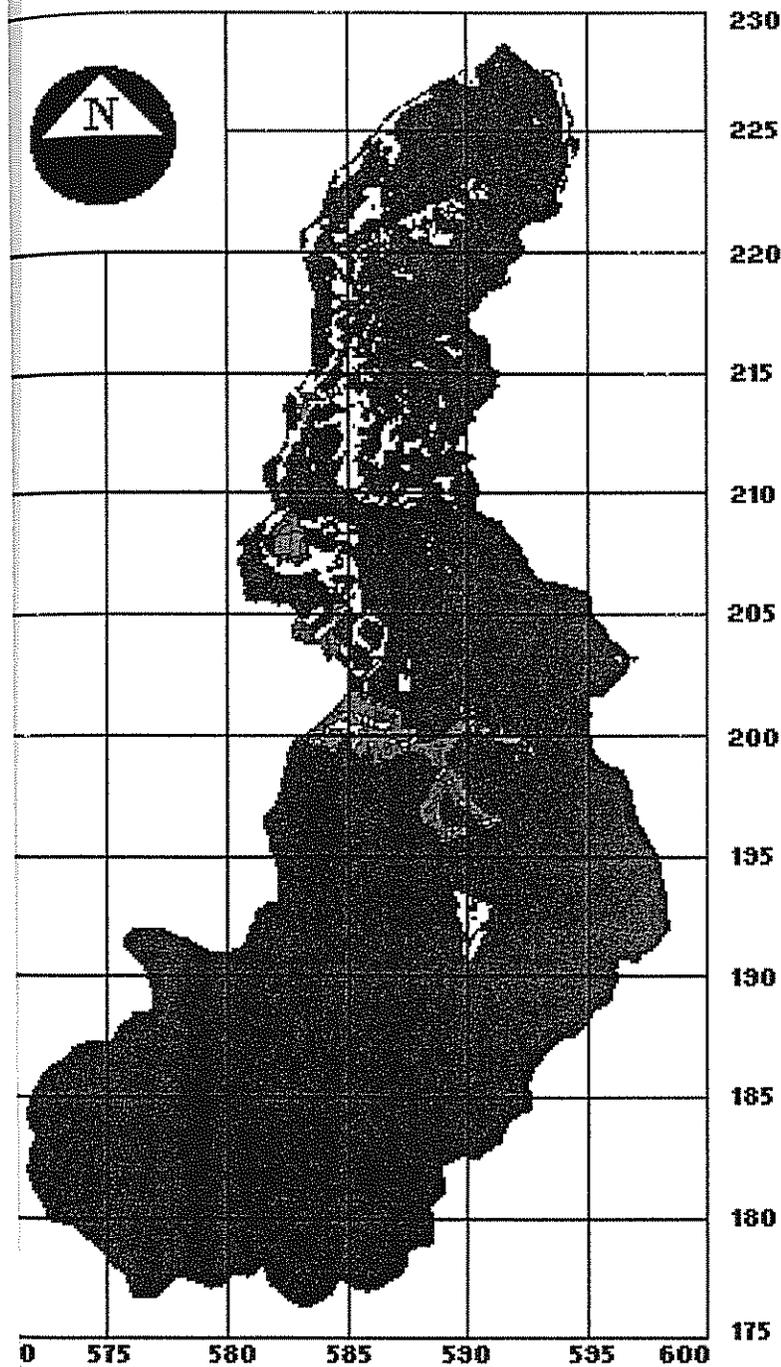
580

585

590

595

600



**FIGURA 5.9**  
**EROSION POTENCIAL**  
**CUENCA RIO PACUARE**  
**HASTA DOS MONTAÑAS.**  
 (REALIZADO POR :ING. JAYIER SABORIO B)

COLOR	CATEGORIA (TON/HAI/AÑO)	AREA (Km <sup>2</sup> )
	0 - 10	603.3
	10 - 50	30.6
	50 - 200	6.3
	> 200	12.2

Escala Gráfica :



A la fecha de conclusión de este estudio no existen estimados de la erosión potencial en la cuenca del R. Pacuare para su comparación. Sin embargo, la ecuación indica cualitativamente las áreas consideradas más críticas y que resultan ser las áreas más intervenidas. Según el estudio de los procesos de sedimentación y erosión (AB Hydroconsult, 1995) los especialistas señalan que un parámetro de peso a considerar son los deslizamientos, motivo por el que se prefirió realizar un modelo de erosión adaptado a las condiciones de la cuenca del R. Pacuare, que toma en cuenta entre otras variables la intensidad de la precipitación, las pendientes, tanto en magnitud, dirección y concavidad, características de los suelos y cobertura. La comparación de las metodologías puede encontrarse en el estudio citado, pues oportunamente se proveyó a AB Hydroconsult con los resultados presentados en este apartado.

## **5.2 Resultados generados - enfoque de cauce**

La preparación de la información de entrada al programa HEC6, requiere de información robusta. Parte de esta información por su importancia se considera resultados, tal es el caso de la información acerca de las características de las secciones transversales y de los datos hidrológicos utilizados en la modelación, así como los resultados del programa.

### **5.2.1 Características de las secciones transversales**

En la metodología se describieron los parámetros característicos de las secciones transversales: subsecciones o márgenes izquierda, centro y derecha, longitudes de alcance o espaciamiento entre secciones, valores del coeficiente de rugosidad de Manning y la forma en que fueron obtenidos, como resultados de módulos de IDRISI. En la tabla N° 5.3 se muestran los resultados obtenidos.

### **5.2.2 Area de drenaje y caudales del modelo**

La figura N° 5.10 resume la influencia de los tributarios al cauce principal del Río Pacuare, obtenido con el modelo de elevación digital y el programa IDRISI. El punto A en esta figura se utilizó como un punto de traslado de caudales, con el propósito de modelar de una mejor forma un espaciamiento largo entre las secciones inicial y final. La tabla N° 5.4 resume los valores de los caudales en el punto aguas abajo y el punto A para las condiciones húmeda, seca y promedio.

Tabla 5.3 Características de las secciones transversales

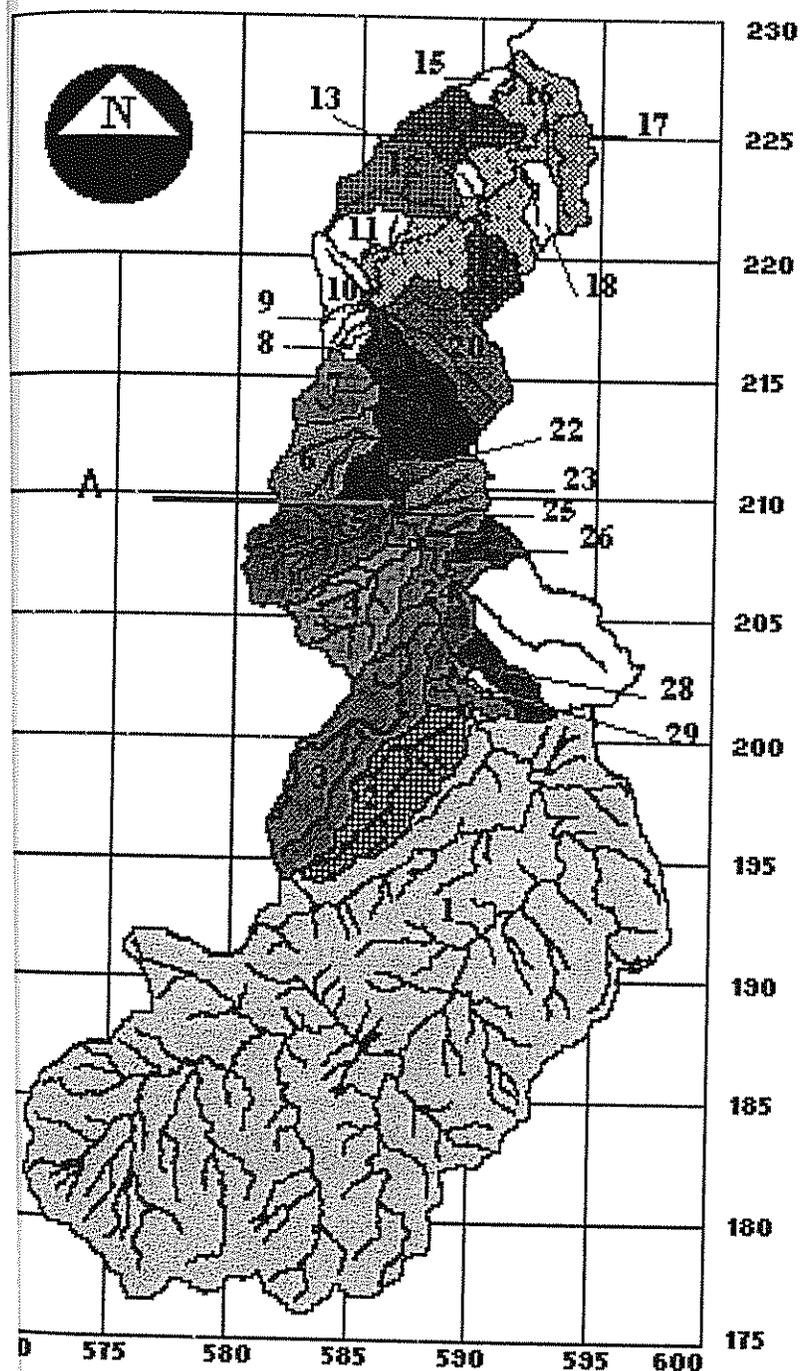
Nº Sección	Nº Transecto	Identif. Sección	Uso suelo			Textura superficial			Valores Manning			Espaciamento (m)		
			MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD
1	ni	1000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	-	-	
2	ni	2000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	1,291.4	1,307.0	1,310.4
3	ni	3000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	617.7	595.5	582.5
4	ni	4000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	1,654.6	1,597.9	1,513.4
5	ni	5000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	1,103.1	895.0	692.6
6	ni	6000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	323.1	349.9	375.9
7	ni	7000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	42.4	90.0	150.0
8	ni	8000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	161.6	150.0	134.2
9	ni	9000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	573.2	576.3	603.7
10	ni	10000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	558.0	594.0	636.4
11	ni	11000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	347.9	324.2	305.2
12	1	12000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	70.0	70.0	70.0
13	1	13000	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.053	0.150	80.0	80.0	80.0
14	1	14000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	442.7	438.3	437.3
15	1	15000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	40.0	38.1	36.1
16	1	16000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	35.0	33.5	38.1
17	1	17000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	47.4	40.3	33.5
18	1	18000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	25.0	28.3	33.5
19	1	19000	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	38.1	37.0	33.5
20	1	19010	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	246.7	247.4	262.0
21	1	19020	B	P	T	A	A/L	L	0.150	0.035	0.100	182.5	180.0	150.0
22	2	19030	B	P	T	A	A/L	L	0.150	0.035	0.100	240.0	174.9	108.2
23	2	19040	P	T	B	L	A	Ar	0.080	0.050	0.090	258.1	234.3	256.3
24	2	19050	P	T	B	L	A	Ar	0.080	0.050	0.090	254.8	254.8	276.6
25	3	19060	P	T	B	L	A	Ar	0.080	0.050	0.090	955.9	961.7	973.1
26	3	19070	T	T	B	L	A	Ar	0.080	0.050	0.090	150.0	316.3	297.0
27	3	19080	T	T	B	L	A	Ar	0.080	0.050	0.090	210.0	268.3	295.5
28	4	19090	B	B	B	L	A	L	0.110	0.050	0.110	560.5	540.8	540.8
29	5	19100	B	B	B	L	Ar	A	0.110	0.035	0.150	618.5	641.3	641.3
30	5	19110	B	B	B	L	L/A	A	0.110	0.035	0.150	436.8	457.0	483.7
31	5	19120	B	B	B	L	L/A	A	0.110	0.035	0.150	108.2	174.9	295.5
32	6	19130	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	750.0	735.5	735.5
33	6	19140	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	331.4	228.5	161.7
34	6	19150	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	256.3	189.7	94.9
35	6	19160	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	308.9	318.9	349.9
36	6	19170	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	134.2	218.4	323.1
37	6	19180	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	241.9	174.9	108.2
38	7	19190	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	240.0	300.0	390.0
39	7	19200	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	874.6	872.1	891.0
40	8	19210	B	B/P	P	A	A	A	0.150	0.035	0.100	492.0	540.8	594.0
41	8	19220	T/B	T/B	B	A	A	A	0.110	0.050	0.150	301.5	268.3	212.1
42	8	19230	B	B	B	A	A	A	0.150	0.050	0.150	276.6	192.1	150.0
43	8	19240	B	B	B	A	Ar	A	0.150	0.035	0.150	270.0	182.5	150.0
44	8	19250	B	B	B	A	Ar	A	0.150	0.035	0.150	297.0	318.9	362.5
45	8	19260	P	B/P	B	A	Ar	A	0.110	0.035	0.150	94.9	189.7	283.0
46	8	19270	P	P	P	Ar	A	A	0.080	0.050	0.080	67.1	108.2	234.3
47	8	19280	P	P	P	Ar	A	A	0.080	0.050	0.080	375.9	323.1	241.9
48	9	19290	P	P	P	Ar	Ar	A	0.080	0.035	0.080	517.9	454.0	429.5
49	9	19300	P	Ch	B	Ar	Ar	A	0.080	0.035	0.080	150.0	241.9	342.1
50	9	19310	B	P	B/P	A	A	A	0.150	0.050	0.090	234.3	247.4	305.9

Tabla 5.3 continuación, Características de las secciones transversales

N° Sección	N° Transecto	Identif. Sección	Uso suelo			Textura superficial			Valores Manning			Espaciamiento (m)		
			MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD
51	10	19320	B	B/P	P	A	A	A	0.150	0.050	0.090	318.9	192.1	60.0
52	10	19330	B	B	P	A	A	A	0.150	0.050	0.090	782.3	787.5	806.1
53	11	19340	P	B	B	A	A	A	0.080	0.050	0.150	127.3	201.3	276.6
54	11	19350	T	T	P	A	A/L	L	0.110	0.035	0.080	420.0	330.0	276.6
55	11	19360	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	254.6	276.6	295.5
56	11	19361	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	480.0	494.8	536.6
57	11	19362	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.150	0.035	0.080	379.4	268.3	169.7
58	11	19363	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	240.0	359.9	479.9
59	11	19364	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	379.4	339.4	169.7
60	11	19365	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	268.3	339.4	479.9
61	11	19366	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	359.9	239.4	120.0
62	11	19367	B/T	T	P	Ar	Ar/L	L	0.110	0.035	0.080	239.9	240.0	169.7
63	14	19370	B	B	B	Ar	A	L	0.150	0.050	0.110	134.2	153.0	212.1
64	14	19380	T	B/C	B	L	A	L	0.110	0.050	0.110	239.7	239.7	239.7
65	14	19390	B	B	B	L	A	L	0.150	0.050	0.110	189.7	134.2	67.1
66	14	19400	B	B/C	C	Ar	A	L	0.110	0.050	0.080	342.1	457.0	597.8
67	15	19410	B	B/C	C	L	A	L	0.110	0.050	0.110	351.1	318.9	297.0
68	15	19420	B/C	C	B	L	A	L	0.110	0.050	0.110	234.3	192.1	134.2
69	15	19430	C	C	B	L	A	L	0.110	0.050	0.110	174.9	90.0	84.9
70	15	19440	B	B/T	T	L	A	L	0.150	0.050	0.110	67.1	174.9	283.0
71	15	19450	B	B	T	L	A	L	0.150	0.050	0.110	201.2	134.2	94.9
72	15	19460	B	B	B	L	A	L	0.150	0.050	0.110	295.5	189.7	127.3
73	15	20000	B	B	B	L	A	L	0.150	0.050	0.110	201.2	201.2	218.4
74	16	20010	B	P	P	L	A	L	0.150	0.050	0.011	42.4	67.1	94.9
75	16	20020	B	P	B/P	L	A	A/L	0.150	0.035	0.080	429.5	424.3	420.0
76	16	20030	B	B/P	B	L	A	L	0.150	0.050	0.080	247.4	189.7	123.7
77	16	20040	B	T	T	L	A	A/L	0.150	0.050	0.080	134.2	192.1	241.9
78	17	20050	T	C	B	L	A	A/L	0.110	0.050	0.110	517.9	570.0	630.0
79	17	20060	P	P/B	B	L	A	A/L	0.080	0.050	0.110	402.5	375.9	362.5
80	18	20070	P	P/B	B	L	A	A/L	0.080	0.050	0.110	228.5	150.0	60.0
81	18	20080	P	P/B	B	Ar	A	A/L	0.080	0.050	0.130	361.3	381.8	384.2
82	18	20090	P	P/B	B	Ar	A	A/L	0.080	0.050	0.130	120.0	174.9	216.3
83	18	20100	P	P/C	C	Ar	A	A/L	0.080	0.050	0.110	295.5	268.3	189.7
84	18	20110	Ch	Ch/B	B	Ar	A	A/L	0.090	0.050	0.130	284.6	241.9	216.3
85	18	20115	Ch	Ch/B	B	Ar	A	A/L	0.090	0.050	0.130	494.8	432.6	432.6
86	20	20120	B	B	B	L	A	A/L	0.110	0.050	0.130	599.9	758.9	865.3
87	21	20130	B	B	B	L	A	A/Ar	0.110	0.050	0.130	902.5	997.3	1,100.2
88	21	20140	P	Ch	B	Ar	A/Ar	Ar	0.080	0.035	0.090	488.4	402.5	375.9
89	22	20150	P/Ch	Ch	P/Ch	Ar	A/Ar	Ar	0.080	0.035	0.090	509.1	466.7	469.6
90	22	20160	B	B/P	P	L	A	Ar	0.110	0.050	0.090	721.3	725.6	752.4
91	23	20170	B	B	B	L	Ar	Ar	0.110	0.035	0.090	937.2	942.0	952.9
92	23	20180	B	B	B	Ar	Ar	Ar	0.090	0.035	0.090	402.5	284.6	180.0
93	24	21000	B	B	B	Ar	Ar	Ar	0.090	0.035	0.090	403.6	295.5	276.6
94	24	22000	B	T	B	Ar	Ar	Ar	0.090	0.035	0.090	785.4	633.7	633.6
95	24	24000	B	B	B	Ar	Ar	Ar	0.090	0.035	0.090	67.1	67.1	42.4
96	24	24005	B	B	B	Ar	Ar	Ar	0.090	0.050	0.090	276.6	276.6	276.6
97	24	24010	B	B	B	Ar	Ar	A	0.090	0.050	0.090	295.5	268.3	258.1
98	25	24020	P	B	T	Ar	A	A/L	0.090	0.050	0.090	323.1	283.0	234.3
99	25	24030	P	B/P	P	Ar	A	A/Ar	0.080	0.050	0.090	323.1	258.1	234.3
100	25	24040	P	P	P	Ar	A	A/Ar	0.080	0.050	0.090	303.6	349.9	318.9

Tabla 5.3 continuación, Características de las secciones transversales

Nº Sección	Nº Transecto	Identif. Sección	Uso suelo			Textura superficial			Valores Manning			Espaciamiento (m)		
			MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD	MI	CC	MD
101	26	24050	P/B	P	P	Ar	A	A/L	0.090	0.050	0.090	342.1	443.0	540.8
102	26	24060	P	P/B	P	Ar	A	A/Ar	0.090	0.050	0.090	436.8	457.0	488.4
103	27	24070	P	P/B	P	L/Ar	A	A/L	0.090	0.050	0.090	330.0	276.6	241.9
104	27	24080	P	P/B	P	L	A	A/L	0.080	0.050	0.090	324.5	318.9	308.9
105	27	24090	C	P	P	A	A	A/L	0.090	0.050	0.090	300.0	362.5	450.0
106	28	24100	P/C	C	P	L	A	A/Ar	0.090	0.050	0.090	547.0	458.9	360.0
107	28	24110	P	P	P	A	Ar/A	A	0.090	0.035	0.090	402.5	300.0	170.0
108	28	24120	P	P	P	A	A	A	0.090	0.050	0.090	330.0	284.6	234.3
109	28	24130	P	P	P	A	A	A/Ar	0.090	0.050	0.090	60.0	123.7	201.3
110	28	24140	P	P	P	L	A	A/L	0.090	0.050	0.090	42.4	127.3	241.9
111	29	24150	P	P/C	C	L	A	A/L	0.090	0.050	0.090	201.3	150.0	108.2
112	29	24160	P	P	P	A	A	A/L	0.090	0.050	0.090	989.5	1,005.8	1,008.5
113	30	24170	P	P	Ch/B	L	L/A	A/AR	0.090	0.035	0.090	218.4	300.0	384.2
114	30	24180	P	P	Ch/B	L	A	A/AR	0.090	0.050	0.090	284.6	180.0	90.0
115	30	24190	P	P	Ch/B	L	A	A/AR	0.090	0.050	0.090	510.9	469.6	424.3
116	31	24200	T	B	B	L	A	A/AR	0.110	0.050	0.120	1,260.0	1,295.6	1,376.7
117	32	24210	P	P	B	Ar	Ar/A	A/L	0.090	0.035	0.110	417.9	365.0	361.3
118	33	24220	P	P/T	T/B	L	A	A/L	0.150	0.050	0.130	807.8	755.4	750.0
119	33	24230	B/T	T	T/B	Ar	A	A	0.150	0.050	0.100	729.9	730.5	792.6
120	34	24240	B	B/T	T	A	A	A/L	0.100	0.050	0.120	390.0	276.6	210.0
121	34	24250	Ch	Ch	B	L/A	A	A/L	0.100	0.050	0.120	371.1	335.0	330.0
122	35	24260	Ch	Ch	Ch	A	A	A/Ar	0.100	0.050	0.090	80.2	151.3	236.3
123	35	24270	Ch	Ch	Ch	A	A	A	0.100	0.050	0.090	7.1	25.0	44.8
124	35	25000	Ch	Ch	Ch	A	A	A	0.100	0.050	0.090	80.0	70.2	70.0
125	35	26000	Ch	Ch	Ch	A	A	A	0.100	0.050	0.090	90.0	96.2	103.1
126	35	27000	Ch	Ch	Ch	A	A	A	0.100	0.050	0.090	75.0	70.0	70.2
127	35	27010	Ch	Ch	Ch	L	A	A	0.100	0.050	0.090	45.0	45.0	45.0
128	35	28000	Ch	Ch	Ch	L	A	A	0.080	0.050	0.120	664.1	635.7	617.4
129	36	28010	C/B	B	B	A	A	A/L	0.080	0.050	0.090	331.4	323.1	305.9
130	36	28020	C	C	B	L	L/A	L	0.100	0.035	0.090	330.0	313.2	305.9
131	36	28030	Ch	T	C	L	L/A	L	0.100	0.035	0.080	268.3	161.6	108.2
132	37	28040	B	T	C	L	A	A/L	0.100	0.050	0.080	212.3	169.7	108.2
133	37	28050	Ch/T	T/P	T/C	L	A	A/L	0.090	0.050	0.100	560.4	569.2	582.5
134	37	28060	P	Ch	Ch/C	L	A	A/L	0.150	0.050	0.100	234.3	256.3	308.9
135	38	28070	B	Ch	Ch	L	A	A/L	0.150	0.050	0.100	254.6	169.8	84.9
136	38	28080	B/T	Ch	Ch	A	A	A	0.110	0.050	0.100	182.5	161.6	120.0
137	38	28090	T	P	Ch/C	A	A	A/L	0.110	0.050	0.100	60.0	134.2	247.4
138	38	28100	T	Ch	Ch/C	A	A	A	0.110	0.050	0.100	84.9	161.6	216.3
139	38	28110	T	Ch	Ch/C	A	A	A/L	0.100	0.050	0.090	108.2	134.2	174.9
140	38	28120	Ch	Ch	Ch	A	A	A	0.150	0.050	0.150	330.0	331.4	335.4
141	ni	28130	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	300.0	210.0	134.2
142	ni	28140	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	161.6	189.7	201.2
143	ni	28150	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	84.9	174.9	241.9
144	ni	28160	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	523.9	517.9	494.8
145	ni	28170	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	626.4	635.7	641.3
146	ni	28180	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	247.4	153.0	84.9
147	ni	28190	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	189.7	276.6	351.1
148	ni	28200	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150	150.0	189.7	256.3
149	ni	28210	ni	ni	ni	ni	ni	ni	0.150	0.035	0.150			
												51044.5	49976.1	50109.6



**Figura 5.10**  
**Subcuencas y areas**  
**de drenaje en la**  
**Cuenca del R. Pacuare**

Nº	Area	Nº	Area
1	367.0	16	29.5
2	19.3	17	6.8
3	31.1	18	3.9
4	16.4	19	6.4
5	18.3	20	15.9
6	11.0	21	22.0
7	7.3	22	1.9
8	1.4	23	6.2
9	2.5	24	16.9
10	4.8	25	2.2
11	5.3	26	4.0
12	11.8	27	26.0
13	1.5	28	5.3
14	9.2	29	1.1
15	2.3	<b>Total</b>	<b>657.4</b>

Area a Bajo Pacuare : 367.4  
 Area a est. Pacuare : 356.6  
 Area al punto A : 509.9  
 Area a est. Dos Montañas: 651.8

meters  
 11232.42



**TABLA Nº 5.4 Cálculo histogramas anuales, promedio, húmedo y seco**

AÑO PROMEDIO			RELAC.		Caudal	
ESTACION PACUARE			Punto A		A. Abajo	Punto A
T(DIAS)	q (m3/s)	T * q	q(m3/s)		q(m3/s)	q(m3/s)
13	21.8	283.4	31.2	31.2	30.5	9.4
4	27.9	111.6	39.9	39.9	39.0	12.0
5	32.6	163.0	46.6	46.6	45.6	14.0
8	37.3	298.4	53.3	53.3	52.1	16.0
11	42.9	471.9	61.3	61.3	60.0	18.4
2	46.5	93.0	66.5	66.5	65.0	20.0
2	42.6	85.2	60.9	60.9	59.6	18.3
22	38.4	844.8	54.9	53.7	53.7	16.5
46	33.1	1,522.6	47.3	46.3	46.3	14.2
4	37.2	148.8	53.2	52.0	52.0	16.0
28	42.7	1,195.6	61.1	59.7	59.7	18.4
15	48.0	720.0	68.6	67.1	67.1	20.6
27	53.6	1,447.2	76.6	74.9	74.9	23.0
5	58.3	291.5	83.4	81.5	81.5	25.1
6	46.8	280.8	66.9	65.4	65.4	20.1
3	53.4	160.2	76.4	74.6	74.6	23.0
9	43.4	390.6	62.1	60.7	60.7	18.7
6	38.8	232.8	55.5	54.2	54.2	16.7
3	47.0	141.0	67.2	65.7	65.7	20.2
4	39.4	157.6	56.3	55.1	55.1	16.9
2	49.5	99.0	70.8	69.2	69.2	21.3
3	43.0	129.0	61.5	60.1	60.1	18.5
13	35.9	466.7	51.3	50.2	50.2	15.4
14	26.5	371.0	37.9	37.0	37.0	11.4
12	22.5	270.0	32.2	31.5	31.5	9.7
5	19.6	98.0	28.0	27.4	27.4	8.4
5	21.6	108.0	30.9	30.2	30.2	9.3
16	17.7	283.2	25.3	24.7	24.7	7.6
5	14.5	72.5	20.7	20.3	20.3	6.2
9	16.2	145.8	23.2	22.6	22.6	7.0
35	14.1	493.5	20.2	19.7	19.7	6.1
3	23.8	71.4	34.0	33.3	33.3	10.2
20	17.3	346.0	24.7	24.2	24.2	7.4
365	3.2	32.9	4.5	4.4	4.4	1.4
			47.0	45.9	45.9	14.1

AÑO HUMEDO			RELAC.		Caudal	
ESTACION PACUARE			Punto A		Aguas A.	Punto A
T(DIAS)	q (m3/s)	T * q	q(m3/s)		q(m3/s)	q(m3/s)
50	58.6	2,930.0	83.8	81.9	81.9	25.2
39	43.7	1,704.3	62.5	61.1	61.1	18.8
1	26.7	267.0	381.8	373.2	373.2	114.8
39	57.1	2,226.1	81.6	79.8	79.8	24.5
54	75.2	4,060.8	107.5	105.1	105.1	32.3
8	195.5	1,564.0	279.5	273.3	273.3	84.0
6	109.5	667.0	156.6	153.1	153.1	47.1
3	162.3	486.9	232.1	226.9	226.9	69.8
6	86.9	521.4	124.3	121.5	121.5	37.4
10	44.5	445.0	63.6	62.2	62.2	19.1
3	291	873.0	416.1	406.8	406.8	125.1
4	130.3	521.2	186.3	182.1	182.1	56.0
1	310.0	310.0	443.3	433.4	433.4	133.3
2	174.5	349.0	249.5	243.9	243.9	75.0
6	92.8	556.8	132.7	129.7	129.7	39.9
1	412.0	412.0	589.1	575.9	575.9	177.1
3	122.0	366.0	174.4	170.5	170.5	52.4
10	60.5	605.0	86.5	84.6	84.6	26.0
1	140.0	140.0	200.2	195.7	195.7	60.2
6	109.8	658.8	157.0	153.5	153.5	47.2
35	48.7	1,704.5	69.6	68.1	68.1	20.9
2	102.0	204.0	145.8	142.6	142.6	43.8
4	63.5	254.0	90.8	88.8	88.8	27.3
32	24.5	784.0	35.0	34.2	34.2	10.5
10	56.4	564.0	80.6	78.8	78.8	24.2
6	20.7	124.2	29.6	28.9	28.9	8.9
2	381.5	763.0	545.5	533.3	533.3	164.0
7	264.0	1,848.0	377.5	369.1	369.1	113.5
10	29.8	298.0	42.6	41.7	41.7	12.8
4	60.4	241.6	86.4	84.4	84.4	26.0
365	10.9	71.8	15.6	15.3	15.3	4.7
			102.6	100.3	100.3	30.9

AÑO SECO			RELAC.		Caudal	
ESTACION PACUARE			Punto A		A. Abajo	Punto A
T(DIAS)	q (m3/s)	T * q	q(m3/s)		q(m3/s)	q(m3/s)
14	7.1	99.4	10.2	9.9	9.9	3.1
7	12.1	84.7	17.3	16.9	16.9	5.2
4	19.6	78.4	28.0	27.4	27.4	8.4
4	35.7	142.8	51.0	49.9	49.9	15.3
7	22.9	160.3	32.7	32.0	32.0	9.8
4	33	132.0	47.2	46.1	46.1	14.2
14	22.4	313.6	32.0	31.3	31.3	9.6
5	36.7	183.5	52.5	51.3	51.3	15.8
2	48.5	97.0	69.3	67.8	67.8	20.8
4	26.3	105.2	37.6	36.8	36.8	11.3
14	21.3	298.2	30.5	29.8	29.8	9.2
13	17.9	232.7	25.6	25.0	25.0	7.7
8	28.4	227.2	40.6	39.7	39.7	12.2
5	21.5	107.5	30.7	30.1	30.1	9.2
16	18.1	289.6	25.9	25.3	25.3	7.8
12	21.7	260.4	31.0	30.3	30.3	9.3
4	18.9	75.6	27.0	26.4	26.4	8.1
2	26	52.0	37.2	36.3	36.3	11.2
7	19	133.0	27.2	26.6	26.6	8.2
7	29.9	209.3	42.8	41.8	41.8	12.9
6	22.6	135.6	32.3	31.6	31.6	9.7
15	28.6	429.0	40.9	40.0	40.0	12.3
6	34.1	204.6	48.8	47.7	47.7	14.7
4	52	208.0	74.4	72.7	72.7	22.4
7	26.8	187.6	38.3	37.5	37.5	11.5
27	20.5	553.5	29.3	28.7	28.7	8.8
29	12.7	368.3	18.2	17.8	17.8	5.5
8	9.2	73.6	13.2	12.9	12.9	4.0
4	11.2	44.8	16.0	15.7	15.7	4.8
79	6.9	545.1	9.9	9.6	9.6	3.0
25	5.9	147.5	8.4	8.2	8.2	2.5
2	30.5	61.0	43.6	42.6	42.6	13.1
365	2.0	17.1	2.6	2.6	2.6	0.6
			24.4	23.9	23.9	7.4

### 5.2.3 Resultados del modelo HEC6

Una vez asegurada la calibración del prototipo, cumpliendo los requisitos para los tres grandes grupos de variables requeridas por el programa HEC6: geométricas, hidrológicas y de sedimentos, se procede a la simulación de diferentes escenarios.

Se debe advertir que esta versión de HEC6 requiere de los datos en sistema inglés, lo que obliga a trabajar las secciones en pies, los caudales en  $\text{pie}^3/\text{seg}$  y las temperaturas en grados fahrenheit. En el anexo 2 los datos de entrada están en el sistema inglés. En tanto que los resultados presentados a continuación se han trasladado al sistema internacional.

Los resultados obtenidos aunque cuantitativos deben considerarse como una guía al comportamiento del cauce, por cuanto obedecen a criterios y simplificaciones realizadas con el propósito de lograr la modelación, dentro de las limitaciones de información presentes en esta área. Las limitaciones mayores se pueden resumir como:

a. Datos de secciones.

Se aceptó un error de  $\pm 2.5$  mts para las secciones derivadas del modelo de elevación digital

b. Datos de sedimentos

Los datos de sedimentos se consideran son representativos a nivel promedio para el cauce principal, pero se carece de información de los aportes dado que no se cuenta con datos de sedimentos para los diferentes afluentes medidos en el campo.

c. Datos hidrológicos

La variación de la curva descarga -elevación no es estable para las condiciones de los ríos de montaña en cuencas tropicales. Si bien se utilizó la curva en uso actual, una alteración futura de las condiciones climáticas provocaría cambios que incidirían en los resultados obtenidos.

d. Selección de la función de transporte de sedimentos

El programa HEC6 se ejecutó para una condición de caudal promedio de 45.9  $\text{m}^3/\text{s}$  para un año, con un sedimento de entrada de 194.21  $\text{ton}/\text{día}$ , variando las diferentes fórmulas para transporte de sedimentos por utilizar, los resultados se muestra en la tabla 5.5. Se ha escogido la fórmula de Yang para efectuar la modelación por cuanto la textura predominante del cauce del río es de arenas, por lo que se recomienda esta fórmula (USACE, 1992). Esta fórmula presenta un menor arraste si se compara con las otras y en particular con Meyer Peter y Müller que se ha venido utilizando en el ICE (DEB, 1994).

**Tabla 5.5 Variación de las fórmulas de transporte de sedimentos  
(Tiempo 1 año, caudal promedio)**

Fórmula	Sedimento de salida (Ton/día)	Eficiencia
Toffaleti	43.47	.79
Madden	42.34	.80
Yang	32.97	.84
Du Boys	55.12	.74
Ackers White	48.02	.77
Colby	25.74	.88
Toffaleti y Schoklitsch	48.90	.77
Meyer Peter y Müller	41.08	.81
Toffaleti y Meyer Peter y Müller	46.95	.78
Madden modificado por Laursen	45.64	.79
Laursen modificado por Copeland	38.34	.82

#### 5.2.4 Simulación para diferentes condiciones hidrológicas

El programa se ejecutó para 3 condiciones hidrológicas: año seco, año promedio y año húmedo, así como para las combinaciones de años seguidos: húmedo, promedio y seco y promedio, húmedo y seco. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.6. Claramente se observan los transectos donde ocurre deposición o bien socavación o arrastre. Considerando los valores positivos como de deposición y los valores negativos como de arrastre, se pueden indicar las tendencias predominantes para la condición promedio, que se incluyen en la figura N° 5.11.

Se observa que en las partes en que el río forma meandros y después de ciertos codos se presenta deposición y en las partes más rectas hay arrastre. Se tiene una mayor acumulación hacia las partes bajas, con énfasis al acercarse a la estación Dos Montañas. En la parte alta ocurre deposición por cuanto se partió desde la estación Pacuare, en el sitio conocido como Bajo Pacuare y donde las condiciones harían que se diese esta acumulación.

#### 5.2.5 Medidas de calibración

Dependiendo de los objetivos finales, se realizan diferentes calibraciones, la principal resulta ser la de los niveles del agua en estaciones ubicadas aguas arriba. En este caso se cuenta solo con la curva de descarga elevación aguas arriba en la estación Pacuare.

La figura N° 5.12 muestra la comparación de los niveles para diferentes caudales, obtenidos luego de simular un año promedio, luego de una condición hidrológica de 3 años seguidos: húmedo, promedio seco, y de considerar el respectivo valor del caudal. La figura muestra la curva de descarga real en la estación Pacuare y los estimados para las secciones transversales próximas a la estación.

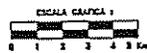
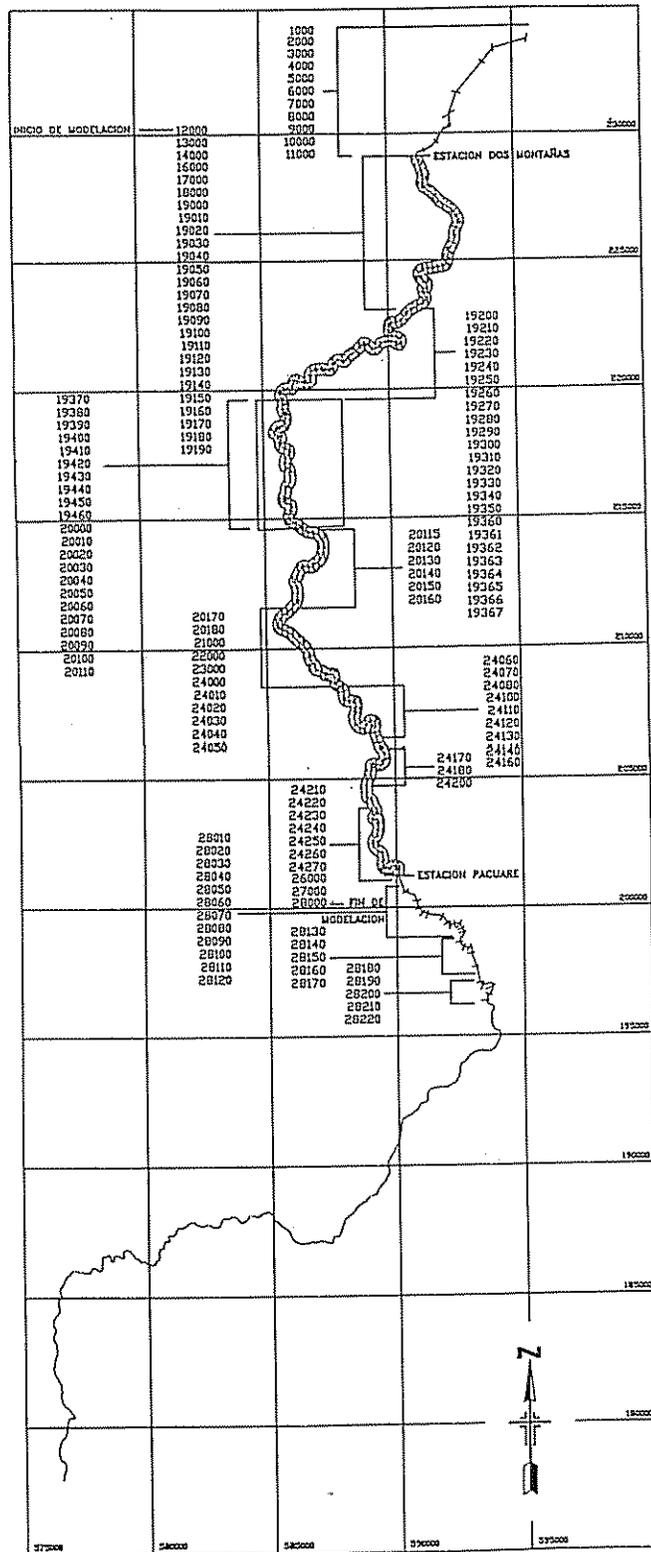
Tabla N° 5.6 Resultados de la modelación bajo diferentes condiciones hidrológicas

N° Sección	Condición seca		Condición promedio		Condición húmeda		Cond. HUM+PROM+SEC		Cond. PROM+HUM+SEC	
	T= 365 días		T= 365 días		T= 365 días		T= 3 años		T= 3 años	
	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día
28000	-0.63	170	-0.84	31	6.01	604	1.40	156	-1.56	170
27000	-0.76	247	-0.88	39	0.12	604	-2.31	157	-3.60	252
26000	0.01	218	0.02	36	3.07	753	0.01	152	9.99	250
24270	0.00	250	0.03	30	1.50	8590	0.00	160	0.01	286
24260	-3.02	210	-3.04	36	-3.01	8736	-3.03	148	-9.96	365
24250	-3.04	239	-3.02	29	1.86	19684	-3.04	137	-9.96	418
24240	-0.76	242	-1.72	32	-3.01	19813	-3.04	152	-9.97	452
24230	-1.55	458	-2.04	112	-2.72	19934	-3.04	158	-9.96	468
24220	-3.02	404	-3.02	104	2.30	28075	0.86	161	-9.95	498
24210	-3.03	392	-3.03	111	-1.99	59418	-3.04	228	-9.96	521
24200	1.02	385	-0.01	161	-2.71	59473	-3.04	191	-9.98	540
24180	1.40	359	1.97	120	3.82	52087	1.16	655	5.11	757
24170	-0.76	347	-3.02	127	-0.29	52170	0.39	621	1.58	729
24160	0.06	528	0.29	105	1.63	47565	1.32	626	7.61	762
24140	-2.77	611	-2.37	95	12.73	47577	12.37	622	22.87	737
24130	-2.85	678	-3.01	83	-1.15	48386	-1.15	579	-4.09	749
24120	-3.01	571	-3.01	69	-2.97	49197	-3.03	531	-9.97	817
24110	-3.02	525	-3.04	82	-1.76	46239	-3.03	533	7.48	791
24100	-3.03	511	-3.01	68	-2.12	44589	-3.03	541	-9.97	857
24080	-3.02	436	-3.03	75	-1.12	51149	-1.68	517	7.04	901
24070	-1.68	457	-3.04	86	-0.80	55754	-1.70	566	-6.60	924
24060	-3.03	467	-3.00	72	-2.96	56697	-3.03	508	-9.66	978
24050	-3.04	608	-3.03	78	-0.75	56653	-0.68	482	-2.33	910
24040	0.05	681	0.02	76	0.82	54396	2.29	466	23.02	903
24030	0.98	746	2.08	78	2.26	51599	0.24	479	12.44	905
24020	1.56	804	0.55	118	11.66	16094	6.78	476	-9.93	847
24010	-3.04	945	-3.00	98	-3.04	17291	-3.03	418	-9.98	897
24000	-1.76	93	-2.36	97	-1.49	17154	-1.48	413	-7.62	894
23000	0.58	176	0.36	105	3.32	15142	-3.04	423	-2.26	1150
22000	0.00	521	0.05	89	0.00	20679	0.01	390	0.00	1202
21000	-2.98	247	-3.04	126	-3.04	21443	-3.03	347	-9.88	1035
20180	-2.97	837	-3.00	154	-1.42	19524	-3.00	325	-9.78	913
20170	-2.95	165	-2.84	164	-1.79	19521	-1.80	327	-5.21	912
20160	-0.50	166	-0.52	161	-1.11	16219	-2.83	696	-1.67	912
20150	-0.96	436	-1.46	377	-1.25	15571	-2.98	1032	-9.78	955
20140	0.00	242	0.09	304	0.48	13574	0.00	1325	0.00	1075
20130	-2.97	595	-2.93	285	-2.97	18517	-2.94	1087	-9.23	1083
20120	-0.66	597	-1.41	286	-2.20	18521	-2.23	1088	-4.78	1086
20115	-0.36	596	-0.12	285	0.03	19056	-0.04	1089	-0.40	1085
20110	-0.39	596	1.24	285	1.16	19254	0.48	1087	4.18	1085
20100	0.03	723	0.00	331	2.40	22780	0.02	1092	0.01	1203
20090	-3.03	975	-3.03	368	-3.03	27767	-3.00	956	-9.95	1293
20080	-3.04	165	-2.90	295	-3.03	30316	-3.01	821	-9.96	1367
20070	-2.91	385	-2.94	236	-0.29	30218	-2.30	799	-9.97	1397
20060	-1.43	396	-2.93	190	-3.04	34666	-3.02	700	-9.98	1443
20050	-0.82	398	-1.49	199	-1.60	34047	-3.04	1061	-9.87	1239
20040	-0.02	398	-0.51	202	0.18	32439	-1.61	1304	-6.69	1141
20030	-0.27	411	-0.48	202	0.96	32153	-1.23	2241	-9.80	1178
20020	0.08	781	0.05	179	3.23	32167	3.15	2239	0.08	1032
20010	-2.32	560	-2.94	237	-1.32	32167	-2.86	1914	-9.66	1085
20000	-1.33	844	-0.90	244	-1.23	32188	-1.39	1890	-9.55	990
19460	-0.30	643	-1.05	250	-0.19	30413	-0.55	1912	-3.54	963
19450	-2.24	931	-1.18	255	5.97	30405	5.95	1896	-5.02	963
19440	-1.02	56	0.31	261	7.64	30403	7.76	1904	14.86	965
19430	-2.90	955	5.38	246	-1.94	30403	-1.69	1908	22.02	962

Tabla N° 5.6 cont. Resultados de la modelación bajo diferentes condiciones hidrológicas

N° Sección	Condición seca		Condición promedio		Condición húmeda		Cond. HUM+PROM+SEC		Cond. PROM+HUM+SEC	
	T= 365 días		T= 365 días		T= 365 días		T= 3 años		T= 3 años	
	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día	Fondo (mts)	Arrastre Ton/día
19420	12.12	948	11.47	246	8.60	30394	12.90	1891	38.16	959
19410	0.03	322	0.07	204	0.23	30627	0.00	2645	0.02	1064
19400	1.80	211	0.03	179	0.10	31624	0.00	3356	0.02	1106
19390	0.11	0	0.02	160	0.19	31562	0.04	3299	0.02	1115
19380	9.50	0	3.29	4	14.65	16092	8.38	4118	24.70	2351
19370	9.78	259	0.00	38	0.94	15746	0.11	4019	13.14	2171
19367	1.53	260	-3.04	41	-3.04	16011	-2.95	3578	-9.98	2189
19366	0.04	224	2.77	40	0.25	16013	0.00	4960	0.05	2077
19365	4.18	211	4.12	43	4.42	16013	0.02	5629	26.54	1333
19364	0.00	225	5.04	45	1.34	16108	0.12	5561	2.14	1340
19363	2.94	224	-1.24	211	0.84	16008	-0.52	5563	11.30	1339
19362	-2.79	64	-1.36	205	0.05	15161	-2.51	5577	-9.24	2136
19361	-2.99	148	-1.66	195	-1.34	15147	-1.15	7265	4.75	2136
19360	10.07	152	1.05	212	16.87	15141	14.62	7109	31.65	2720
19350	2.72	0	13.41	0	10.62	5792	19.29	7107	59.07	1129
19340	0.00	0	0.70	0	14.90	5915	12.82	6844	4.36	915
19330	0.00	0	4.88	0	13.43	26646	16.29	3209	56.03	680
19320	0.00	0	0.00	0	10.77	18694	15.16	2883	35.90	416
19310	-2.04	437	-2.71	20	-1.18	14676	6.85	2552	29.50	1342
19300	-2.88	457	-2.88	21	-2.76	14328	-2.86	2470	-9.45	1342
19290	-3.04	489	-3.04	26	-3.00	14627	-3.01	2365	-9.87	1220
19280	-0.98	490	-2.99	22	-3.00	14959	-2.96	2166	-9.78	1152
19270	-2.70	769	-2.97	20	-2.64	14055	-2.97	2240	-9.71	1094
19260	3.28	275	2.63	20	0.86	12507	-0.62	2615	8.32	1095
19250	-2.93	215	-2.95	24	-2.95	12910	-2.93	2543	-9.61	1031
19240	-0.00	214	-0.25	24	-0.16	12910	-0.12	2543	-0.61	1030
19230	0.94	312	-0.71	38	3.67	12965	2.23	2543	-6.31	1030
19220	-0.27	305	0.49	39	-0.34	11018	-1.70	2143	1.62	1030
19210	-2.85	230	-2.86	34	-2.78	11240	-2.86	2131	-9.39	1158
19200	-1.58	232	-0.70	35	-1.32	11243	-2.64	2115	-8.64	1017
19190	-1.73	530	-2.10	87	-2.08	11648	-2.26	1916	-7.47	1020
19180	-1.83	531	-2.30	119	-1.69	14790	-2.39	1782	-7.91	1033
19170	-2.43	479	-2.50	130	-1.77	13754	-2.51	1886	-8.14	975
19160	-2.61	732	-2.58	121	-2.61	14325	-2.58	1744	-8.54	1382
19150	-2.18	740	-2.76	134	-2.62	13867	-2.76	1793	-9.05	1673
19140	0.06	733	0.06	123	0.62	12973	0.00	1903	0.02	2009
19130	-0.86	722	-2.97	145	-2.97	14055	-2.94	1640	-9.62	1746
19120	-2.99	529	-2.99	131	-2.60	11976	-3.00	1641	-9.84	1951
19110	-0.49	511	-3.01	154	-3.01	13814	-2.99	1449	-9.78	1684
19100	0.00	848	0.03	124	0.45	11478	0.00	1638	0.00	3124
19090	-2.98	307	-3.04	150	-3.04	13755	-3.02	1420	-9.84	2711
19080	0.00	566	0.04	126	2.58	13748	0.03	1263	0.01	3285
19070	2.60	563	0.17	113	1.73	13750	1.65	1262	0.09	3410
19060	0.01	565	0.01	109	0.25	11472	0.00	1328	0.05	3484
19050	0.00	889	0.02	89	0.32	9596	0.00	1551	0.00	4088
19040	0.00	219	0.02	75	0.32	8594	0.00	1827	0.00	4396
19030	0.04	334	0.02	65	0.00	10883	0.03	1667	0.18	4121
19020	0.15	272	4.35	65	0.03	11875	0.04	1609	0.15	4163
19010	0.01	512	0.01	90	0.29	11962	0.01	1719	0.16	4108
19000	0.12	633	0.39	84	0.25	11991	0.01	1791	0.03	4210
18000	5.36	644	0.54	88	5.17	11991	4.89	1785	5.01	4249
17000	0.87	666	0.69	83	0.30	11978	0.05	1788	2.73	4272
16000	0.64	711	2.76	102	2.44	12381	2.90	1778	44.52	4274
14000	0.09	239	0.02	385	0.00	13340	0.05	1723	0.42	5392
13000	0.03	365	0.05	356	0.36	12451	0.03	2170	0.06	5955
12000	0.00	506	0.28	291	0.53	12041	0.00	2221	0.04	5980

Tendencias de deposición y arrastre  
 Cauce principal Río Pacuare  
 Condición promedio  
 (Según modelación con HEC6, para condición promedio)



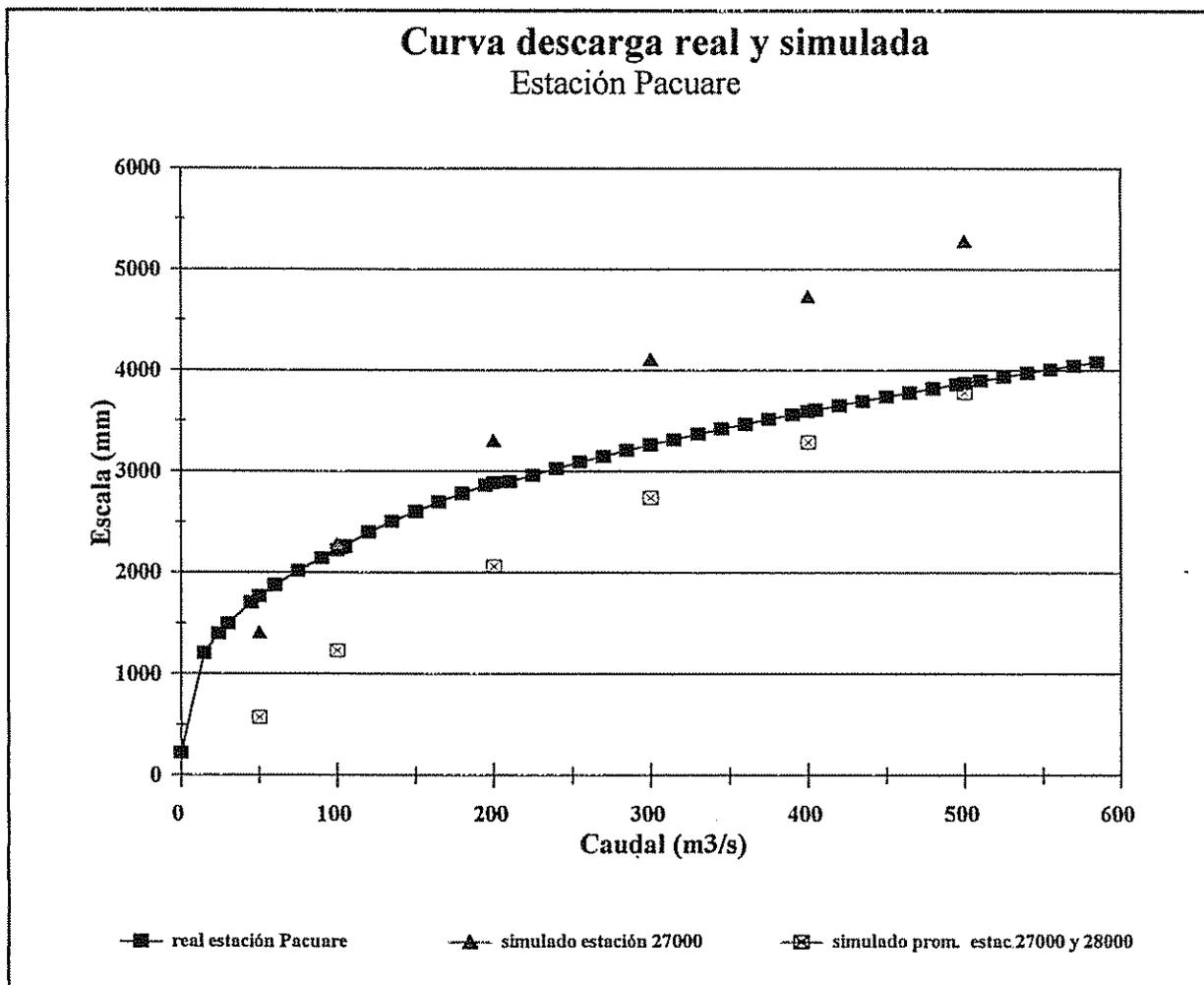
NOTAS :

NÚMERO DE SECCIONES TOTALES : 150  
 NÚMERO DE SECCIONES PARA MODELAR CON HEC6 : 117

LAS SECCIONES ESTÁN IDENTIFICADAS EN SU LUGAR FUERON MEDIDAS EN EL CAMPO  
 LAS SECCIONES EN EL ÁREA DENSIFICADA FUERON OBTENIDAS DEL MED ESCALA 1:6000  
 EL RESTO DE SECCIONES SE OBTUVIERON DEL MED ESCALA 1:60000



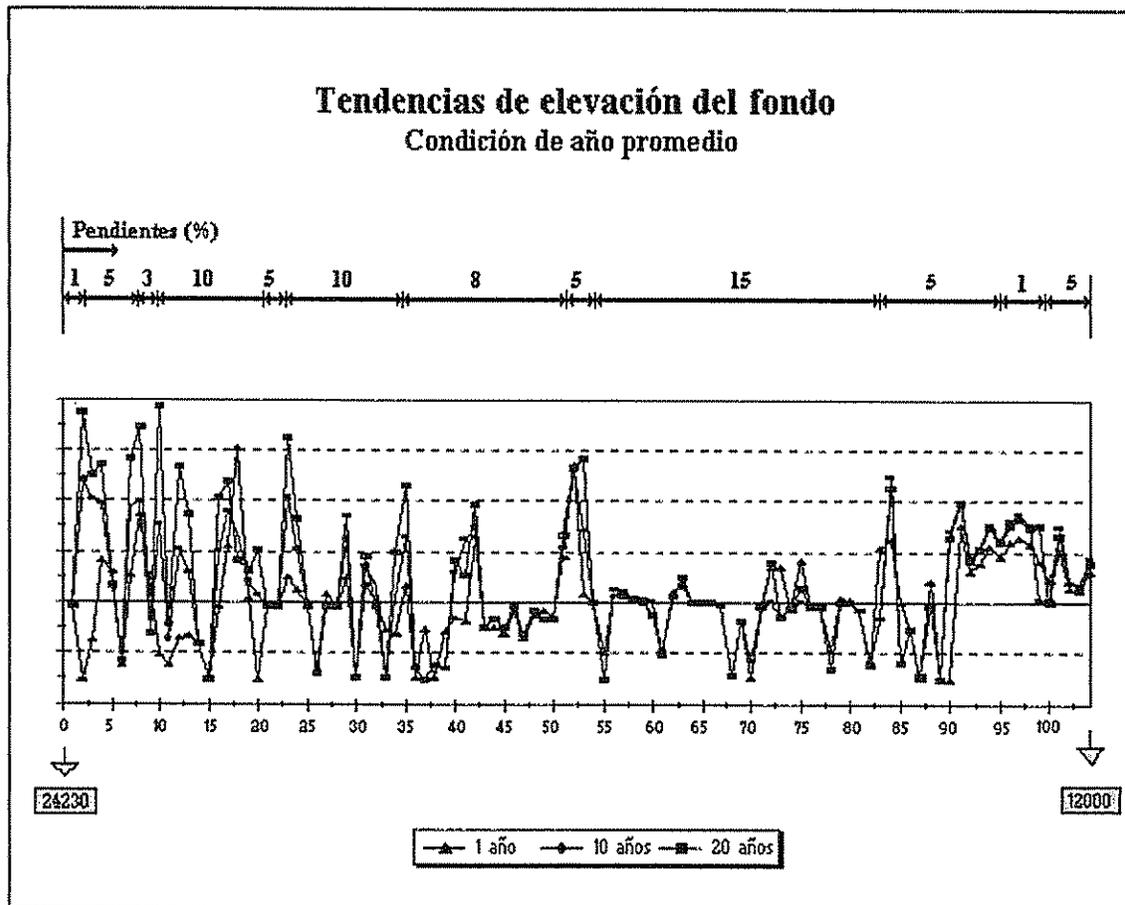
Figura N° 5.11 Comparación entre niveles de agua real y simulados



### 5.2.6 Simulación con otros escenarios

Una vez calibrado el prototipo, el programa HEC6 tiene diferentes opciones de análisis de acuerdo a los objetivos del estudio requerido. Se emplea para simular escenarios que sean útiles para la toma de decisiones, por ejemplo, se podría considerar un trasvase en un punto dado del cauce como un caudal de entrada afluente, considerar un represa y hacer el respectivo análisis de sedimentación-colmatación, o bien predecir el comportamiento del cauce en un período de tiempo dado. Este último caso fue considerado, bajo horizontes de 10 y 20 años, se procedió a realizar simulaciones bajo caudales promedio. Los resultados se muestran en la figura 5.13. Para este análisis se fijó como límite la estación 24230 aguas arriba, eliminando aquellas secciones que por condiciones hidrogeomorfológicas presentaron mayor deposición.

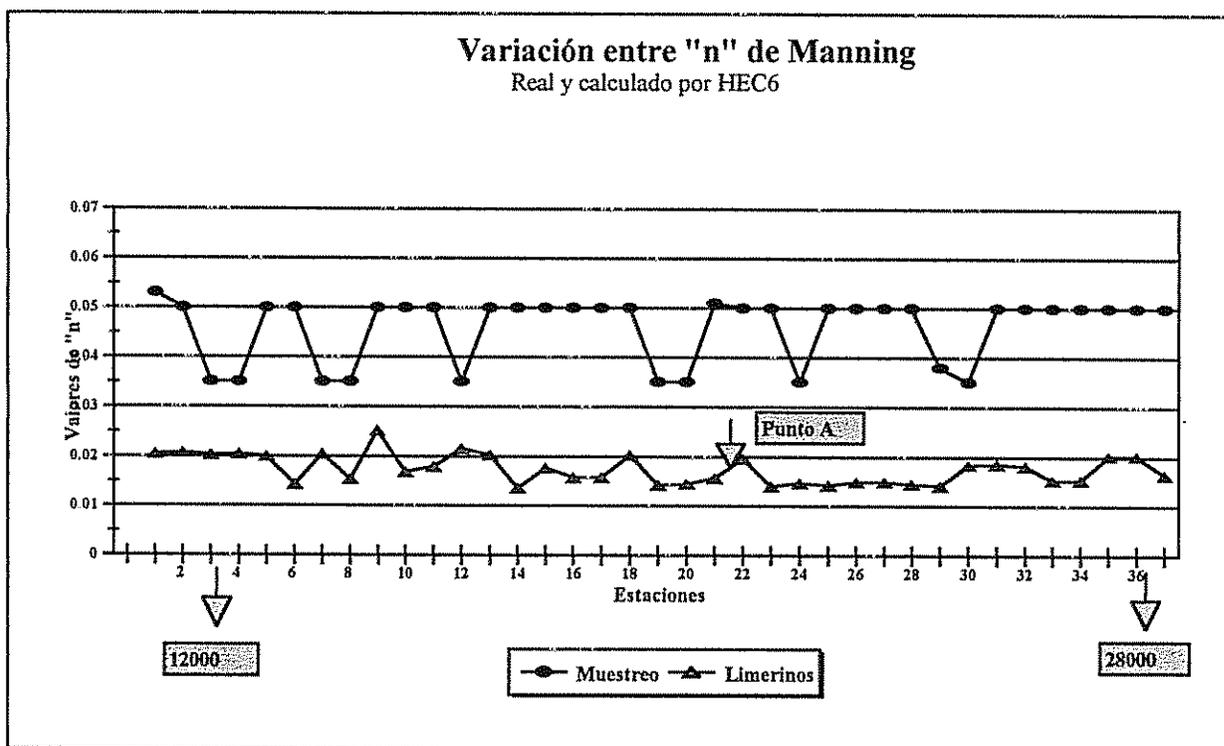
Figura N° 5.13 Variación del fondo del cauce principal del Río Pacuare, para 10 y 20 años con caudal promedio



### 5.2.7 Pruebas de "n" de Manning

HEC6 da la posibilidad de realizar cálculos automáticos de los coeficientes de Manning, utilizando para esto el método de Limerinos como función de la gradación del material del fondo. Para realizar esto, basta con agregar el registro especial \$KL justo debajo del registro \$HYD. Al efectuar esta simulación se obtienen los "n" calculados por el método de Limerinos, que están por debajo de los "n" con que se ha calibrado el modelo. Esto es indicativo de que la gradaciones utilizadas se deben mejorar. Aunque se podría utilizar una gradación teórica de ajuste de los "n", esto se hace generalmente en modelación del transporte de sedimentos en embalses, más que en modelación del cauce. La figura 5.14 muestra la variación de los coeficientes de "n".

Figura 5.13 Variación entre coeficientes de Manning, obtenidos de análisis de muestras y de información auxiliar con los dados por el programa HEC6



La variación se explica porque la fórmula de Limerinos basa sus estimados mediante una ecuación que toma en cuenta el radio hidráulico y el tamaño de las partículas en el fondo, de las que el 85% de material del fondo es más fino, mientras que los muestreos corresponden a un diámetro del 50%.

Sin embargo, la mayor diferencia se debe a que los valores de sedimentos utilizados están bien en los porcentajes de partículas más finas pero no así en las más gruesas, esto último se pone en evidencia al considerar la parte de flujo afluente en el punto A de la modelación, donde se siguen usando los mismos valores de sedimentos y se observa una disminución mayor en los valores de Manning dados por la ecuación de Limerinos.

## **6. Conclusiones**

### **6.1 Respecto a la metodología de Holdridge**

Para este modelo basta con utilizar modelos de elevación digital: elevaciones e isoyetas. El uso de un pixel de 120 x 120 mts es suficiente para obtener resultados dentro de un margen de error razonable.

El cálculo del escurrimiento promedio anual basado en las ecuaciones obtenidas de los gráficos de Holdridge, para la cuenca del Río Pacuare resulta ser del orden de un 8%, lo cual es indicativo de la bondad de este modelo.

El error cometido sobre el cálculo del escurrimiento se puede disminuir al hacer correcciones de acuerdo al uso del suelo. Hay que recordar que el modelo se basa en las ecuaciones obtenidas para condiciones naturales, esto es para áreas no intervenidas. Esto particularmente es cierto pues el error de 8% no se distribuye uniformemente en la cuenca bajo análisis.

Se puede afirmar que el error para las diferentes variables de evapotranspiración potencial, real, biotemperatura, relación de evapotranspiración y trazo de zonas de vida, es menor del 10%.

El SIG utilizado en forma programada resulta ser una herramienta muy valiosa para la obtención de los mapas climáticos, incluyendo el de zonas de vida, para una cuenca como la del Río Pacuare, el obtener los mapas de evapotranspiración real y potencial, biotemperatura, escurrimiento y zonas de vida no demora más de 5 minutos en microcomputador 486/66, un vez programado el modelo.

### **6.2 Respecto a la ecuación de pérdida universal de suelos.**

El modelo de elevación digital resulta vital para el cálculo de los componentes LS, esto es longitud de pendiente y pendiente. Este factor ha sido tratado por el método del círculo, en forma manual y la posibilidad de obtenerlo vía los módulos SIG favorece su cálculo.

El pixel de 120x120 mts es suficiente para los cálculos de la ecuación. Más aún, el error cometido si se modela con un pixel de 500 x500 es despreciable, menos de 2% en cálculo de las áreas.

Este modelo debe comprenderse como cualitativo más que cuantitativo. Su comparación con otros mapas de erosión (AB Hydroconsult, 1995) a nivel preliminar resulta en valores en exceso, sin embargo hay coincidencia en las áreas consideradas que aportan mayor erosión laminar.

Las áreas cultivadas, en particular, plantaciones de caña de azúcar y de café así como pasto son las áreas que aportan mayor cantidad de sedimentos, comparadas contra la que aportan los bosques. Sin embargo debe recordarse que el mapa de uso del suelo en su mayor parte corresponde a la escala 1:200000 y hay evidencia de que el bosque está siendo disminuido, inclusive en áreas consideradas como de reserva.

La herramienta SIG para esta modelación resulta ser muy importante y de mucha ayuda para el analista. Aunque se puede programar, dado que no es el modelo que está bajo estudio y para el que hay modificaciones, se prefirió no incluir su programación.

### **6.3 Respecto a la modelación con HEC6.**

A pesar de las limitaciones en información se logra efectuar una modelación del programa HEC6 para el Río Pacuare, cuenca tropical de Centro América, que permite simular el comportamiento del cauce principal del río, indicando las áreas susceptibles a socavación y a deposición.

La robustez del modelo desde el punto de vista de variables de entrada, permite una mejor descripción de los procesos hidrogeomorfológicos que lo que pueden efectuar modelos más simples.

Debido a las limitantes de información los datos deben interpretarse en forma cualitativa más que cuantitativa.

El SIG, específicamente IDRISI, ha servido como herramienta fundamental para la preparación de los datos de entrada al HEC6, en particular la unión de esta tecnología con el uso de modelos de elevación digital ha permitido un estudio más preciso y ágil de la información del modelo.

Las herramientas utilizadas y el propio modelo no tendría validez si no se hubiese contado con un estudio en paralelo y con datos y mediciones de campo a nivel del cauce principal del Río Pacuare.

La posibilidad de utilizar diferentes fórmulas de transporte de sedimentos permitirá la comparación y adaptación de las mismas para las condiciones variantes de los materiales transportados por los ríos tropicales. En este caso se utilizó la fórmula de Madden, por considerarse que las texturas predominantes en el cauce corresponden a arenas. Esta es una condición más real que las fórmulas que se han venido utilizando para los ríos en Costa Rica.

Una vez calibrado el prototipo, se incrementan las posibilidades de simular diferentes escenarios, conforme se vaya agregando nueva información, por ejemplo, simular una entrada de flujo como proveniente de un trasvase, simular condiciones para diferentes periodos de tiempo, considerar afluentes en la red, variar condiciones de los sedimentos, etc.

#### **6.4 Recomendaciones**

El uso del programa HEC6 se recomienda sólo para aquellos cauces en que se tenga buena información, a nivel de los tres grandes grupos de variables: geométricas, sedimentos e hidrológicas. En este caso, para suplir este vacío se contó con estudios en paralelo que produjeron nueva información, considerada como básica, pero a un costo elevado.

Se hace necesario mejorar la información de entrada al modelo, en particular agregar nuevas secciones transversales y mejorar la medición de sedimentos, tanto en el cauce principal como en los afluentes principales.

El uso programado del IDRISI como Sistema de Información Geográfica debiera ser una práctica común a los modelos espaciales tal es el caso del modelo de Holdridge presentado en este trabajo, las posibilidades de modelación futuras harán de este sistema una herramienta mucho más útil a los trabajos de hidrología y de manejo de cuencas. Además de constituirse en una herramienta poderosa de difusión de metodologías.

**BIBLIOGRAFIA**

1. AB HYDROCONSULT, 1995. Sedimentation and Erosion Processes Related to the Hydropower Projects Angostura, Guayabo and Siquirres, Part 1, Uppsala, 134 p.
2. BARNES H., 1967. Roughness Characteristics of Natural Channels, United States Government Printign Office, Washignton, 213 p.
3. BURROUGH, P.A., 1966. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Clarendon Press, Oxford, 194 p.
4. CARDENAS, M., 1978. El Enfoque de Sistemas. Editorial Limusa, México, 220 p.
5. CLARK, R.T., 1973. Mathematical Models in Hydrology. Irrigation and Drainage Papers, FAO, Roma, 182 p.
6. CHORLEY, R.J., 1969. Introduction to Physical Hydrology. University Paperbacks. USA, 211 p.
7. CHORLEY, R.J., 1974. Introduction to Geographical Hydrology. 4<sup>a</sup> edición. University Paperbacks. USA, 206 p.
8. CHOW, V.T. 1973. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.
9. CHOW, V.T. 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York, 680 p.

10. CHOW , V.T., MAIDMENT, D.R. y MAYS L.W. 1988. Applied Hydrology MacGraw Hill Serie in Water Resources and Environmental Engineering. New York, 572 p.
11. DE LAS SALAS, G. 1987. Suelos y Ecosistemas Forestales. Servicio Editorial IICA, San José, 447 p.
12. DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS (DEB) 1988. Actualización del Informe Hidrológico del P.H Siquirres, ICE, San José, 37 p. + Cuadros + Figuras.
13. DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS (DEB) 1993. Informe Hidrológico del P.H Pacuare, ICE, San José, 38 p. + Cuadros + Figuras.
14. DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS BASICOS (DEB) 1993. Boletín Hidrológico 20, ICE, San José, 203 p.
15. EASTMAN J.R. 1992. IDRISI, User's Guide, v.4.1. Clark University, 178 p.
16. EASTMAN J.R. 1995. IDRISI For Windows. User's Guide, v.4.1. Clark University, 178 p.
17. GRAF, W. H. 1988. Hydraulics of Sediment Transport. Water Resources Publications, Michigan, 511 p.
18. HALL - DRACUP 1978. Ingeniería de Sistemas de Recursos Hidráulicos; Mc Graw-Hill, 222.p.
19. HOLDRIDGE, L.R. 1978. Ecología Basada en Zonas de Vida. IICA, San José, 216 p.

20. KRASOVSKIA, I., 1993. Modelling Soils Erosion, AB Hydroconsult, Suecia, 64 p.
21. JANSEN P., BENDEGOM L., VAN DER BERG J., VRIES M. ZANEN Z., 1979. Principles of River Engineering. The Itman Press, Great Britain, 509 p.
22. JIMENEZ, W., 1990. Economía y Ambiente. Río Pacuare, Un Controvesial Proyecto. Aportes N° 67, p21-22
23. JIMENEZ, O., RAMIREZ C., ALVARADO P. y Valverde J., 1993. Proyecto Hidroeléctrico Angostura, Anexo: Informe Preliminar sobre Sedimento en el Embalse, ICE, 155 p.
24. LAURINI R., THOMPSON D., 1994 Fundamentals of Spatial Information Systems. Academic Press, Maryland, 680 p.
25. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A., PAULUS, 1975. Hidrología para Ingenieros, 2 ed. McGRAW-Hill, Bogotá, 386 p.
26. JANSSON M., RODRIGUEZ A., 1992. Sedimentological Studies in the Cachí Reservoir Costa Rica. Uppsala University, 217 p.
27. MURILLO, L., 1992. Un Modelo de Sedimentación para Canales de Navegación, en IV Congreso Nacional de Recursos Hidráulicos, CFIA, San José, p. 82-94.
28. OREAMUNO, R., SABORIO J. 1989. Elaboración Automatizada de Mapas de Erosión, en II Congreso Nacional de Recursos Hidráulicos, CFIA, San José, p. 122-140.
29. OSTREM G. y JANSSON M., 1987. Fluvial Erosion and Sedimentation and their Effects on Nature and Society, Department of Physical Geography, 237 p.

30. POLETTI A, LARCAN E. 1983. Introduzione al Trasporto Solido ed Alla Morfologia degli Alvei, Politecnico di Milano, 85 p.
31. QUESADA C., VEGA B. 1974. Sistemas de Ingeniería, Universidad de Costa Rica, 89 p.
32. SABORIO, J. 1994. Mapeo Digital de la Erosión Potencial. Revista Ciencia y Tecnología, ICE, p 34 -44.
33. SIMONS D. y SENTÜRK F., 1977. Sediment Transport Technology. Water Resources Technology. Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado, 661 p.
34. SUNDBORG A., 1956 The River Klaralven, a Study of Fluvial Processes, "Bulletin N° 52, Institute of Hydraulics, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
35. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), 1977. Sediment Transport. Vol 12. (Sin apéndices)
36. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), 1991. HEC-6 Scour And Deposition in Rivers and Reservoirs. User's Manual, 156 p. + Apéndices.
37. US ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE), 1992. Guidelines for the Calibration and Application of Computes Program HEC-6, 36 p.
38. VANONI V., BROOKS N., y KENNEDY J.F., 1961. Lecture Notes on Sediment Transportation and Channel Stability. U.S. Department of Agriculture, California, 148 p.

## ANEXOS

ANEXO N° 1.

Listado de programas para elaboración de mapas climáticos y de zonas de vida para la Cuenca del Río Pacuare utilizando IDRISI versión DOS

## 1. Programa para elaboración de mapas climáticos

```

REM *****
REM * Archivo MCLIMA.BAT *
REM * Propósito: crear mapas de climáticos *
REM * Cuenca Alta Río Pacuare *
REM * Datos necesarios: *
REM * a) Isoyetas interpoladas *
REM * b) Modelo elevación digital *
REM * Los archivos de nombre "letra+número" son *
REM * temporales y se pueden borrar *
REM *****
REM CALCULO MAPA BIOTEMPERATURA
scalar x isoyi-bp t1 3 0.00045
scalar x demp t2 3 0.0055
initial x t0 2 1 27.55 1 cuencabp
overlay x 2 t0 t1 t3
overlay x 2 t3 t2 t4
overlay x 3 t4 cuencabp t
REM CALCULO MAPA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL
scalar x t evtp 3 58.93
REM CALCULO MAPA RELACION DE EVAPOTRANSPIRACION
overlay x 4 evtp isoyi-bp re
REM MASCARAS PARA LIMITES DE RE
REM 0.45 < RE < 1.50
reclass x i re m1 2 0 0. 0.45 1 0.45 1.50 0 1.50 999. -9999
overlay x 3 m1 cuencabp m1c
REM 0.0625 < RE < 0.45
reclass x i re m2 2 0 0. 0.0625 1 0.0625 0.45 0 0.45 999. -9999
overlay x 3 m2 cuencabp m2c
overlay x 3 m1c re m1cre
overlay x 3 m2c re m2cre
REM CALCULO DE F1
scalar x m1cre t1 3 -0.44
scalar x t1 f11 1 1.12
overlay x 3 f11 m1c f1
REM CALCULO DE F2
scalar x m2cre t11 5 3
scalar x t11 t1 3 7.46
scalar x m2cre t22 5 2
scalar x t22 t2 3 -10.46
scalar x m2cre t3 3 4.63
overlay x 1 t1 t2 t4
overlay x 1 t3 t4 t5
scalar x t5 f22 1 0.273
overlay x 3 m2c f22 f2
REM F = F1 + F2
overlay x 7 f1 f2 f
REM CALCULO DE EVTR
overlay x 3 f evtp evtr
REM CALCULO MAPA ESCORRENTIA
overlay x 2 isoyi-bp EVTR esc

```

## 2. Programa para elaboración de mapa de zonas de vida

```

REM *****
REM * Archivo ZONAS.BAT *
REM * Propósito: crear mapa de Zonas de Vida *
REM * Cuenca Alta Río Pacuare *
REM * Datos necesarios: *
REM * a) Isoyetas interpoladas ISOY-BP *
REM * b) Relación de evapotranspiración RE *
REM * c) Biotemperatura T *
REM * Los archivos RE y T se obtiene de MCLIMA.BAT *
REM *****

REM MACRO ZONAS.BAT
REM SE RECLASIFICA PRECIPITACION POR RANGOS
reclass x i isoyi-pb p1 2 0 0.0 2200. 1 2200. 4500.01 0 4500.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p2 2 0 0.0 3600. 1 3600. 8000.01 0 8000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p3 2 0 0.0 4000.0 1 4000.0 7000.01 0 7000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p4 2 0 0.0 1850.0 1 1850.0 4000.01 0 4000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p5 2 0 0.0 2000.0 1 2000.0 4000.01 0 4000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p6 2 0 0.0 3750.0 1 3750.0 8000.01 0 8000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p7 2 0 0.0 1950.0 1 1950.0 3000.01 0 3000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p8 2 0 0.0 4000.0 1 4000.0 5500.01 0 5500.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p9 2 0 0.0 4000.0 1 3000.0 4000.01 0 4000.01 99999. -9999
reclass x i isoyi-pb p10 2 0 0.0 3300.0 1 3300.0 6500.01 0 6500.01 99999. -9999

REM SE RECLASIFICA TEMPERATURA POR RANGOS
reclass x i t t1 2 0 0.0 6.0 1 6.0 12.01 0 12.01 9999. -9999
reclass x i t t2 2 0 0.0 12.0 1 12.0 17.01 0 17.01 9999. -9999
reclass x i t t3 2 0 0.0 17.0 1 17.0 24.01 0 24.01 9999. -9999
reclass x i t t4 2 0 0.0 24.0 1 24.0 27.01 0 27.01 9999. -9999
reclass x i t t5 2 0 0.0 21.5 1 21.5 24.01 0 24.01 9999. -9999
reclass x i t t6 2 0 0.0 8.5 1 8.5 14.01 0 14.01 9999. -9999

REM SE RECLASIFICA RE POR RANGOS
reclass x i re re1 2 0 0.001 0.0625 1 0.0625 0.251 0 0.251 10. -9999
reclass x i re re2 2 0 0.001 0.225 1 0.225 0.501 0 0.501 10. -9999
reclass x i re re3 2 0 0.001 0.50 1 0.50 0.751 0 0.751 10. -9999
reclass x i re re4 2 0 0.001 0.225 1 0.22 0.3751 0 0.3751 10. -9999
reclass x i re re5 2 0 0.001 0.375 1 0.375 0.501 0 0.501 10. -9999

REM SE CREAN LAS ZONAS
rem se deben crear archivos de valores
REM SE CREAN LAS ZONAS
REM BP-M
overlay x 3 p1 re1 x
overlay x 3 x t1 y
assign x y 1 1 3
REM BP-MB
overlay x 3 p2 re1 x
overlay x 3 x t2 y
assign x y 2 2 3

```

```
REM BP-P
overlay x 3 p3 re1 x
overlay x 3 x t3 y
assign x y 3 3 3
REM BMH-MB
overlay x 3 p4 re2 x
overlay x 3 x t2 y
assign x y 4 4 3
REM BMH-P
overlay x 3 p5 re2 x
overlay x 3 x t3 y
assign x y 5 5 3
REM BMH-T
overlay x 3 p6 re2 x
overlay x 3 x t4 y
assign x y 6 6 3
REM BH-T1
overlay x 3 p7 re3 x
overlay x 3 x t5 y
assign x y 7 7 3
REM BMH-P1
overlay x 3 p6 re4 x
overlay x 3 x t3 y
assign x y 8 8 3
REM BMH-T1
overlay x 3 p8 re4 x
overlay x 3 x t5 y
assign x y 9 9 3
REM BMH-P2
overlay x 3 p9 re5 x
overlay x 3 x t4 y
assign x y 10 10 3
REM Bp-M1
overlay x 3 p10 re1 x
overlay x 3 x t6 y
assign x y 11 11 3
rem se debe crear zv con initial
REM SE CREA EL MAPA DE ZONAS
overlay x 7 7 ZV ZV1
overlay x 7 8 ZV1 ZV
overlay x 7 9 ZV ZV1
overlay x 7 10 ZV1 ZV
overlay x 7 11 ZV zv1
overlay x 7 1 zv1 zv
overlay x 7 2 zv ZV1
overlay x 7 3 ZV1 ZV
overlay x 7 4 ZV ZV1
overlay x 7 5 ZV1 ZV
overlay x 7 6 ZV ZV1
```

## ANEXO N° 2

### Entrada típica de datos al modelo HEC6 Caso cauce Río Pacuare

T1 Corrida HEC6 - Aplicación como fondo móvil

T2 Condición Húmeda+Promedio+Seco

T3 Cauce Rjo Pacuare

NC 15 15 053 1 3

X112000 28 42.7 240.0 229.7 229.7 229.7

GR257.2 10.5 254.3 24.3 250.3 32.8 248.7 37.7 241.5 42.7

GR239.5 52.5 238.2 68.9 237.9 85.3 236.2 118.1 234.9 164.0

GR234.9 170.6 234.6 196.9 234.3 203.4 234.9 216.5 234.6 229.7

GR234.3 232.9 234.9 236.2 237.2 265.7 237.5 282.2 237.9 313.3

GR238.0 328.1 237.5 331.4 238.2 342.5 243.8 360.9 248.7 366.5

GR254.3 370.1 257.5 377.3 264.4 388.5

H 12000 0.0 0.0 0.0

X113000 27 21.3 126.6 262.5 262.5 262.5

GR272.0 0.0 269.4 5.2 262.5 8.5 253.9 14.8 249.0 21.0

GR244.1 21.3 240.8 27.2 232.3 34.8 232.6 42.0 232.9 48.6

GR232.3 59.4 231.6 68.9 232.0 81.0 231.3 85.3 231.0 91.9

GR230.3 113.5 228.0 120.1 239.2 124.0 244.1 126.6 246.4 131.2

GR249.0 135.5 249.7 139.8 255.6 152.2 259.2 159.4 272.3 179.1

GR271.3 186.4 278.5 192.9

H 13000 0.0 0.0 0.0

NC 15 15 053 1 3

X114000 44 0.0 111.9 1452.4 1434.7 1438.0

GR242.6 0.0 236.9 6.6 231.8 8.2 229.3 9.5 228.8 9.8

GR229.7 11.6 230.0 13.1 229.8 15.4 230.0 16.4 229.8 18.0

GR230.0 19.7 229.7 23.6 230.0 25.6 229.7 29.2 229.3 29.9

GR229.5 32.8 229.7 36.1 229.8 37.7 229.8 39.4 230.0 42.7

GR229.7 44.1 230.0 47.2 229.7 50.0 229.3 58.2 229.2 60.2

GR229.3 66.3 229.0 68.9 229.2 73.5 229.0 75.1 228.7 78.7

GR228.3 82.7 226.9 86.8 226.5 90.6 226.4 91.9 226.7 94.8

GR226.5 96.5 225.4 98.6 225.1 101.2 226.0 104.3 226.7 105.2

GR228.2 106.0 234.9 106.0 236.8 106.1 242.9 111.9

H 14000 0.0 0.0 0.0

X116000 49 0.00 140.1 246.1 243.4 234.9

GR237.1 0.0 230.6 0.2 223.8 2.3 223.6 3.0 224.1 5.4

GR224.9 6.4 226.9 9.0 227.4 11.2 227.4 11.3 227.7 14.1

GR227.5 15.4 227.7 16.4 227.7 19.4 228.5 23.0 228.7 26.2

GR229.0 29.5 229.3 32.8 229.7 34.4 229.5 36.9 229.3 38.4

GR229.8 40.5 230.0 44.9 230.3 47.2 230.5 48.9 230.3 50.7

GR230.6 55.8 231.1 61.5 231.0 64.1 230.8 65.6 231.5 72.2

GR231.8 78.7 231.8 85.3 232.3 87.9 232.4 91.9 232.6 93.5

GR232.9 95.3 234.3 103.7 234.1 105.3 234.3 106.6 233.9 107.3

GR234.3 108.9 235.4 111.9 235.7 114.8 236.9 128.4 236.9 131.2

GR236.5 134.5 236.5 137.8 236.7 139.4 236.9 140.1

H 16000 0.0 0.0 0.0

X117000 31 0.00 80.1 155.5 109.9 132.2

GR237.0 0.0 232.6 0.3 231.5 0.8 230.6 1.3 230.2 2.5

GR230.3 7.9 229.7 9.8 229.3 11.5 229.0 12.8 229.8 25.1

GR230.0 28.5 229.7 32.5 229.3 34.3 229.3 36.9 229.0 39.2

GR228.7 39.9 228.3 44.6 228.0 45.3 227.9 46.8 228.3 50.5

GR228.0 52.5 227.4 53.5 227.7 59.1 227.2 63.0 227.4 69.9

GR226.4 72.8 226.0 76.3 227.5 77.3 229.7 78.2 232.8 79.1

GR237.2 80.1

H 17000 0.0 0.0 0.0

X118000 29 0.0 70.5 82.0 109.9 92.8

GR237.0 0.0 234.6 0.3 231.3 0.7 225.1 1.6 221.8 2.3

GR221.6 2.8 223.1 6.4 223.4 8.5 223.4 13.5 223.1 15.7  
 GR223.9 18.4 224.1 22.1 223.8 24.3 223.9 25.3 224.1 26.6  
 GR224.7 27.9 225.1 30.2 224.9 32.8 225.7 39.4 226.0 42.7  
 GR225.7 49.2 225.7 54.0 225.4 58.1 224.4 61.7 224.2 63.5  
 GR225.2 66.8 229.8 69.2 244.3 71.0 243.6 74.8  
 H 18000 0.0 0.0 0.0  
 X119000 25 0.00 49.0 125.0 109.9 121.4  
 GR237.9 0.0 226.7 0.2 225.7 0.3 226.4 4.1 225.9 6.2  
 GR225.6 7.2 225.7 7.9 224.7 12.8 224.7 13.5 227.4 16.4  
 GR227.5 17.1 224.7 19.5 224.1 20.8 224.4 21.7 224.1 23.0  
 GR224.4 23.6 224.1 24.4 223.9 31.3 223.6 33.1 222.4 35.8  
 GR220.5 42.8 223.3 44.1 227.4 48.4 231.6 48.9 236.9 49.55  
 H 19000 0.0 0.0 0.0  
 X119010 46 443.0 575.0 809.4 859.6 811.7  
 GR574.4 180.6 549.0 197.0 520.6 213.4 492.1 229.8 463.7 246.2  
 GR421.0 262.7 398.2 279.1 380.9 295.5 367.6 311.9 354.2 328.3  
 GR340.8 344.8 329.9 361.2 320.8 377.6 313.5 394.0 305.7 410.4  
 GR297.0 426.8 287.7 443.2 278.7 459.6 271.0 476.0 267.5 492.5  
 GR268.5 508.9 272.9 525.3 277.5 541.7 281.8 558.1 286.5 574.6  
 GR291.3 591.0 296.2 607.4 301.1 623.8 306.0 640.2 311.3 656.6  
 GR316.6 673.1 321.6 689.5 327.6 705.9 335.7 722.3 343.0 738.7  
 GR350.8 755.1 360.9 771.6 371.6 788.0 382.5 804.4 391.9 820.8  
 GR400.3 837.2 406.6 853.6 414.0 870.0 422.6 886.5 433.4 902.9  
 GR445.8 919.3  
 H 19010 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 15 0.10 .1 .3  
 X119020 54 313.6 874.9 598.8 492.1 180  
 GR457.4 33.0 451.9 49.5 447.6 66.0 442.8 82.5 442.5 99.0  
 GR439.0 115.6 435.2 132.1 429.8 148.6 424.4 165.1 419.0 181.6  
 GR413.3 198.1 407.2 214.6 400.6 231.1 391.8 247.6 380.6 264.1  
 GR367.5 280.6 354.3 297.1 341.2 313.6 329.7 330.2 319.9 346.7  
 GR311.7 363.2 303.5 379.7 295.3 396.2 287.1 412.7 279.0 429.2  
 GR270.8 445.7 266.0 462.2 265.1 478.7 268.1 495.2 271.4 511.7  
 GR274.4 528.2 276.7 544.8 279.4 561.3 282.3 577.8 285.7 594.3  
 GR288.6 610.8 291.6 627.3 294.6 643.8 297.6 660.3 300.6 676.8  
 GR302.9 693.3 305.1 709.8 306.2 726.3 307.9 742.8 310.9 759.4  
 GR314.6 775.9 317.9 792.4 321.7 808.9 325.8 825.4 331.6 841.9  
 GR335.1 858.4 339.2 874.9 343.6 891.4 349.1 911.2  
 H 19020 0.0 0.0 0.0  
 X119030 44 264.0 795.0 787.4 355.0 573.8  
 GR439.8 20.3 433.0 40.6 431.0 60.9 423.9 81.1 416.7 101.4  
 GR409.5 121.7 407.0 142.0 399.5 162.2 389.4 182.5 374.7 202.8  
 GR367.5 223.1 352.5 243.4 337.6 263.6 331.4 284.0 317.5 304.2  
 GR303.7 324.5 289.8 344.8 284.7 365.1 272.8 385.3 266.6 405.6  
 GR268.0 425.9 269.9 446.2 274.1 466.5 278.4 486.7 280.3 507.1  
 GR284.5 527.3 288.7 547.6 292.9 567.9 294.6 588.2 298.8 608.4  
 GR303.0 628.7 307.2 649.0 308.6 669.3 312.7 689.6 316.9 709.8  
 GR318.7 730.2 323.0 750.4 327.2 770.7 331.8 791.0 334.0 811.3  
 GR338.8 831.5 343.7 851.8 348.5 872.1 350.9 892.4  
 H 19030 0.0 0.0 0.0  
 NC .08 .09 0.05 1 .3  
 X119040 51 568.7 978.1 846.8 840.9 768.7  
 GR381.4 22.7 379.6 45.5 377.8 68.2 375.9 91.0 374.1 113.7  
 GR372.2 136.5 370.4 159.2 368.6 182.0 366.7 204.7 364.9 227.5  
 GR363.0 250.2 361.2 273.0 359.4 295.7 358.5 318.5 356.6 341.2

GR354.8 363.9 353.0 386.7 351.2 409.4 349.3 432.2 347.5 455.0  
 GR345.7 477.7 343.9 500.4 342.1 523.2 340.2 545.9 338.4 568.7  
 GR336.6 591.4 334.8 614.2 332.9 636.9 331.1 659.7 329.3 682.4  
 GR324.9 705.2 319.5 727.9 312.4 750.7 307.3 773.4 304.6 796.2  
 GR305.7 818.9 308.3 841.6 311.0 864.4 316.2 887.1 323.8 909.9  
 GR329.5 932.6 334.0 955.4 338.2 978.1 343.7 1000.9 349.6 1023.6  
 GR356.7 1046.4 358.4 1069.1 360.4 1091.9 363.9 1114.6 376.0 1137.4  
 GR389.8 1160.1  
 H 19040 0.0 0.0 0.0  
 X119050 36 338.5 445.0 835.3 907.5 836.0  
 GR361.7 22.6 369.3 45.1 376.6 67.7 374.5 90.3 371.8 112.8  
 GR369.0 135.4 365.7 157.9 362.3 180.5 358.8 203.1 357.0 225.7  
 GR353.8 248.2 350.4 270.8 346.8 293.3 343.1 315.9 339.4 338.5  
 GR335.7 361.0 331.5 383.6 330.5 406.2 335.4 428.7 341.3 451.3  
 GR347.3 473.9 353.3 496.4 359.2 519.0 365.2 541.6 371.2 564.1  
 GR377.1 586.7 383.1 609.3 386.4 631.8 392.6 654.4 400.2 676.9  
 GR408.7 699.5 417.1 722.1 425.6 744.7 434.1 767.2 442.5 789.8  
 GR451.0 812.3  
 H 19050 0.0 0.0 0.0  
 X119060 42 368.0 496.0 3136.2 3192.6 3155.2  
 GR429.9 21.6 423.1 43.2 416.3 64.8 409.5 86.4 405.5 108.0  
 GR398.8 129.6 392.7 151.2 387.5 172.9 382.5 194.5 377.4 216.1  
 GR372.4 237.7 369.6 259.3 364.5 280.9 359.5 302.5 354.4 324.1  
 GR349.4 345.7 344.4 367.3 339.3 388.9 337.0 410.5 332.5 432.1  
 GR331.6 453.7 337.1 475.4 344.5 496.9 351.9 518.6 359.3 540.2  
 GR362.9 561.8 370.2 583.4 377.5 605.0 384.8 626.6 392.7 648.2  
 GR403.4 669.8 416.0 691.4 421.7 713.0 434.3 734.6 446.9 756.2  
 GR459.5 777.9 472.8 799.4 486.6 821.1 500.5 842.7 506.3 864.3  
 GR520.6 885.9 536.5 907.5  
 H 19060 0.0 0.0 0.0  
 X119070 56 402.7 530.0 492.1 974.4 1037.7  
 GR452.2 16.8 451.1 33.6 449.2 50.3 441.5 67.1 438.6 83.9  
 GR435.4 100.7 432.0 117.5 423.8 134.2 419.4 151.0 414.5 167.8  
 GR410.1 184.6 405.2 201.3 396.2 218.1 392.0 234.9 387.4 251.7  
 GR383.2 268.5 379.5 285.2 373.0 302.0 369.2 318.8 365.6 335.6  
 GR361.6 352.4 355.2 369.1 351.3 385.9 347.1 402.7 342.9 419.5  
 GR338.6 436.3 333.1 453.1 331.8 469.8 333.0 486.6 337.5 503.4  
 GR342.5 520.1 349.7 536.9 354.8 553.7 359.7 570.5 364.5 587.3  
 GR371.8 604.0 376.7 620.8 380.9 637.6 385.0 654.4 388.4 671.2  
 GR398.4 688.0 407.1 704.7 416.2 721.5 427.7 738.3 439.3 755.1  
 GR456.9 771.9 465.1 788.6 470.4 805.4 475.6 822.2 485.6 838.9  
 GR491.6 855.7 498.0 872.5 504.0 889.3 510.4 906.1 521.9 922.9  
 GR526.7 939.6  
 H 19070 0.0 0.0 0.0  
 X119080 61 638.5 716.0 689.0 969.5 880.2  
 GR454.8 16.8 453.8 33.6 452.9 50.4 451.5 67.2 450.4 84.0  
 GR449.5 100.8 448.4 117.6 446.5 134.4 445.5 151.2 444.5 168.0  
 GR443.9 184.8 441.9 201.6 441.2 218.4 440.5 235.2 439.5 252.0  
 GR437.4 268.8 436.7 285.6 435.8 302.4 434.9 319.2 432.7 336.1  
 GR431.5 352.9 430.2 369.7 428.4 386.5 426.3 403.2 423.3 420.0  
 GR418.9 436.8 413.3 453.7 410.7 470.5 405.5 487.3 401.0 504.1  
 GR397.4 520.9 393.4 537.7 387.2 554.5 379.6 571.3 371.6 588.1  
 GR366.9 604.9 360.2 621.7 352.2 638.5 341.1 655.3 338.1 672.1  
 GR339.2 688.9 347.5 705.7 353.3 722.5 362.0 739.3 365.6 756.1  
 GR369.9 772.9 374.2 789.7 381.6 806.5 387.2 823.3 393.7 840.1

GR401.5 856.9 413.4 873.7 422.6 890.5 433.4 907.3 444.4 924.1  
 GR458.6 940.9 471.5 957.7 486.1 974.5 504.3 991.3 523.7 1008.1  
 GR540.1 1024.9  
 H19080. 00 00 0.0  
 NC 11 11 05 1 3  
 X119090. 50 398.8 486.0 1838.9 1774.3 1774.3  
 GR506.1 16.6 501.5 33.2 496.8 49.8 492.1 66.5 487.4 83.1  
 GR482.7 99.7 478.1 116.3 473.4 132.9 468.7 149.5 464.0 166.1  
 GR459.4 182.7 455.0 199.4 450.6 216.0 446.2 232.6 441.8 249.2  
 GR437.4 265.8 433.1 282.4 428.9 299.0 425.1 315.7 421.7 332.3  
 GR418.0 348.9 414.2 365.5 410.1 382.1 406.0 398.8 401.9 415.4  
 GR397.8 432.0 396.9 448.6 399.1 465.2 404.3 481.8 409.6 498.4  
 GR414.4 515.0 418.8 531.7 423.1 548.3 427.1 564.9 430.9 581.5  
 GR436.1 598.1 439.1 614.7 442.1 631.3 445.7 648.0 449.5 664.6  
 GR453.2 681.2 460.6 697.8 468.8 714.4 481.4 731.0 494.6 747.6  
 GR509.7 764.2 524.9 780.9 541.3 797.5 555.9 814.1 568.7 830.7  
 H19090 00 00 0.0  
 NC 11 15 0035 1 3  
 X119100. 50 418.4 568.0 2029.2 2104.0 2104.0  
 GR519.5 17.4 514.0 34.9 508.5 52.3 503.1 69.8 497.9 87.2  
 GR492.5 104.6 487.7 122.0 482.4 139.5 478.3 156.9 474.0 174.3  
 GR468.9 191.8 464.4 209.2 459.3 226.6 454.3 244.1 449.3 261.5  
 GR444.6 278.9 439.7 296.4 435.4 313.8 431.2 331.3 426.5 348.7  
 GR422.7 366.1 418.1 383.6 414.6 401.0 411.0 418.4 406.5 435.9  
 GR403.1 453.3 399.6 470.7 396.5 488.2 396.8 505.6 399.8 523.0  
 GR404.8 540.5 408.6 557.9 413.8 575.3 417.3 592.8 419.9 610.2  
 GR424.9 627.6 427.3 645.1 429.6 662.5 434.3 680.0 436.5 697.4  
 GR438.5 714.8 442.9 732.3 445.1 749.7 447.2 767.1 451.5 784.5  
 GR454.0 802.0 459.1 819.4 462.7 836.8 468.5 854.3 480.7 871.7  
 H19100. 00 00 0.0  
 X119110. 57 686.0 835.0 1433.1 1586.9 1499.3  
 GR504.4 18.5 503.1 37.1 502.6 55.6 501.3 74.1 500.9 92.7  
 GR499.6 111.3 499.1 129.8 497.8 148.3 497.2 166.9 495.9 185.4  
 GR495.2 203.9 493.9 222.5 493.2 241.0 491.8 259.5 491.2 278.1  
 GR489.8 296.6 489.1 315.2 487.7 333.7 487.1 352.3 485.7 370.8  
 GR484.9 389.3 483.6 407.9 482.8 426.4 481.5 444.9 480.6 463.5  
 GR479.3 482.0 478.5 500.6 477.1 519.1 476.4 537.7 475.1 556.2  
 GR474.3 574.7 473.0 593.3 472.4 611.8 471.1 630.3 470.3 648.9  
 GR469.0 667.4 468.2 686.0 466.9 704.5 465.5 723.0 464.3 741.6  
 GR463.1 760.1 462.4 778.7 463.3 797.2 463.1 815.7 468.0 834.3  
 GR471.6 852.8 480.1 871.4 484.8 889.9 489.8 908.4 494.4 927.0  
 GR496.2 945.5 501.0 964.1 501.8 982.6 507.2 1001.1 504.5 1019.7  
 GR504.7 1038.2 508.0 1056.8  
 H19110. 0.0 0.0 0.0  
 X119120. 52 385.1 550.0 355.0 969.5 573.8  
 GR503.3 17.5 501.7 35.0 500.2 52.5 498.2 70.0 496.6 87.5  
 GR495.0 105.1 493.4 122.5 491.5 140.1 489.9 157.5 488.3 175.1  
 GR486.8 192.6 484.9 210.1 483.5 227.6 482.2 245.1 480.7 262.6  
 GR479.3 280.1 477.5 297.6 476.0 315.1 474.7 332.6 473.4 350.1  
 GR471.5 367.7 470.2 385.1 469.0 402.7 467.7 420.1 465.9 437.7  
 GR464.5 455.2 462.9 472.7 461.1 490.2 461.4 507.7 463.7 525.2  
 GR468.1 542.7 472.4 560.2 476.8 577.7 480.7 595.2 485.0 612.7  
 GR489.3 630.2 493.6 647.7 497.6 665.3 501.7 682.7 505.8 700.3  
 GR509.9 717.8 514.0 735.3 515.5 752.8 519.3 770.3 523.0 787.8  
 GR527.5 805.3 529.3 822.8 532.9 840.3 536.6 857.8 539.5 875.3

GR539 5 892.8 542.4 910.3  
 H 19120 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 15 035 1 .3  
 X119130. 52 434.4 518.0 2460.6 2413.1 2413.1  
 GR612 8 16.1 606.6 32.2 600.8 48.3 585.9 64.4 578.4 80.4  
 GR570 5 96.5 562.6 112.6 552.9 128.7 531.8 144.8 526.1 160.9  
 GR521 9 177.0 520.1 193.1 518.3 209.2 516.7 225.2 512.6 241.3  
 GR510 7 257.4 508.1 273.5 505.6 289.6 502.7 305.7 498.1 321.8  
 GR495 5 337.9 492.4 353.9 489.0 370.0 484.9 386.1 479.8 402.2  
 GR475 8 418.3 471.9 434.4 468.5 450.5 464.2 466.6 463.1 482.7  
 GR465 8 498.8 470.6 514.8 475.2 530.9 479.2 547.0 485.2 563.1  
 GR489 8 579.2 495.1 595.3 500.6 611.4 505.4 627.5 509.5 643.5  
 GR515 3 659.6 519.8 675.7 527.9 691.8 542.0 707.9 561.4 724.0  
 GR584 5 740.1 598.3 756.2 607.1 772.2 617.8 788.4 629.9 804.4  
 GR643 0 820.5 654.9 836.6  
 H 19130. 0.0 0.0 0.0  
 X119140. 50 354.2 480.0 1087.3 530.5 749.7  
 GR693 7 18.6 679.5 37.3 670.0 55.9 655.4 74.6 644.6 93.2  
 GR626 4 111.8 614.9 130.5 597.0 149.1 588.0 167.8 574.1 186.4  
 GR566 1 205.1 552.3 223.7 543.9 242.4 529.9 261.0 517.4 279.6  
 GR509 6 298.3 498.0 316.9 490.9 335.6 479.5 354.2 472.9 372.8  
 GR464 2 391.5 463.6 410.1 467.5 428.8 470.9 447.4 477.3 466.0  
 GR480 4 484.7 487.0 503.3 493.6 522.0 497.2 540.6 503.8 559.3  
 GR506 7 577.9 513.3 596.5 516.9 615.2 523.7 633.8 527.2 652.5  
 GR536 1 671.1 541.2 689.7 551.2 708.4 561.3 727.0 568.1 745.7  
 GR579 0 764.3 586.8 782.9 598.3 801.6 607.1 820.2 619.5 838.9  
 GR630 3 857.5 643.5 876.1 653.8 894.8 662.5 913.5 668.9 932.1  
 H 19140 0.0 0.0 0.0  
 X119150 51 417.5 635.0 840.9 311.4 622.4  
 GR764 1 17.4 758.2 34.8 745.1 52.2 738.8 69.6 733.9 87.0  
 GR720 2 104.4 713.9 121.8 705.4 139.2 684.1 156.6 676.2 174.0  
 GR656 2 191.3 648.9 208.7 639.1 226.1 617.3 243.5 607.6 260.9  
 GR596 0 278.3 578.1 295.7 569.9 313.1 558.4 330.5 540.1 347.9  
 GR528 6 365.3 517.2 382.7 505.2 400.1 496.8 417.5 488.0 434.9  
 GR476 5 452.3 468.2 469.7 463.7 487.0 464.8 504.5 469.1 521.9  
 GR474 0 539.2 478.1 556.6 481.7 574.0 486.5 591.4 489.7 608.8  
 GR492 9 626.2 497.7 643.6 501.0 661.0 504.0 678.4 508.8 695.8  
 GR511 9 713.2 514.9 730.6 519.9 748.0 523.6 765.4 530.8 782.8  
 GR536 0 800.2 541.3 817.6 550.6 834.9 555.2 852.4 560.3 869.8  
 GR569 7 887.1  
 H 19150 0.0 0.0 0.0  
 X119160. 42 370.4 428.0 1013.5 1148.0 1046.3  
 GR584 3 19.5 580.5 39.0 578.5 58.5 574.8 78.0 571.0 97.5  
 GR569 2 117.0 565.5 136.5 561.8 156.0 560.4 175.5 556.7 195.0  
 GR554 9 214.5 551.2 234.0 547.6 253.5 545.9 273.0 542.3 292.5  
 GR538 6 312.0 536.5 331.5 532.9 351.0 529.5 370.4 528.1 390.0  
 GR527 2 409.4 530.4 428.9 532.9 448.5 537.4 467.9 539.9 487.4  
 GR544 5 506.9 549.0 526.4 551.8 545.9 556.2 565.4 560.7 584.9  
 GR563 7 604.4 568.2 623.9 572.7 643.4 575.7 662.9 580.2 682.4  
 GR584 6 701.9 587.1 721.4 594.8 740.9 601.5 760.4 616.1 779.9  
 GR630 6 799.4 638.7 818.9  
 H 19160 0.0 0.0 0.0  
 X119170. 51 475.7 540.0 440.3 1060.0 716.5  
 GR781 3 19.0 768.4 38.1 759.3 57.1 745.7 76.1 737.2 95.1  
 GR724 1 114.2 707.2 133.2 695.7 152.2 675.6 171.3 663.2 190.3

GR647.7 209.3 640.8 228.3 628.2 247.4 615.6 266.4 610.5 285.4  
 GR598.3 304.5 593.4 323.5 583.3 342.5 573.9 361.5 569.7 380.6  
 GR560.3 399.6 556.2 418.6 546.8 437.7 537.4 456.7 534.3 475.7  
 GR528.3 494.8 528.5 513.8 532.6 532.8 535.1 551.8 540.8 570.9  
 GR546.6 589.9 549.1 608.9 554.9 628.0 557.7 647.0 563.4 666.0  
 GR569.1 685.0 571.9 704.1 577.5 723.1 579.7 742.1 585.2 761.2  
 GR591.5 780.2 594.0 799.2 602.5 818.2 604.9 837.3 613.5 856.3  
 GR614.6 875.3 623.0 894.4 631.3 913.4 631.6 932.4 639.8 951.4  
 GR640.4 970.5  
 H 19170 0.0 0.0 0.0  
 X119180 60 486.7 616.0 793.6 355.0 573.8  
 GR601.8 16.2 597.0 32.4 592.5 48.7 589.3 64.9 586.9 81.1  
 GR584.7 97.3 582.4 113.6 580.2 129.8 578.0 146.0 575.8 162.2  
 GR573.6 178.5 571.4 194.7 569.2 210.9 567.0 227.1 564.8 243.4  
 GR562.5 259.6 560.3 275.8 558.1 292.0 555.8 308.3 553.3 324.5  
 GR550.9 340.7 548.5 356.9 546.3 373.2 545.7 389.4 545.2 405.6  
 GR546.2 421.8 546.8 438.1 547.0 454.3 545.0 470.5 540.8 486.7  
 GR535.7 503.0 530.3 519.2 527.8 535.4 528.1 551.6 531.4 567.8  
 GR534.6 584.1 537.9 600.3 540.5 616.5 543.2 632.7 545.4 649.0  
 GR547.7 665.2 549.9 681.4 552.6 697.6 555.8 713.8 559.1 730.1  
 GR562.5 746.3 566.0 762.5 569.7 778.7 573.5 795.0 577.6 811.2  
 GR581.8 827.4 586.2 843.6 590.9 859.9 596.3 876.1 602.5 892.3  
 GR609.4 908.5 616.9 924.8 625.3 941.0 634.0 957.2 641.3 973.4  
 H 19180 0.0 0.0 0.0  
 X119190 42 322.5 510.0 787.4 1279.5 984.3  
 GR564.1 20.2 562.0 40.3 560.5 60.5 558.5 80.6 556.5 100.8  
 GR554.5 121.0 553.0 141.1 551.0 161.3 549.1 181.5 547.8 201.6  
 GR545.9 221.8 543.9 241.9 542.0 262.1 540.7 282.3 538.8 302.4  
 GR536.9 322.6 535.8 342.7 534.0 362.9 532.1 383.1 530.2 403.2  
 GR529.1 423.4 527.2 443.6 527.0 463.7 528.4 483.9 533.2 504.0  
 GR539.3 524.2 545.9 544.4 548.7 564.5 555.0 584.7 561.3 604.9  
 GR563.6 625.0 569.9 645.2 576.1 665.3 582.3 685.5 584.5 705.6  
 GR591.3 725.8 600.1 746.0 603.1 766.1 612.4 786.3 621.8 806.5  
 GR631.2 826.6 634.7 846.8  
 H 19190 0.0 0.0 0.0  
 X119200 42 396.4 610.0 2869.4 2861.2 2923.2  
 GR805.2 20.9 791.1 41.7 780.1 62.6 776.0 83.5 766.6 104.3  
 GR757.2 125.2 747.8 146.1 738.5 166.9 733.2 187.8 723.5 208.7  
 GR710.5 229.5 695.5 250.4 689.0 271.2 674.0 292.1 660.0 313.0  
 GR649.4 333.8 640.6 354.7 636.0 375.6 626.9 396.4 617.7 417.3  
 GR608.7 438.2 599.5 459.0 595.7 479.9 595.6 500.8 601.4 521.6  
 GR608.0 542.5 611.2 563.4 617.7 584.2 624.1 605.1 630.5 626.0  
 GR636.9 646.8 639.5 667.7 645.8 688.5 652.1 709.4 661.7 730.2  
 GR675.1 751.1 680.6 772.0 695.5 792.8 710.5 813.7 727.0 834.6  
 GR734.5 855.4 754.6 876.3  
 H 19200 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 0.10 0.035 .1 .3  
 X119210 51 348.0 496.0 1614.2 1948.8 1774.3  
 GR774.8 16.9 763.8 33.7 753.6 50.6 742.7 67.4 732.5 84.3  
 GR721.6 101.1 711.2 118.0 701.3 134.8 692.5 151.7 683.8 168.5  
 GR674.9 185.4 665.6 202.3 657.4 219.1 650.7 236.0 645.2 252.8  
 GR639.7 269.7 634.5 286.5 629.6 303.4 625.4 320.2 621.5 337.1  
 GR616.5 353.9 612.5 370.8 606.9 387.7 602.0 404.5 596.3 421.4  
 GR595.2 438.2 596.8 455.1 603.6 471.9 613.3 488.8 623.4 505.6  
 GR634.3 522.5 645.2 539.3 656.2 556.2 667.1 573.1 677.5 589.9

GR687.1 606.8 695.4 623.6 703.1 640.5 712.4 657.3 722.3 674.2  
 GR732.7 691.0 743.7 707.9 754.6 724.7 765.5 741.6 776.5 758.5  
 GR787.6 775.3 798.6 792.2 809.5 809.0 820.2 825.9 831.1 842.7  
 GR842.1 859.6  
 H 19210 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .15 .05 .1 .3  
 X119220. 43 346.5 540.0 989.2 695.9 880.2  
 GR860.3 20.4 836.0 40.7 814.1 61.1 803.8 81.5 778.9 101.9  
 GR747.3 122.3 719.4 142.7 709.6 163.0 690.2 183.4 670.7 203.8  
 GR655.4 224.2 650.4 244.6 642.9 264.9 635.4 285.3 627.9 305.7  
 GR620.4 326.1 617.6 346.5 610.2 366.8 602.8 387.2 595.6 407.6  
 GR594.6 428.0 594.8 448.4 599.9 468.7 605.5 489.1 607.4 509.5  
 GR613.0 529.9 618.7 550.2 624.3 570.6 626.2 591.0 631.8 611.4  
 GR637.4 631.8 643.1 652.1 648.7 672.5 650.6 692.9 660.7 713.3  
 GR672.3 733.7 686.4 754.0 690.8 774.4 705.7 794.8 719.7 815.2  
 GR732.7 835.6 734.4 855.9 747.3 876.3  
 H 19220 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 .15 .05 .1 .3  
 X119230 44 290.0 620.0 907.5 492.1 630.2  
 GR857.6 16.6 850.1 33.2 843.5 49.8 837.7 66.4 831.9 82.9  
 GR823.9 99.5 816.6 116.1 807.4 132.7 800.2 149.3 791.0 165.9  
 GR783.1 182.5 772.8 199.1 762.5 215.7 749.7 232.3 738.8 248.9  
 GR702.5 265.5 617.8 282.1 500.0 298.6 376.6 315.2 335.4 331.8  
 GR361.9 348.4 468.2 365.0 546.9 381.6 594.7 398.2 598.4 414.8  
 GR601.7 431.4 604.8 447.9 608.4 464.5 612.1 481.1 615.7 497.7  
 GR618.9 514.3 622.1 530.9 610.3 547.5 601.4 564.1 595.2 580.7  
 GR614.3 597.3 623.0 613.8 631.3 630.4 632.3 647.0 643.9 663.6  
 GR659.4 680.2 678.1 696.8 697.5 713.4 713.9 730.0  
 H 19230 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 .15 .035  
 X119240. 40 335.2 485.0 885.8 492.1 598.8  
 GR865.2 21.0 856.7 41.9 849.1 62.9 840.6 83.8 828.5 104.8  
 GR824.0 125.7 816.9 146.7 808.0 167.6 799.0 188.5 794.1 209.5  
 GR766.3 230.4 725.4 251.4 685.3 272.3 653.7 293.3 633.1 314.2  
 GR623.4 335.2 606.6 356.1 596.5 377.1 598.2 398.0 604.5 419.0  
 GR607.3 439.9 613.5 460.9 619.8 481.8 626.1 502.8 632.4 523.7  
 GR638.7 544.7 641.4 565.6 647.7 586.5 657.0 607.5 678.1 628.4  
 GR709.6 649.4 738.8 670.3 749.7 691.3 777.7 712.2 805.6 733.2  
 GR834.8 754.1 865.2 775.1 896.8 796.0 906.5 817.0 934.4 837.9  
 H 19240 0.0 0.0 0.0  
 X119250 42 390.0 637.0 974.4 1189.3 1046.3  
 GR787.4 20.9 787.4 41.7 787.4 62.6 787.4 83.5 787.4 104.3  
 GR784.1 125.2 772.4 146.1 757.2 166.9 752.0 187.8 736.7 208.7  
 GR722.1 229.5 707.9 250.4 702.8 271.2 688.3 292.1 673.7 313.0  
 GR659.4 333.8 645.2 354.7 638.7 375.6 624.1 396.4 610.2 417.3  
 GR599.0 438.2 596.8 459.0 599.9 479.9 611.5 500.8 626.6 521.6  
 GR631.3 542.5 628.1 563.4 629.5 584.2 632.1 605.1 638.7 626.0  
 GR645.3 646.8 649.5 667.7 662.0 688.5 692.6 709.4 732.7 730.2  
 GR776.5 751.1 794.7 772.0 827.5 792.8 863.9 813.7 907.7 834.6  
 GR925.9 855.4 958.7 876.3  
 H 19250 0.0 0.0 0.0  
 NC 08 .08 .035 .1 .3  
 X119260. 36 216.8 388.0 311.4 928.5 622.4  
 GR709.9 19.7 699.5 39.4 696.5 59.2 684.4 78.8 672.2 98.6  
 GR668.3 118.3 657.0 138.0 647.7 157.7 644.3 177.4 635.3 197.1

GR626 3 216 8 621.3 236 5 612.0 256.3 602.8 276 0 598 6 295 7  
 GR596 4 315 4 603 4 335 1 608 6 354 8 618.8 374 5 629 1 394 3  
 GR635 5 414.0 645.9 433 7 660.0 453 4 673 2 473 1 701 1 492 8  
 GR727 9 512 5 742 5 532 3 770.4 551 9 799 5 571 7 823 9 591 4  
 GR867 6 611 1 905 9 630 8 933 8 650 5 950.2 670 2 965 4 689 9  
 GR979 0 709 6  
 H 19260 0 0 0 0 0  
 NC 08 08 05 1 3  
 X119270 42 232.1 450 0 220 1 768.7 355 0  
 GR727 9 17 8 716.7 35 7 700 7 53 5 690 8 71 4 675 1 89 2  
 GR667 5 107.1 655 3 124 9 650 8 142 8 647 7 160 6 640 8 178 5  
 GR637 1 196 4 630 2 214 2 626 8 232 1 619 9 249 9 616 5 267 7  
 GR612 7 285 6 605 8 303 4 602 5 321 3 596 5 339 1 595 2 357 0  
 GR598 9 374 8 603 5 392 7 609 0 410 5 618 3 428 4 624 9 446 2  
 GR634 3 464 1 640 6 481 9 649 9 499 8 660 8 517 6 675 0 535 5  
 GR695 0 553 3 709 6 571 2 732 1 589 0 751 0 606 9 777 7 624 7  
 GR798 3 642 6 822 6 660 4 848 8 678 3 868 7 696 1 880 7 714 0  
 GR892 2 731 8 899 0 749 7  
 H 19270 0 0 0 0 0  
 X119280 48 330 7 388 0 1233 3 793 6 1060 0  
 GR953 3 16 5 942 3 33 1 932 0 49 6 920 5 66 1 889 5 82 7  
 GR867 6 99 2 842 1 115 7 820 2 132 3 798 3 148 8 780 1 165 4  
 GR758 2 181 9 738 5 198 4 719 5 214 9 705 7 231 5 700 8 248 0  
 GR697 6 264 5 694 2 281 1 688 7 297 6 680 1 314 1 671 0 330 7  
 GR663 5 347 2 662 4 363 7 667 4 380 3 674 1 396 8 679 8 413 4  
 GR683 8 429 9 688 4 446 4 694 4 463 0 702 5 479 5 710 2 496 0  
 GR724 9 512 6 742 5 529 1 762 5 545 6 780 7 562 2 811 1 578 7  
 GR842 1 595 2 885 8 611 7 912 1 628 3 930 7 644 8 942 3 661 4  
 GR954 4 677 9 968 6 694 4 981 1 711 0 991 3 727 5 998 6 744 0  
 GR1006 1 760 6 1013 4 777 1 1020 4 793 6  
 H 19280 0 0 0 0 0  
 NC 08 08 035 1 3  
 X119290 48 483 6 572 0 1699 1 1409 1 1489 5  
 GR985 4 19 4 973 3 38 7 966 8 58 0 952 2 77 4 946 7 96 7  
 GR932 5 116 1 918 3 135 4 913 2 154 8 897 5 174 1 881 5 193 4  
 GR873 1 212 8 856 1 232 1 836 0 251 5 826 3 270 8 804 4 290 2  
 GR794 7 309 5 771 6 328 8 746 1 348 2 737 6 367 5 719 4 386 9  
 GR713 3 406 2 702 3 425 6 691 4 444 9 686 5 464 2 675 6 483 6  
 GR665 2 502 9 661 9 522 3 664 5 541 6 672 8 561 0 677 0 580 3  
 GR686 4 599 6 690 6 619 0 699 9 638 3 709 3 657 7 712 4 677 0  
 GR725 8 696 4 734 1 715 7 763 1 735 0 798 3 754 4 820 2 773 7  
 GR854 9 793 1 873 7 812 4 884 0 831 8 901 6 851 1 918 6 870 4  
 GR930 2 889 8 948 4 909 1 959 9 928 5  
 H 19290 0 0 0 0 0  
 NC 08 15 035 1 3  
 X119300 54 386 4 476 0 492 1 1122 4 793 6  
 GR872 6 16 8 864 5 33 6 856 7 50 4 848 9 67 2 841 1 84 0  
 GR829 0 100 8 822 1 117 6 817 1 134 4 812 9 151 2 809 7 168 0  
 GR806 9 184 8 803 4 201 6 799 5 218 4 795 4 235 2 784 9 252 0  
 GR782 0 268 8 777 9 285 6 773 2 302 4 767 3 319 2 761 1 336 0  
 GR754 5 352 8 747 3 369 6 739 5 386 4 730 5 403 2 726 3 420 0  
 GR726 5 436 8 731 4 453 6 736 6 470 4 741 9 487 2 747 0 504 0  
 GR751 8 520 8 756 4 537 6 760 3 554 4 765 5 571 2 770 5 588 0  
 GR775 0 604 8 778 2 621 6 780 2 638 4 782 0 655 2 783 3 671 9  
 GR786 0 688 8 786 2 705 6 789 5 722 4 792 8 739 2 796 3 756 0

GR799 8 772.8 804.6 789.6 809.6 806.4 815.7 823.2 821.4 840.0  
 GR821.47 856.8 826.8 873.6 833.1 890.4 840.6 907.2  
 H 19300. 0.0 0.0 0.0  
 NC .15 .09 .05 .1 .3  
 X119310 42 237.7 612.0 768.7 1003.6 811.7  
 GR961.4 21.6 949.7 43.2 938.1 64.8 926.4 86.4 912.6 108.0  
 GR888.3 129.6 860.3 151.2 832.3 172.9 804.4 194.5 777.7 216.1  
 GR749.7 237.7 733.2 259.3 717.4 280.9 710.8 302.5 704.1 324.1  
 GR697.5 345.7 690.8 367.3 684.2 388.9 680.7 410.5 674.2 432.1  
 GR667.7 453.7 662.4 475.4 667.8 496.9 684.1 518.6 704.8 540.2  
 GR716.9 561.8 738.8 583.4 760.7 605.0 781.6 626.6 798.3 648.2  
 GR812.9 669.8 827.5 691.4 835.2 713.0 849.7 734.6 863.6 756.2  
 GR877.4 777.9 891.3 799.4 905.2 821.1 918.1 842.7 925.9 864.3  
 GR936.9 885.9 947.8 907.5  
 H 19310. 0.0 0.0 0.0  
 NC 015 .09 .05 1 3  
 X119320 44 384.0 745.0 1046.3 196.9 630.2  
 GR916.5 20.7 915.7 41.5 913.0 62.2 908.2 82.9 907.4 103.6  
 GR905.8 124.4 904.2 145.1 900.0 165.8 894.4 186.5 887.4 207.3  
 GR879.6 228.0 873.4 248.8 864.2 269.5 853.6 290.2 833.6 310.9  
 GR806.9 331.7 792.3 352.4 763.1 373.1 733.7 393.9 712.3 414.6  
 GR706.5 435.3 690.8 456.0 675.1 476.8 663.7 497.5 666.4 518.2  
 GR671.1 538.9 682.4 559.7 694.3 580.4 706.2 601.1 710.6 621.9  
 GR723.6 642.6 741.2 663.3 761.3 684.1 771.0 704.8 790.5 725.5  
 GR807.4 746.2 823.9 767.0 840.3 787.7 850.0 808.4 869.4 829.2  
 GR890.7 849.9 911.0 870.6 922.8 891.3 938.3 912.1  
 H 19320. 0.0 0.0 0.0  
 X119330 42 260.0 600.0 2566.6 2644.7 2583.7  
 GR1006.1 21.6 978.2 43.2 955.1 64.8 933.2 86.4 924.7 108.0  
 GR893.1 129.6 859.1 151.2 832.3 172.9 809.3 194.5 783.8 216.1  
 GR754.6 237.7 751.0 259.3 726.1 280.9 711.5 302.5 701.9 324.1  
 GR692.3 345.7 682.7 367.3 673.1 388.9 668.3 410.5 661.9 432.1  
 GR665.9 453.7 675.6 475.4 686.5 496.9 697.5 518.6 708.4 540.2  
 GR713.3 561.8 729.1 583.4 753.4 605.0 777.7 626.6 794.9 648.2  
 GR806.6 669.8 818.3 691.4 822.1 713.0 833.8 734.6 845.5 756.2  
 GR858.4 777.9 873.1 799.4 888.4 821.1 903.7 842.7 909.2 864.3  
 GR922.5 885.9 934.9 907.5  
 H 19330. 0.0 0.0 0.0  
 NC .08 .15 .05 1 3  
 X119340 54 311.7 643.0 417.7 907.5 660.4  
 GR1063.3 16.4 1054.9 32.8 1044.2 49.2 1031.4 65.6 1016. 82.0  
 GR1000.3 98.4 983.9 114.8 967.8 131.2 952.5 147.6 939.0 164.0  
 GR928.1 180.4 913.1 196.9 896.8 213.3 876.7 229.7 859.7 246.1  
 GR836.6 262.5 812.9 278.9 788.0 295.3 769.8 311.7 754.6 328.1  
 GR739.4 344.5 726.4 360.9 715.4 377.3 708.8 393.7 701.5 410.1  
 GR693.8 426.5 685.8 442.9 678.9 459.3 672.1 475.7 665.6 492.1  
 GR663.0 508.5 665.4 524.9 674.9 541.3 686.5 557.7 697.8 574.1  
 GR708.3 590.6 719.1 607.0 742.5 623.4 766.7 639.8 788.8 656.2  
 GR798.8 672.6 806.6 689.0 814.4 705.4 822.1 721.8 829.9 738.2  
 GR837.7 754.6 845.5 771.0 854.2 787.4 863.9 803.8 874.9 820.2  
 GR885.8 836.6 896.8 853.0 907.7 869.4 917.4 885.8  
 H 19340. 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .08 .035 1 3  
 X119350 41 230.0 835.8 1378.0 907.5 1082.7  
 GR981.9 20.7 967.2 41.3 950.8 62.0 933.8 82.6 916.2 103.3

GR898 0 123.9 883.4 144.6 865.2 165.2 840.3 185.9 809.3 206.5  
 GR789 8 227.2 763.1 247.8 737.6 268.5 720.3 289.1 712.6 309.8  
 GR704 1 330.4 695.6 351.1 690.0 371.8 682.0 392.4 674.0 413.1  
 GR665 9 433.7 662.6 454.4 662.9 475.0 671.2 495.7 682.4 516.3  
 GR689 0 537.0 700.9 557.6 712.8 578.3 719.7 599.0 735.8 619.6  
 GR754 6 640.3 773.4 660.9 782.4 681.6 794.8 702.2 804.3 722.9  
 GR813 9 743.5 817.2 764.2 826.5 784.8 835.8 805.5 845.1 826.1  
 GR847 3 846.8  
 H 19350 0.0 0.0 0.0  
 X119360 42 354.0 710.3 835.3 969.5 907.5  
 GR870 0 22.1 864.7 44.3 859.4 66.4 853.9 88.5 847.2 110.6  
 GR839 8 132.7 836.0 154.9 828.3 177.0 820.6 199.1 812.9 221.2  
 GR805 2 243.3 797.5 265.5 788.9 287.6 775.9 309.7 757.6 331.8  
 GR739 4 354.0 728.5 376.1 714.7 398.2 703.7 420.3 692.7 442.5  
 GR681 7 464.6 670.6 486.7 662.4 508.8 663.1 530.9 670.7 553.1  
 GR679 6 575.2 688.5 597.3 692.5 619.4 701.6 641.5 710.7 663.7  
 GR720 6 685.8 735.1 707.9 752.8 730.0 770.4 752.2 787.4 774.3  
 GR803 8 796.4 820.2 818.5 825.7 840.6 842.1 862.8 856.5 884.9  
 GR869 1 907.0 881.2 929.1  
 H 19360 0.0 0.0 0.0  
 X119361 51 185.0 455.0 1574.8 1760.5 1623.4  
 GR984.3 15.1 967.8 30.2 951.4 45.3 940.6 60.4 918.6 75.5  
 GR902.2 90.2 896.7 105.3 875.0 120.4 869.4 135.5 853.0 150.6  
 GR820 2 165.7 809.4 180.8 787.4 195.9 777.9 211.0 768.7 226.0  
 GR759 2 240.8 750.0 255.9 743.8 271.0 732.6 286.1 721.8 301.2  
 GR729 0 316.3 731.3 331.4 740.5 346.5 750.0 361.5 759.2 376.6  
 GR768 7 391.4 777.9 406.5 777.9 421.6 787.4 436.7 794.6 451.8  
 GR800 5 466.9 807.1 482.0 813.6 497.0 820.2 512.1 826.8 527.2  
 GR831 0 542.0 838.6 557.1 845.8 572.2 853.0 587.3 861.2 602.4  
 GR862 5 617.5 871.7 632.5 881.2 647.6 885.8 662.7 894.0 677.8  
 GR902 2 692.6 910.4 707.7 918.6 722.8 931.8 737.9 944.9 753.0  
 GR958 0 768.0  
 H 19361 0.0 0.0 0.0  
 X119362 41 195.9 326.4 1244.8 556.8 880.2  
 GR813 6 16.4 816.6 33.1 809.4 48.9 798.2 65.3 787.4 81.7  
 GR787 4 98.1 780.2 114.2 773.0 130.6 765.4 147.0 762.8 163.4  
 GR754 6 179.5 746.4 195.9 740.5 212.3 731.3 228.7 721.8 244.8  
 GR726 0 261.2 731.3 277.6 736.9 294.0 742.1 310.0 747.0 326.4  
 GR752 0 342.8 754.6 359.3 760.2 375.3 765.4 391.7 771.0 408.1  
 GR772 3 424.5 777.2 440.6 777.2 457.0 777.9 473.4 777.9 489.8  
 GR782 8 505.9 783.1 522.3 787.4 538.7 787.4 555.1 787.4 571.2  
 GR787 4 587.6 796.9 604.0 798.2 620.4 809.4 636.5 800.5 652.9  
 GR809 4 669.3  
 H 19362 0.0 0.0 0.0  
 X119363 60 432.4 762.0 787.4 1574.5 1180.8  
 GR853 0 17.4 849.1 34.4 844.8 51.8 844.2 69.2 840.9 86.6  
 GR836 6 103.7 835.6 121.1 831.0 138.5 826.8 155.5 824.8 172.9  
 GR820 2 190.3 817.9 207.3 813.6 224.7 809.4 242.1 806.1 259.5  
 GR801 5 276.6 796.9 294.0 796.3 311.4 791.7 328.4 787.4 345.8  
 GR781 8 363.2 781.5 380.2 775.6 397.6 771.0 415.0 765.4 432.4  
 GR760 2 449.5 754.6 466.9 751.6 484.3 745.7 501.3 739.8 518.7  
 GR733 6 536.1 727.7 553.1 727.4 570.5 728.3 587.9 734.9 605.3  
 GR741 5 622.4 749.0 639.8 754.6 657.2 760.2 674.2 754.6 691.6  
 GR759 2 709.0 764.1 726.0 759.2 743.4 764.1 760.8 777.9 778.2  
 GR773 3 795.3 782.5 812.7 787.4 830.1 787.4 847.1 803.8 864.5

GR813 6 881.9 826.8 899.0 831.0 916.3 834.3 933.7 843.5 951.1  
 GR853 0 968.2 853.0 985.6 863.8 1003.0 871.7 1020.0 869.4 1037.4  
 H 19363 0.0 0.0 0.0  
 X119364 66 213.3 548.0 1244.8 556.8 1113.5  
 GR881 2 16.4 871.7 32.8 862.5 49.2 853.0 65.6 831.0 82.0  
 GR820 2 98.4 803.8 114.8 787.4 131.2 784.4 147.6 781.5 164.0  
 GR778 5 180.4 775.6 196.9 772.6 213.3 769.4 229.7 766.4 246.1  
 GR761 8 262.5 758.9 278.5 755.9 294.9 753.3 311.4 748.7 327.8  
 GR745 7 344.2 747.4 360.6 743.8 377.0 739.2 393.4 736.9 409.8  
 GR736 9 426.2 732.6 442.6 727.7 459.0 721.8 475.4 730.0 491.8  
 GR740 5 508.2 750.0 524.6 761.2 541.0 774.3 557.4 776.6 573.8  
 GR787 4 590.2 791.3 606.6 793.3 623.0 795.3 639.4 797.2 655.8  
 GR800 5 672.2 802.8 688.6 804.8 705.1 807.1 721.5 808.4 737.9  
 GR810 7 754.3 813.3 770.7 815.6 787.1 817.9 803.5 820.2 819.6  
 GR822 5 836.0 824.8 852.4 827.8 868.8 830.4 885.2 832.7 901.6  
 GR835 3 918.0 839.9 934.4 842.5 950.8 837.9 967.2 842.2 983.6  
 GR844 8 1000.0 853.0 1016.4 855.6 1032.8 857.9 1049.2 860.6 1065.6  
 GR863 2 1082.0  
 H 19364 0.0 0.0 0.0  
 X119365 40 441.6 685.0 880.2 1245.1 1113.5  
 GR911 4 22.0 904.2 44.3 896.7 66.3 889.4 88.3 882.2 110.2  
 GR879 3 132.5 872.7 154.5 866.1 176.5 859.6 198.5 853.0 220.8  
 GR845 8 242.8 838.6 264.8 831.0 287.1 823.8 309.1 816.6 331.0  
 GR812 0 353.0 803.8 375.3 795.6 397.3 787.4 419.3 777.9 441.6  
 GR768 7 463.6 759.2 485.6 750.0 507.5 740.5 529.9 731.3 551.8  
 GR731 3 573.8 721.8 595.8 734.9 618.1 748.0 640.1 761.2 662.1  
 GR774 3 684.4 787.4 706.4 803.8 728.3 820.2 750.3 836.6 772.6  
 GR853 0 794.6 875.0 816.6 896.7 838.6 918.6 860.9 940.6 882.9  
 H 19365 0.0 0.0 0.0  
 X119366 44 400.9 690.0 1180.8 393.7 787.1  
 GR896 7 23.6 892.4 47.2 885.8 70.9 879.3 94.2 872.7 117.8  
 GR866 1 141.4 859.6 165.0 859.6 188.6 853.0 212.3 842.2 235.9  
 GR831 0 259.5 826.8 282.8 813.6 306.4 800.5 330.1 800.5 353.7  
 GR787 4 377.3 777.9 400.9 768.7 424.5 759.2 447.8 750.0 471.5  
 GR743 8 495.1 732.6 518.7 731.3 542.3 721.8 565.9 734.9 589.6  
 GR748 0 612.9 761.2 636.5 761.2 660.1 774.3 683.7 787.4 707.3  
 GR792 0 731.0 796.9 754.6 801.5 778.2 802.5 801.5 807.7 825.1  
 GR812 7 848.8 812.7 872.4 817.6 896.0 822.8 919.6 827.8 943.2  
 GR831 0 966.5 836.6 990.2 839.2 1013.8 844.5 1037.4  
 H 19366 0.0 0.0 0.0  
 X119367 52 279.9 395.0 786.4 786.4 786.4  
 GR902 2 16.4 886.2 32.8 870.4 49.2 853.0 65.9 850.4 82.3  
 GR843 2 98.8 840.2 115.2 836.6 131.6 830.4 148.0 826.8 164.7  
 GR824 1 181.1 816.9 197.5 813.6 213.9 810.4 230.3 803.8 246.7  
 GR800 5 263.1 797.2 279.9 790.7 296.3 787.4 312.7 790.7 329.1  
 GR791 3 345.5 794.0 361.9 794.3 378.6 797.2 395.0 797.9 411.4  
 GR800 5 427.8 800.5 444.2 803.8 460.6 807.1 477.0 809.4 493.8  
 GR810 4 510.2 811.0 526.6 813.6 543.0 815.3 559.4 816.9 575.8  
 GR818 6 592.5 820.2 608.9 823.5 625.3 824.8 641.7 826.8 658.1  
 GR828 4 674.5 830.1 690.9 831.7 707.7 833.3 724.1 833.7 740.5  
 GR836 6 756.9 839.9 773.3 841.2 789.7 844.5 806.4 843.2 822.8  
 GR844 8 839.2 846.5 855.6  
 H 19367 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 11 05 1 3 -  
 X119370 57 362.7 628.3 440.3 695.9 502.0

GR956.3 16.5 949.0 33.0 942.6 49.4 935.0 65.9 926.8 82.4  
 GR918.6 98.9 910.4 115.4 902.2 131.9 894.0 148.4 886.7 164.9  
 GR880.3 181.3 874.9 197.8 869.4 214.3 863.9 230.8 858.5 247.3  
 GR853.0 263.7 847.5 280.2 841.8 296.7 833.0 313.2 822.9 329.7  
 GR812.0 346.2 802.9 362.7 794.7 379.1 787.2 395.6 782.4 412.1  
 GR777.4 428.6 773.0 445.1 764.6 461.6 760.2 478.1 758.4 494.6  
 GR760.8 511.0 765.6 527.5 772.0 544.0 780.2 560.5 787.0 577.0  
 GR788.5 593.4 788.4 609.9 791.3 626.4 803.8 642.9 817.5 659.4  
 GR828.4 675.9 849.5 692.4 860.8 708.9 866.2 725.3 859.7 741.8  
 GR862.1 758.3 869.4 774.8 877.6 791.3 887.3 807.7 896.5 824.2  
 GR897.1 840.7 899.2 857.2 902.2 873.7 905.9 890.2 909.5 906.7  
 GR902.2 923.2 904.4 939.6  
 H 19370 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .11 .05 1 .3  
 X119380 54 302.5 689.0 405.8 695.9 502.0  
 GR925.9 16.8 911.4 33.6 902.2 50.4 896.8 67.2 891.3 84.0  
 GR886.1 100.8 881.3 117.7 874.0 134.4 869.4 151.2 864.9 168.0  
 GR860.0 184.8 853.0 201.7 848.5 218.5 843.6 235.3 838.7 252.1  
 GR829.3 268.9 822.0 285.7 808.4 302.5 794.7 319.3 778.3 336.1  
 GR771.2 352.9 766.3 369.7 762.3 386.5 758.0 403.3 757.3 420.1  
 GR758.5 436.9 761.4 453.7 765.5 470.5 770.7 487.3 775.1 504.2  
 GR778.9 521.0 782.1 537.8 784.2 554.6 787.5 571.4 791.3 588.2  
 GR794.9 605.0 797.3 621.8 800.1 638.6 802.6 655.4 805.7 672.2  
 GR808.4 689.0 812.5 705.8 815.7 722.6 818.1 739.4 821.5 756.2  
 GR823.0 773.0 824.8 789.8 826.2 806.7 827.2 823.5 828.3 840.3  
 GR829.2 857.1 830.1 873.9 831.8 890.7 833.9 907.5  
 H 19380 0.0 0.0 0.0  
 NC 15 .11 0.05 1 .3  
 X119390 68 220.0 693.0 622.4 220.1 440.3  
 GR917.7 16.9 910.4 33.8 897.1 50.7 888.5 67.5 879.5 84.4  
 GR870.9 101.3 860.3 118.2 852.4 135.0 846.9 151.9 837.2 168.8  
 GR831.8 185.7 822.0 202.6 811.1 219.5 794.7 236.4 790.6 253.2  
 GR786.4 270.1 783.3 287.0 778.6 303.9 775.8 320.8 773.3 337.6  
 GR772.4 354.5 773.3 371.4 774.4 388.3 775.6 405.2 777.3 422.0  
 GR778.8 438.9 780.6 455.8 782.5 472.7 784.8 489.6 787.1 506.5  
 GR789.1 523.3 791.2 540.2 793.4 557.1 795.6 574.0 797.8 590.9  
 GR799.3 607.7 801.0 624.6 803.1 641.5 803.6 658.4 806.0 675.3  
 GR809.6 692.2 812.8 709.0 812.1 725.9 813.5 742.8 815.6 759.7  
 GR815.6 776.6 817.4 793.4 818.9 810.3 821.4 827.2 822.7 844.1  
 GR825.7 861.0 828.6 877.9 830.4 894.8 833.8 911.6 837.2 928.5  
 GR840.4 945.4 840.7 962.3 844.4 979.1 847.5 996.0 850.6 1012.9  
 GR853.3 1029.8 857.7 1046.7 861.5 1063.5 864.3 1080.4 867.1 1097.3  
 GR871.4 1114.2 877.6 1131.1 885.8 1148.0  
 H 19390 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .08 .05 1 .3  
 X119400 50 622.0 1010. 1122.4 1961.3 1499.3  
 GR936.5 23.4 929.0 46.9 921.1 70.2 912.3 93.7 900.4 117.1  
 GR888.5 140.5 880.9 163.9 875.2 187.3 868.8 210.8 860.3 234.2  
 GR851.2 257.6 841.5 281.0 832.5 304.4 826.4 327.9 827.8 351.3  
 GR833.5 374.7 837.7 398.1 839.4 421.5 839.5 444.9 843.0 468.4  
 GR843.9 491.8 841.2 515.2 834.8 538.6 825.7 562.0 817.5 585.5  
 GR812.2 608.9 808.0 632.3 803.2 655.7 801.2 679.1 799.8 702.6  
 GR798.5 726.0 797.5 749.4 797.2 772.8 796.0 796.2 794.8 819.7  
 GR793.4 843.1 791.5 866.5 789.3 889.9 789.0 913.3 791.5 936.7  
 GR795.1 960.2 799.1 983.6 804.4 1007.0 820.2 1030.4 842.1 1053.8

GR8713 1077.3 897.7 1100.7 926.8 1124.1 957.8 1147.5 984.3 1170.9  
 H19400 0.0 0.0 0.0  
 NC .11 .11 05 .1 3  
 X119410 43 392.2 614.0 1151.9 974.4 1046.3  
 GR991.9 21.8 993.6 43.6 993.2 65.4 990.5 87.2 987.0 109.0  
 GR976.0 130.7 977.9 152.5 946.0 174.3 909.5 196.1 885.8 217.9  
 GR869.4 239.7 853.9 261.5 840.3 283.3 828.4 305.1 821.8 326.9  
 GR816.6 348.7 812.6 370.4 811.4 392.2 807.1 414.0 802.4 435.8  
 GR796.8 457.6 791.3 479.4 789.8 501.2 792.4 523.0 795.8 544.8  
 GR799.4 566.6 804.4 588.4 808.9 610.1 820.5 631.9 828.1 653.7  
 GR834.1 675.5 838.0 697.3 840.0 719.1 842.1 740.9 844.1 762.7  
 GR846.2 784.5 848.2 806.3 850.3 828.1 851.0 849.8 853.2 871.6  
 GR856.1 893.4 859.3 915.2 862.4 937.0  
 H19410 0.0 0.0 0.0  
 X119420 60 415.0 585.0 768.7 440.3 630.2  
 GR1137.0 17.3 1130.8 34.6 1115.2 51.9 1108.8 69.3 1102.7 86.6  
 GR1086.3 103.9 1077.2 121.2 1068.1 138.5 1047.1 155.8 1041.7 173.1  
 GR1038.9 190.4 1025.3 207.7 1019.8 225.1 1016.1 242.4 998.8 259.7  
 GR991.5 277.0 977.0 294.3 936.9 311.6 916.8 328.9 893.1 346.2  
 GR843.4 363.5 828.0 380.9 821.6 398.2 811.7 415.5 808.4 432.8  
 GR804.7 450.1 794.4 467.4 791.5 484.7 790.7 502.0 795.3 519.4  
 GR798.0 536.7 800.3 554.0 808.8 571.3 815.4 588.6 820.5 605.9  
 GR828.1 623.2 832.3 640.6 835.6 657.8 838.8 675.2 840.4 692.5  
 GR841.8 709.8 843.4 727.1 844.9 744.4 846.4 761.7 847.4 779.0  
 GR848.3 796.4 849.3 813.6 850.6 831.0 851.8 848.3 854.0 865.6  
 GR855.9 882.9 859.0 900.2 862.0 917.5 863.4 934.8 865.9 952.2  
 GR868.8 969.5 872.1 986.8 879.1 1004.1 887.0 1021.4 890.4 1038.7  
 H19420 0.0 0.0 0.0  
 X119430 47 321.3 510.0 573.8 278.5 295.3  
 GR929.2 17.8 927.8 35.7 924.5 53.5 922.9 71.4 919.1 89.2  
 GR916.6 107.1 905.9 124.9 900.4 142.8 887.7 160.6 881.3 178.5  
 GR874.0 196.3 859.1 214.2 856.1 232.1 840.3 249.9 836.0 267.7  
 GR822.2 285.6 820.0 303.4 812.0 321.3 808.8 339.1 806.5 357.0  
 GR799.9 374.8 798.8 392.7 793.0 410.5 792.3 428.4 792.7 446.2  
 GR793.3 464.1 802.0 481.9 806.2 499.8 817.5 517.6 820.8 535.5  
 GR823.9 553.3 837.5 571.2 842.1 589.0 857.6 606.9 864.9 624.7  
 GR875.8 642.6 879.5 660.4 889.5 678.3 896.8 696.1 905.0 714.0  
 GR917.7 731.8 926.8 749.7 937.8 767.5 944.2 785.4 955.1 803.2  
 GR965.1 821.1 979.7 838.9  
 H19430 0.0 0.0 0.0  
 NC .15 .11 05 .1 3  
 X119440 50 449.1 560.0 220.1 928.5 573.8  
 GR950.2 18.0 946.6 35.9 944.0 53.9 939.6 71.9 932.8 89.8  
 GR926.2 107.8 918.9 125.8 912.3 143.7 907.4 161.7 897.4 179.7  
 GR891.3 197.6 878.1 215.6 872.6 233.6 865.8 251.5 857.6 269.5  
 GR853.9 287.5 854.5 305.4 847.5 323.4 840.6 341.3 832.5 359.3  
 GR829.0 377.3 825.0 395.2 822.9 413.2 818.4 431.2 815.4 449.1  
 GR808.9 467.1 807.0 485.1 806.7 503.1 809.0 521.0 810.6 539.0  
 GR814.1 557.0 816.1 574.9 818.0 592.9 825.3 610.8 832.1 628.8  
 GR843.0 646.8 849.1 664.7 857.0 682.7 860.0 700.7 862.7 718.6  
 GR868.0 736.6 870.3 754.6 875.2 772.5 877.9 790.5 880.8 808.5  
 GR885.4 826.4 887.8 844.4 890.7 862.4 893.0 880.3 896.2 898.3  
 H19440 0.0 0.0 0.0  
 X119450 51 230.0 345.0 660.1 311.4 440.3  
 GR966.0 17.5 953.3 35.1 926.8 52.6 910.4 70.1 899.5 87.7

GR882.2 105.2 871.3 122.7 861.2 140.3 845.7 157.8 838.2 175.3  
 GR830.3 192.8 825.4 210.4 821.1 227.9 814.6 245.4 809.8 263.0  
 GR808.2 280.5 809.6 298.0 813.9 315.6 817.3 333.1 821.9 350.6  
 GR825.2 368.1 828.1 385.7 832.9 403.2 836.0 420.7 839.8 438.3  
 GR849.4 455.8 855.7 473.3 865.1 490.8 869.3 508.4 871.3 525.9  
 GR873.8 543.4 875.3 561.0 877.4 578.5 880.2 596.0 882.5 613.5  
 GR884.6 631.1 887.1 648.6 888.6 666.1 890.3 683.7 892.1 701.2  
 GR893.3 718.7 894.5 736.3 896.1 753.8 897.9 771.3 899.6 788.8  
 GR901.9 806.4 904.6 823.9 906.7 841.4 909.8 859.0 912.7 876.5  
 GR914.8 894.0  
 H 19450. 0.0 0.0 0.0  
 X119460. 52 331.6 410.0 969.5 417.7 622.4  
 GR1006.7 18.4 997.9 36.8 991.5 55.3 985.8 73.7 980.6 92.1  
 GR973.3 110.5 961.5 129.0 951.4 147.4 936.9 165.8 922.3 184.2  
 GR902.2 202.7 885.8 221.1 869.4 239.5 855.9 257.9 845.9 276.3  
 GR838.8 294.8 831.4 313.2 825.9 331.6 822.4 350.0 822.3 368.5  
 GR824.1 386.9 825.7 405.3 827.5 423.7 829.1 442.2 830.9 460.6  
 GR832.3 479.0 834.2 497.4 835.4 515.8 836.6 534.3 838.5 552.7  
 GR839.7 571.1 841.4 589.5 842.5 608.0 844.3 626.4 845.5 644.8  
 GR847.5 663.2 848.8 681.7 850.6 700.1 852.8 718.5 859.4 736.9  
 GR865.8 755.3 875.8 773.8 882.2 792.2 893.1 810.6 900.4 829.0  
 GR913.2 847.5 919.6 865.9 935.0 884.3 942.3 902.7 962.4 921.2  
 GR971.5 939.6 987.9 958.0  
 H 19460. 0.0 0.0 0.0  
 X120000. 16 78.7 178.8 660.1 716.5 660.1  
 GR853.0 0.0 849.7 36.1 846.5 54.1 843.2 78.7 842.3 91.9  
 GR839.9 116.5 839.9 141.1 843.2 164.0 843.2 178.8 844.8 191.9  
 GR844.8 213.3 850.6 226.4 856.3 246.1 862.9 274.0 867.8 285.4  
 GR874.3 329.7  
 H 20000. 0.0 0.0 0.0  
 X120010. 47 366.3 560.0 139.1 311.4 220.1  
 GR955.4 16.6 951.0 33.3 947.0 49.9 943.5 66.6 940.6 83.2  
 GR938.3 99.9 935.9 116.5 932.8 133.2 928.8 149.8 923.8 166.5  
 GR918.6 183.1 913.2 199.8 907.7 216.4 902.2 233.1 896.8 249.7  
 GR891.3 266.4 884.9 283.0 877.6 299.7 870.8 316.3 865.3 333.0  
 GR861.2 349.6 857.1 366.3 850.9 382.9 849.5 399.6 849.5 416.2  
 GR853.0 432.9 853.0 449.5 853.0 466.2 853.0 482.8 853.0 499.4  
 GR853.0 516.1 853.0 532.7 853.0 549.4 858.5 566.0 869.4 582.7  
 GR885.8 599.3 902.2 616.0 918.6 632.6 935.0 649.3 948.7 665.9  
 GR959.6 682.6 970.6 699.2 981.5 715.9 992.5 732.5 1003.4 749.2  
 GR1014.3 765.8 1025.3 782.5  
 H 20010. 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .08 .035 .1 .3  
 X120020. 57 365.6 502.0 1409.1 1378.0 1392.1  
 GR1119.9 16.6 1119.9 33.2 1117.7 49.8 1113.2 66.5 1108.2 83.1  
 GR1097.2 99.7 1084.8 116.3 1072.3 132.9 1061.4 149.5 1050.5 166.2  
 GR1040.7 182.8 1025.3 199.4 1009.8 216.0 991.5 232.6 971.5 249.2  
 GR949.6 265.9 925.9 282.5 905.9 299.1 894.0 315.7 881.3 332.3  
 GR870.0 349.0 863.1 365.6 857.3 382.2 852.8 398.8 848.8 415.4  
 GR843.1 432.1 841.8 448.7 845.0 465.3 851.2 481.9 862.1 498.5  
 GR868.5 515.1 875.8 531.8 881.5 548.4 886.4 565.0 888.5 581.6  
 GR890.3 598.2 891.7 614.8 892.9 631.5 895.1 648.1 896.2 664.7  
 GR897.3 681.3 898.5 697.9 900.5 714.5 903.2 731.2 906.8 747.8  
 GR911.6 764.4 916.5 781.0 925.9 797.6 933.1 814.2 939.4 830.9  
 GR943.2 847.5 948.3 864.1 952.2 880.7 956.9 897.3 962.4 913.9

GR967.1 930.6 970.9 947.2  
 H 20020 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .08 .05 .1 3  
 X120030 52 418.4 646.0 811.7 405.8 622.4  
 GR1121.0 19.0 1100.9 38.0 1095.4 57.1 1075.4 76.0 1068.1 95.1  
 GR1049.9 114.1 1044.4 133.1 1028.0 152.1 1011.6 171.2 1005.2 190.2  
 GR987.9 209.2 980.6 228.2 963.3 247.2 956.0 266.2 942.3 285.2  
 GR925.0 304.3 918.6 323.3 901.3 342.3 896.8 361.3 882.4 380.3  
 GR870.7 399.3 867.4 418.4 853.1 437.4 857.8 456.4 855.5 475.4  
 GR863.7 494.4 860.0 513.5 856.6 532.4 855.8 551.5 856.5 570.5  
 GR857.9 589.5 861.9 608.5 863.8 627.5 867.7 646.6 871.6 665.6  
 GR873.1 684.6 876.9 703.6 878.1 722.6 881.8 741.6 882.7 760.7  
 GR890.5 779.7 904.1 798.7 907.1 817.7 921.7 836.7 924.4 855.7  
 GR936.9 874.7 951.4 893.8 952.4 912.8 962.9 931.8 960.8 950.8  
 GR963.8 969.8 963.5 988.8  
 H 20030 0.0 0.0 0.0  
 X120040 57 451.1 562.0 440.3 793.6 630.2  
 GR1015.2 16.1 1001.6 32.2 992.5 48.3 985.8 64.4 980.6 80.5  
 GR977.0 96.7 972.7 112.8 968.0 128.9 963.5 145.0 959.6 161.1  
 GR954.6 177.2 950.7 193.3 946.0 209.4 941.0 225.6 936.4 241.7  
 GR929.1 257.8 922.0 273.9 915.0 290.0 911.4 306.1 907.1 322.2  
 GR902.9 338.3 898.3 354.4 894.0 370.5 889.8 386.6 885.4 402.8  
 GR880.9 418.9 875.8 435.0 870.7 451.1 865.6 467.2 858.5 483.3  
 GR857.5 499.4 859.5 515.6 864.6 531.7 868.0 547.8 871.2 563.9  
 GR874.7 580.0 878.9 596.1 882.5 612.2 890.3 628.3 899.5 644.4  
 GR910.4 660.5 918.6 676.6 925.9 692.7 933.2 708.9 941.4 725.0  
 GR951.4 741.1 962.4 757.2 973.3 773.3 989.7 789.4 1001.6 805.5  
 GR1011.6 821.7 1020.7 837.8 1027.1 853.9 1033.5 870.0 1038.9 886.1  
 GR1044.4 902.2 1051.7 918.3  
 H 20040 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 .11 0.05 .1 .3  
 X120050 52 464.1 510.0 1699.1 2066.9 1870.1  
 GR1042.9 17.8 1039.5 35.7 1034.2 53.5 1029.4 71.4 1019.8 89.2  
 GR1014.6 107.1 1009.8 124.9 1001.3 142.8 995.8 160.6 980.6 178.5  
 GR971.5 196.3 963.3 214.2 948.7 232.1 939.6 249.9 925.0 267.7  
 GR914.1 285.6 905.9 303.4 898.8 321.3 895.3 339.1 891.3 357.0  
 GR890.7 374.8 891.2 392.7 893.4 410.5 893.6 428.4 886.6 446.2  
 GR871.3 464.1 859.9 481.9 866.1 499.8 873.3 517.6 883.4 535.5  
 GR891.0 553.3 901.7 571.2 910.4 589.0 920.5 606.9 932.0 624.7  
 GR939.6 642.6 946.9 660.4 953.6 678.2 961.2 696.1 972.4 714.0  
 GR977.9 731.8 986.4 749.7 993.4 767.5 1000.5 785.4 1006.3 803.2  
 GR1010.4 821.1 1015.4 838.9 1019.9 856.8 1025.3 874.6 1032.8 892.5  
 GR1038.9 910.3 1046.8 928.1  
 H 20050 0.0 0.0 0.0  
 NC 08 .11 0.05 .1 3  
 X120060 67 239.9 393.0 1320.5 1189.3 1233.3  
 GR1069.9 17.1 1051.7 34.3 1035.3 51.4 1022.5 68.5 1011.6 85.7  
 GR1000.7 102.8 980.6 119.9 966.0 137.1 951.4 154.2 940.5 171.3  
 GR923.7 188.5 918.6 205.6 914.5 222.7 911.8 239.9 907.7 257.0  
 GR905.5 274.1 904.1 291.3 904.1 308.4 905.7 325.6 907.1 342.7  
 GR908.6 359.8 909.8 376.9 912.1 394.1 913.4 411.2 914.5 428.3  
 GR915.8 445.5 918.2 462.6 919.6 479.8 921.4 496.9 923.1 514.0  
 GR926.8 531.1 928.5 548.3 930.3 565.4 932.4 582.5 937.3 599.7  
 GR941.1 616.8 945.4 634.0 949.3 651.1 955.1 668.2 958.7 685.4  
 GR962.4 702.5 965.7 719.6 969.8 736.7 972.0 753.9 974.5 771.0

GR977.3 788.2 980.9 805.3 984.2 822.4 987.5 839.6 990.8 856.7  
 GR994.1 873.8 997.4 890.9 1000.7 908.1 1003.7 925.2 1007.0 942.4  
 GR1010.1 959.5 1013.4 976.6 1019.4 993.8 1027.3 1010.9 1033.7 1028.0  
 GR1036.5 1045.2 1038.7 1062.3 1041.5 1079.4 1044.2 1096.6 1046.9 1113.7  
 GR1050.7 1130.8 1055.3 1148.0  
 H 20060 0.0 0.0 0.0  
 X120070 47 370.1 564.3 749.7 196.9 492.1  
 GR1097.2 19.5 1074.5 38.9 1062.6 58.4 1041.7 77.9 1029.8 97.4  
 GR1007.9 116.9 995.2 136.3 971.5 155.8 955.1 175.3 947.3 194.8  
 GR939.9 214.2 935.6 233.7 933.1 253.2 930.8 272.7 928.6 292.1  
 GR926.4 311.6 924.9 331.1 922.9 350.6 922.0 370.0 920.1 389.5  
 GR918.8 409.0 915.2 428.5 910.4 447.9 908.6 467.4 905.4 486.9  
 GR905.3 506.4 909.5 525.9 917.1 545.3 922.3 564.8 933.8 584.3  
 GR939.6 603.7 946.9 623.2 951.7 642.7 961.5 662.2 968.7 681.7  
 GR972.0 701.1 976.3 720.6 979.3 740.1 980.8 759.5 982.2 779.0  
 GR980.3 798.5 977.9 818.0 978.8 837.5 974.7 856.9 976.3 876.4  
 GR975.3 895.9 976.8 915.4  
 H 20070 0.0 0.0 0.0  
 NC .08 13 05  
 X120080 45 328.7 570. 1185.4 1260.5 1252.6  
 GR1035.9 19.4 1026.2 38.7 1020.2 58.0 1013.4 77.4 1011.3 96.7  
 GR1006.4 116.0 1004.1 135.4 999.0 154.7 995.8 174.1 989.1 193.4  
 GR982.6 212.8 979.3 232.1 971.6 251.4 966.6 270.8 951.4 290.1  
 GR941.9 309.5 932.0 328.8 929.8 348.2 925.8 367.5 922.2 386.8  
 GR921.0 406.2 921.1 425.5 922.3 444.9 925.3 464.2 927.0 483.6  
 GR930.1 502.9 932.0 522.2 939.8 541.6 967.8 560.9 982.4 580.3  
 GR1004.3 599.6 1013.4 619.0 1033.5 638.3 1044.4 657.6 1061.7 677.0  
 GR1071.8 696.3 1090.0 715.7 1111.8 735.0 1126.4 754.4 1143.7 773.7  
 GR1153.8 793.0 1167.4 812.4 1174.7 831.7 1183.5 851.0 1189.9 870.4  
 H 20080 0.0 0.0 0.0  
 X120090 55 341.0 477.5 393.7 709.6 573.8  
 GR1107.3 13.6 1106.4 27.3 1104.6 40.9 1096.7 54.6 1094.8 68.2  
 GR1093.9 81.9 1093.0 95.5 1087.5 109.2 1086.3 122.8 1082.7 136.4  
 GR1076.9 150.1 1062.6 163.7 1055.3 177.4 1049.9 191.0 1044.4 204.6  
 GR1029.8 218.3 1021.6 231.9 1016.1 245.6 1009.8 259.2 1003.4 272.8  
 GR987.9 286.5 973.3 300.1 960.2 313.8 952.0 327.4 946.7 341.0  
 GR944.3 354.7 942.0 368.3 939.3 382.0 936.7 395.6 936.7 409.3  
 GR937.7 422.9 938.7 436.5 940.7 450.2 941.7 463.8 943.0 477.5  
 GR944.2 491.1 946.4 504.8 947.5 518.4 948.7 532.1 949.6 545.7  
 GR952.5 559.4 963.3 573.0 973.3 586.6 982.4 600.3 993.4 613.9  
 GR1008.9 627.6 1019.8 641.2 1027.1 654.8 1035.3 668.5 1049.9 682.1  
 GR1059.9 695.8 1069.9 709.4 1078.1 723.0 1090.0 736.7 1099.1 750.3  
 H 20090 0.0 0.0 0.0  
 NC .08 11 05 1 3  
 X120100 53 344.1 600 969.5 622.4 880.2  
 GR1014.7 16.4 1011.9 32.8 1008.6 49.1 1004.8 65.6 1001.1 81.9  
 GR998.2 98.3 996.2 114.7 994.9 131.1 992.6 147.5 991.9 163.8  
 GR991.9 180.2 991.8 196.6 992.5 213.0 993.4 229.4 989.6 245.8  
 GR988.5 262.2 987.1 278.5 985.0 294.9 982.9 311.3 977.3 327.7  
 GR974.8 344.1 971.8 360.5 967.6 376.9 963.1 393.2 953.4 409.6  
 GR947.2 426.0 945.4 442.4 945.6 458.8 948.7 475.2 950.8 491.6  
 GR954.0 507.9 959.6 524.3 963.7 540.7 966.6 557.1 968.8 573.5  
 GR971.9 589.9 973.3 606.3 975.0 622.6 976.7 639.0 978.7 655.4  
 GR980.1 671.8 978.8 688.2 977.4 704.6 975.7 721.0 976.4 737.4  
 GR977.1 753.7 977.9 770.1 978.5 786.5 979.0 802.9 979.7 819.3

GR979.7 835.7 976.6 852.1 977.6 868.4  
 H20100. 0.0 0.0 0.0  
 NC 09 13 .05 1 .3  
 X120110 54 562.1 796.2 933.7 709.6 793.6  
 GR1069.9 23.4 1059.0 46.9 1049.9 70.3 1040.7 93.7 1030.7 117.1  
 GR1021.3 140.5 1015.1 163.9 1012.2 187.4 1009.3 210.8 1006.4 234.2  
 GR1003.7 257.6 1001.1 281.1 999.2 304.5 997.8 327.9 996.3 351.3  
 GR994.8 374.7 993.4 398.2 991.9 421.6 990.4 445.0 989.0 468.4  
 GR987.5 491.9 986.0 515.3 983.8 538.7 977.0 562.1 968.9 585.5  
 GR964.5 609.0 961.0 632.4 957.5 655.8 954.5 679.2 953.4 702.7  
 GR955.9 726.1 959.6 749.5 963.4 772.9 967.0 796.3 970.0 819.8  
 GR972.9 843.2 975.8 866.6 978.7 890.0 981.5 913.5 986.1 936.9  
 GR992.5 960.3 1003.4 983.7 1017.1 1007.1 1030.7 1030.5 1040.7 1054.0  
 GR1049.0 1077.4 1055.3 1100.8 1060.8 1124.2 1066.3 1147.7 1071.8 1171.1  
 GR1078.1 1194.5 1085.4 1217.9 1094.5 1241.3 1102.7 1264.8  
 H20110 0.0 0.0 0.0  
 X120115 36 343.2 592. 1623.4 1419.3 1419.6  
 GR1279.5 20.3 1263.1 40.4 1246.7 60.7 1224.7 80.7 1203.1 101.0  
 GR1181.1 121.1 1159.1 141.4 1137.5 161.4 1115.5 181.8 1082.7 201.8  
 GR1049.9 222.1 1033.5 242.1 1017.1 262.5 1000.7 282.5 984.3 302.8  
 GR977.7 322.8 971.1 343.2 964.6 363.2 958.0 383.5 951.4 403.5  
 GR944.9 423.9 938.3 443.9 931.8 464.2 925.2 484.3 923.2 504.6  
 GR925.9 524.6 933.1 544.9 940.3 565.0 947.5 585.3 1017.1 605.3  
 GR1033.5 625.7 1049.9 645.7 1070.2 666.0 1089.2 686.0 1108.9 706.4  
 GR1123.4 726.4  
 H20115 0.0 0.0 0.0  
 X120120 51 398.8 460. 1968.2 2489.8 2838.9  
 GR1243.1 18.1 1224.8 36.3 1193.9 54.4 1176.8 72.5 1157.4 90.6  
 GR1145.2 108.8 1127.0 126.9 1115.5 145.0 1098.5 163.2 1087.5 181.3  
 GR1070.5 199.4 1060.8 217.6 1048.5 235.7 1042.6 253.8 1035.3 271.9  
 GR1030.4 290.1 1023.1 308.2 1018.7 326.3 1014.3 344.4 1007.2 362.6  
 GR1003.5 380.7 996.6 398.8 993.0 417.0 988.5 435.1 990.0 453.2  
 GR997.8 471.3 1004.9 489.5 1015.3 507.6 1022.3 525.7 1032.7 543.8  
 GR1040.7 562.0 1051.1 580.1 1059.9 598.2 1070.3 616.4 1078.7 634.5  
 GR1086.7 652.6 1096.8 670.7 1105.4 688.9 1119.5 707.0 1136.2 725.1  
 GR1159.2 743.3 1178.7 761.4 1201.8 779.5 1221.2 797.6 1242.7 815.8  
 GR1256.2 833.9 1271.1 852.0 1280.2 870.1 1294.8 888.3 1301.8 906.4  
 GR1314.2 924.5  
 H20120 0.0 0.0 0.0  
 X120130 54 513.6 565 4563.4 4842.9 4592.5  
 GR1348.1 18.3 1340.3 36.7 1327.7 55.0 1314.6 73.4 1305.1 91.7  
 GR1292.9 110.0 1272.8 128.4 1253.4 146.8 1242.5 165.1 1232.7 183.4  
 GR1213.9 201.8 1195.1 220.1 1185.4 238.5 1176.8 256.8 1158.0 275.1  
 GR1138.6 293.5 1127.6 311.8 1118.1 330.2 1108.1 348.5 1100.6 366.8  
 GR1095.8 385.2 1092.0 403.5 1084.7 421.9 1077.4 440.2 1073.4 458.6  
 GR1070.1 476.9 1062.8 495.2 1056.0 513.6 1053.8 531.9 1053.9 550.3  
 GR1057.6 568.6 1063.3 586.9 1066.8 605.3 1069.9 623.7 1076.1 642.0  
 GR1082.3 660.3 1085.8 678.7 1089.2 697.0 1095.5 715.4 1101.7 733.7  
 GR1104.7 752.0 1108.1 770.4 1117.2 788.7 1141.0 807.1 1155.6 825.4  
 GR1172.6 843.7 1198.1 862.1 1220.0 880.4 1229.7 898.8 1241.9 917.1  
 GR1263.7 935.5 1285.6 953.8 1295.3 972.1 1306.9 990.5  
 H20130 0.0 0.0 0.0  
 NC 08 09 035 1 3  
 X120150 48 338.8 545.9 1670.3 1540.7 1531.2  
 GR1314.9 18.8 1306.6 37.7 1302.9 56.5 1287.9 75.3 1282.1 94.1

GR1266.8 113.0 1261.7 131.8 1245.1 150.6 1237.2 169.4 1212.7 188.2  
 GR1200.6 207.1 1181.4 225.9 1176.0 244.7 1169.6 263.5 1163.1 282.3  
 GR1159.7 301.2 1153.1 320.0 1149.0 338.8 1142.3 357.6 1138.1 376.5  
 GR1131.3 395.3 1126.7 414.1 1120.3 432.9 1118.8 451.8 1121.2 470.6  
 GR1126.2 489.4 1129.5 508.2 1134.8 527.1 1137.9 545.9 1143.1 564.7  
 GR1145.8 583.5 1150.8 602.4 1153.2 621.2 1158.2 640.0 1160.3 658.8  
 GR1165.1 677.7 1167.1 696.5 1171.8 715.3 1176.5 734.1 1178.9 753.0  
 GR1186.3 771.8 1190.3 790.6 1198.4 809.4 1205.4 828.2 1215.8 847.1  
 GR1224.1 865.9 1234.9 884.7 1243.3 903.5  
 H 20150 0.0 0.0 0.0  
 X120160. 51 370.8 522.5 2366.5 2468.5 2380.6  
 GR1331.3 16.9 1323.3 33.7 1315.8 50.6 1304.6 67.4 1296.8 84.3  
 GR1289.7 101.1 1282.7 118.0 1271.5 134.8 1265.8 151.7 1259.4 168.5  
 GR1253.3 185.4 1241.6 202.3 1232.9 219.1 1222.7 236.0 1212.1 252.8  
 GR1197.1 269.7 1186.7 286.5 1178.9 303.4 1172.2 320.2 1165.5 337.1  
 GR1157.6 353.9 1151.3 370.8 1145.8 387.7 1140.7 404.5 1133.1 421.4  
 GR1128.0 438.2 1122.1 455.1 1120.9 471.9 1125.3 488.8 1133.2 505.6  
 GR1141.0 522.5 1148.2 539.3 1156.4 556.2 1162.5 573.1 1168.0 589.9  
 GR1173.3 606.8 1178.6 623.6 1187.0 640.5 1193.2 657.3 1199.9 674.2  
 GR1207.5 691.0 1217.4 707.9 1226.2 724.7 1236.1 741.6 1247.4 758.5  
 GR1258.9 775.3 1269.8 792.2 1279.3 809.0 1288.0 825.9 1295.0 842.7  
 GR1303.0 859.6  
 H 20160. 0.0 0.0 0.0  
 X120170. 42 312.0 542.0 3074.8 3126.3 3090.6  
 GR1374.8 19.5 1363.6 39.0 1351.7 58.5 1340.0 78.0 1328.0 97.5  
 GR1313.4 117.0 1299.2 136.5 1286.1 156.0 1273.7 175.5 1261.3 195.0  
 GR1250.0 214.5 1241.3 234.0 1235.7 253.5 1230.7 273.0 1225.3 292.5  
 GR1219.9 312.0 1215.7 331.5 1210.5 351.0 1205.3 370.4 1201.3 390.0  
 GR1197.3 409.4 1193.9 428.9 1189.1 448.5 1185.8 467.9 1186.4 487.4  
 GR1194.6 506.9 1204.5 526.4 1211.0 545.9 1221.7 565.4 1232.5 584.9  
 GR1238.4 604.4 1250.6 623.9 1265.7 643.4 1275.2 662.9 1291.2 682.4  
 GR1306.6 701.9 1315.4 721.4 1326.9 740.9 1334.2 760.4 1345.1 779.9  
 GR1356.1 799.4 1363.4 818.9  
 H 20170. 0.0 0.0 0.0  
 NC 09 09 035 .1 .3  
 X120180. 39 334.9 480.0 1320.5 590.6 933.7  
 GR1334.2 22.3 1323.3 44.7 1313.5 67.0 1305.0 89.3 1297.3 111.6  
 GR1289.8 134.0 1282.2 156.3 1280.9 178.6 1273.0 201.0 1265.2 223.3  
 GR1257.3 245.6 1249.0 267.9 1238.9 290.3 1226.8 312.6 1214.6 334.9  
 GR1202.5 357.2 1192.2 379.6 1187.8 401.9 1194.5 424.2 1205.4 446.5  
 GR1210.8 468.9 1221.9 491.2 1233.1 513.5 1245.5 535.8 1266.2 558.2  
 GR1292.9 580.5 1314.6 602.8 1329.8 625.1 1344.4 647.5 1359.0 669.8  
 GR1373.2 692.1 1387.4 714.4 1401.6 736.8 1413.1 759.1 1429.0 781.4  
 GR1443.2 803.7 1456.7 826.1 1469.8 848.4 1482.9 870.7  
 H 20180. 0.0 0.0 0.0  
 NC 09 09 0035 .1 .3  
 X121000. 41 1020 1250 1324.1 907.5 969.5  
 GR2142.4 0.0 2139.1 52.5 2109.6 98.4 2080.1 137.8 2034.1 183.7  
 GR1975.1 249.3 1929.1 298.6 1896.3 331.4 1879.9 380.6 1853.7 419.9  
 GR1830.7 469.2 1633.9 505.2 1617.5 521.7 1879.9 577.4 1627.3 675.9  
 GR1568.2 718.5 1528.9 784.1 1319.2 1017.1 1227.0 1108.9 1233.6 1148.3  
 GR1210.6 1181.1 1217.2 1213.9 1303.4 1259.8 1312.3 1279.5 1371.4 1325.5  
 GR1414.0 1371.4 1469.8 1417.3 1568.2 1489.5 1702.8 1614.2 1738.8 1660.1  
 GR1781.5 1712.6 1797.9 1732.3 1807.7 1755.2 1820.9 1784.8 1837.3 1870.1  
 GR1873.4 1932.4 1916.0 1952.1 1968.5 2014.4 2021.0 2099.7 2076.8 2191.6

GR2093 2 2250 7  
 H 21000 00 00 00  
 X122000 42 435.7 505.0 2576.5 2080.4 2079.0  
 GR1655.6 22.9 1639.0 45.9 1622.9 68.8 1606.9 91.7 1590.8 114.7  
 GR1573.6 137.6 1552.9 160.5 1531.1 183.5 1523.8 206.4 1493.4 229.3  
 GR1453.3 252.3 1410.8 275.2 1377.3 298.1 1357.9 321.1 1341.5 344.0  
 GR1325.1 366.9 1309.1 389.9 1293.4 412.8 1277.7 435.7 1263.1 458.7  
 GR1258.6 481.6 1276.9 504.6 1287.8 527.5 1319.0 550.4 1350.1 573.4  
 GR1381.3 596.3 1412.4 619.2 1443.6 642.2 1474.7 665.1 1505.9 688.0  
 GR1537.0 711.0 1567.0 733.9 1592.7 756.8 1616.1 779.8 1639.5 802.7  
 GR1652.0 825.6 1676.0 848.6 1700.0 871.5 1724.0 894.4 1748.0 917.4  
 GR1781.1 940.3 1838.7 963.2  
 H 22000 00 00 00  
 SE MODELA FLUJO LOCAL EN EL PUNTO A  
 NC .09 .09 0.05 0.1 0.3  
 QT  
 X123000 51 417.0 600.0 220.1 139.1 220.1  
 GR1537.0 18.1 1532.4 36.3 1533.5 54.4 1527.9 72.5 1524.8 90.6  
 GR1518.6 108.8 1513.6 126.9 1501.5 145.0 1494.4 163.2 1480.0 181.3  
 GR1465.0 199.4 1451.5 217.6 1433.9 235.7 1419.4 253.8 1391.0 271.9  
 GR1373.0 290.1 1351.2 308.2 1335.4 326.3 1321.3 344.4 1307.2 362.6  
 GR1301.7 380.7 1293.7 398.8 1287.1 417.0 1279.0 435.1 1271.3 453.2  
 GR1263.1 471.3 1254.9 489.5 1252.2 507.6 1254.5 525.7 1262.3 543.8  
 GR1269.3 562.0 1276.9 580.1 1283.1 598.2 1290.4 616.4 1295.9 634.5  
 GR1300.4 652.6 1307.2 670.7 1311.4 688.9 1320.4 707.0 1324.7 725.1  
 GR1334.4 743.3 1336.9 761.4 1345.2 779.5 1346.4 797.6 1353.7 815.8  
 GR1355.1 833.9 1362.0 852.0 1364.6 870.1 1371.3 888.3 1373.6 906.4  
 GR1381.9 924.5  
 H 23000 00 00 00  
 X124000 45 386.5 630.6 907.5 907.5 907.5  
 GR1538.9 20.3 1520.7 40.7 1514.3 61.0 1498.3 81.4 1481.2 101.7  
 GR1464.2 122.0 1456.9 142.4 1438.7 162.7 1418.7 183.1 1398.0 203.4  
 GR1390.7 223.8 1373.6 244.1 1359.0 264.4 1344.4 284.8 1337.9 305.1  
 GR1323.3 325.5 1310.5 345.8 1304.7 366.1 1294.6 386.5 1284.5 406.8  
 GR1274.5 427.2 1269.3 447.5 1259.7 467.8 1253.1 488.2 1254.5 508.5  
 GR1257.6 528.9 1266.6 549.2 1275.6 569.6 1284.6 589.9 1287.2 610.2  
 GR1295.7 630.6 1304.2 650.9 1305.4 671.3 1314.7 691.6 1326.8 711.9  
 GR1340.4 732.3 1345.9 752.6 1360.5 773.0 1374.0 793.3 1383.0 813.6  
 GR1386.0 834.0 1392.5 854.3 1399.1 874.7 1405.6 895.0 1408.9 915.4  
 H 24000 00 00 00  
 X124010 39 357.2 414.0 969.5 846.8 880.2  
 GR1449.4 22.3 1441.2 44.7 1432.1 67.0 1422.7 89.3 1413.4 111.6  
 GR1404.0 134.0 1394.6 156.3 1389.4 178.6 1380.2 201.0 1371.7 223.3  
 GR1363.6 245.6 1355.5 267.9 1347.4 290.3 1339.3 312.6 1331.2 334.9  
 GR1323.7 357.2 1317.4 379.6 1318.7 401.9 1326.7 424.2 1335.2 446.5  
 GR1342.3 468.9 1351.3 491.2 1360.2 513.5 1369.2 535.8 1378.6 558.2  
 GR1388.5 580.5 1399.3 602.8 1410.1 625.1 1418.4 647.5 1427.2 669.8  
 GR1437.4 692.1 1445.1 714.4 1446.9 736.8 1448.3 759.1 1446.3 781.4  
 GR1440.8 803.7 1449.8 826.1 1455.3 848.4 1457.1 870.7  
 H 24010 00 00 00  
 X124020 64 1076.1 1223.8 1060.0 768.7 846.8  
 GR2175.2 0.0 2145.7 39.4 2126.0 85.3 2116.1 118.1 2106.3 177.2  
 GR2096.5 236.2 2076.8 295.3 2057.1 364.2 2037.4 397.0 2021.0 429.8  
 GR2007.9 439.6 1988.2 465.9 1961.9 485.6 1909.4 531.5 1873.4 577.4  
 GR1830.7 629.9 1791.3 675.9 1755.2 711.9 1637.1 807.1 1561.7 846.5

GR1496.1 899.0 1456.7 938.3 1433.7 951.4 1417.3 964.6 1420.6 984.3  
 GR1368.1 1046.6 1341.9 1053.1 1325.5 1076.1 1317.0 1095.8 1305.8 1108.9  
 GR1299.2 1141.7 1299.2 1164.7 1317.9 1207.3 1325.5 1223.8 1328.7 1243.4  
 GR1358.3 1251.6 1384.5 1279.5 1417.3 1318.9 1440.3 1341.9 1509.2 1404.2  
 GR1538.7 1427.2 1551.8 1443.6 1565.0 1456.7 1574.8 1476.4 1640.4 1568.2  
 GR1656.8 1571.5 1689.6 1581.4 1715.9 1637.1 1738.8 1660.1 1755.2 1679.8  
 GR1788.1 1719.2 1811.0 1752.0 1837.3 1797.9 1860.2 1837.3 1886.5 1876.6  
 GR1896.3 1883.2 1929.1 1929.1 1958.7 1968.5 1984.9 2007.9 2017.7 2040.7  
 GR2057.1 2089.9 2099.7 2158.8 2135.8 2208.0 2214.6 2329.4  
 H 24020 0.0 0.0 0.0  
 NC 08 08 05 1 3  
 X124030 52 1050.0 1210.0 1060.0 768.7 846.8  
 GR2296.6 0.0 2276.9 26.2 2260.5 65.6 2224.4 131.2 2204.7 150.9  
 GR2188.3 167.3 2168.6 187.0 2149.0 206.7 2106.3 255.9 2024.3 354.3  
 GR1994.8 387.1 1981.6 406.8 1948.8 433.1 1916.0 465.9 1853.7 554.5  
 GR1827.4 584.0 1791.3 666.0 1765.1 695.5 1725.7 734.9 1696.2 764.4  
 GR1624.0 839.9 1574.8 869.4 1565.0 879.3 1414.0 974.4 1374.7 984.3  
 GR1348.4 1023.6 1313.0 1072.8 1305.8 1089.2 1305.8 1174.5 1310.7 1200.8  
 GR1348.4 1233.6 1364.8 1250.0 1384.5 1273.0 1469.8 1351.7 1515.7 1397.6  
 GR1545.3 1443.6 1578.1 1489.5 1601.0 1525.6 1656.8 1578.1 1692.9 1601.0  
 GR1712.6 1630.6 1761.8 1679.8 1788.1 1706.0 1804.5 1732.3 1840.6 1778.2  
 GR1893.0 1857.0 1916.0 1883.2 1968.5 1942.3 1994.8 1961.9 2060.4 2040.7  
 GR2106.3 2119.4 2188.3 2237.5  
 H 24030 0.0 0.0 0.0  
 X124040 45 398.0 460.0 996.1 1046.3 1148.0  
 GR1416.3 17.3 1413.8 34.6 1412.8 51.9 1408.1 69.2 1402.5 86.5  
 GR1401.1 103.8 1395.5 121.1 1390.2 138.4 1384.5 155.6 1376.4 172.9  
 GR1371.0 190.2 1367.3 207.5 1363.9 224.8 1359.2 242.1 1355.9 259.4  
 GR1352.7 276.7 1347.6 294.0 1344.2 311.3 1340.8 328.6 1335.2 345.9  
 GR1331.8 363.2 1328.9 380.4 1322.6 397.8 1319.6 415.1 1317.2 432.3  
 GR1319.2 449.6 1324.8 466.9 1334.2 484.2 1340.5 501.5 1346.7 518.8  
 GR1356.1 536.1 1361.5 553.4 1366.9 570.7 1377.4 588.0 1384.3 605.3  
 GR1395.0 622.6 1416.8 639.9 1426.5 657.2 1446.6 674.4 1456.9 691.7  
 GR1466.0 709.1 1484.9 726.3 1497.0 743.6 1507.8 760.9 1523.0 778.2  
 H 24040 0.0 0.0 0.0  
 X124050 54 422.4 465.0 1122.4 1774.3 1453.4  
 GR1652.3 17.6 1650.5 35.2 1654.9 52.8 1658.2 70.4 1654.1 88.0  
 GR1642.3 105.6 1628.3 123.2 1610.0 140.8 1595.5 158.4 1576.0 176.0  
 GR1557.8 193.6 1535.9 211.2 1510.4 228.8 1488.5 246.4 1466.7 264.0  
 GR1444.2 281.6 1426.0 299.2 1407.1 316.8 1392.5 334.4 1379.7 352.0  
 GR1363.6 369.6 1351.7 387.2 1338.6 404.8 1326.7 422.4 1320.3 440.0  
 GR1322.3 457.6 1331.8 475.2 1342.2 492.8 1352.4 510.4 1364.8 528.0  
 GR1375.4 545.6 1383.4 563.2 1388.9 580.8 1394.4 598.4 1399.8 616.0  
 GR1401.0 633.6 1404.6 651.2 1408.3 668.8 1412.2 686.5 1419.1 704.0  
 GR1425.7 721.7 1434.3 739.2 1443.7 756.9 1454.3 774.4 1465.3 792.1  
 GR1470.3 809.6 1479.3 827.3 1490.9 844.8 1505.2 862.5 1517.5 880.1  
 GR1526.2 897.7 1534.7 915.3 1543.4 932.9 1551.0 950.5  
 H 24050 0.0 0.0 0.0  
 X124060 51 417.5 490.0 1433.1 1602.4 1499.3  
 GR1542.9 17.4 1538.1 34.8 1529.4 52.2 1523.8 69.6 1518.2 87.0  
 GR1510.0 104.4 1505.8 121.8 1502.3 139.2 1497.1 156.6 1493.7 174.0  
 GR1488.5 191.3 1484.8 208.7 1480.8 226.1 1475.5 243.5 1470.6 260.9  
 GR1465.5 278.3 1460.0 295.7 1454.5 313.1 1449.0 330.5 1441.3 347.9  
 GR1431.7 365.3 1420.7 382.7 1409.1 400.1 1399.1 417.5 1391.0 434.9  
 GR1385.3 452.3 1387.0 469.7 1398.4 487.0 1406.6 504.5 1415.4 521.9

GR1427.5 539.2 1435.8 556.6 1445.4 574.0 1463.0 591.4 1475.2 608.8  
 GR1486.7 626.2 1504.9 643.6 1515.3 661.0 1526.8 678.4 1545.0 695.8  
 GR1559.0 713.2 1573.0 730.6 1592.4 748.0 1607.6 765.4 1627.7 782.8  
 GR1638.3 800.2 1646.9 817.6 1656.6 834.9 1662.6 852.4 1667.5 869.8  
 GR1677.8 887.1  
 H 24060 00 00 00  
 X124070. 55 433.3 560.0 1082.7 793.6 907.5  
 GR1476.0 19.7 1473.9 39.4 1472.5 59.1 1470.4 78.8 1468.3 98.5  
 GR1466.7 118.2 1464.6 137.9 1463.0 157.6 1460.9 177.3 1461.1 197.0  
 GR1459.4 216.7 1459.5 236.4 1458.3 256.1 1456.0 275.8 1453.9 295.4  
 GR1452.2 315.2 1449.8 334.8 1443.3 354.6 1437.1 374.2 1427.4 393.9  
 GR1417.7 413.6 1410.8 433.3 1400.9 453.0 1391.7 472.7 1385.1 492.4  
 GR1383.7 512.1 1389.5 531.8 1397.3 551.5 1406.7 571.2 1415.5 590.9  
 GR1424.8 610.6 1434.0 630.3 1442.0 650.0 1448.9 669.7 1454.4 689.4  
 GR1459.0 709.1 1463.8 728.8 1464.5 748.5 1464.9 768.2 1466.0 787.9  
 GR1472.7 807.6 1480.2 827.3 1486.0 847.0 1486.3 866.7 1484.4 886.4  
 GR1487.3 906.1 1487.2 925.8 1491.9 945.4 1498.4 965.2 1500.3 984.8  
 GR1507.5 1004.6 1512.1 1024.2 1521.9 1043.9 1529.8 1063.6 1534.7 1083.3  
 H 24070. 0.0 00 00  
 NC 08 09 05 .1 3  
 X124080. 45 21.7 738.0 1064.6 1013.5 1046.3  
 GR1526.5 21.7 1525.0 43.4 1523.4 65.1 1521.9 86.8 1521.5 108.5  
 GR1520.0 130.2 1518.2 151.9 1517.5 173.6 1516.9 195.3 1515.0 217.1  
 GR1512.7 238.7 1507.8 260.5 1497.2 282.2 1474.5 303.9 1451.9 325.6  
 GR1440.4 347.3 1434.4 369.0 1432.2 390.7 1434.0 412.4 1430.7 434.1  
 GR1431.4 455.8 1434.8 477.5 1443.7 499.2 1447.0 520.9 1452.1 542.6  
 GR1460.3 564.3 1467.4 586.0 1469.4 607.7 1478.0 629.4 1486.6 651.1  
 GR1495.2 672.8 1503.8 694.6 1513.9 716.2 1526.4 738.0 1535.7 759.6  
 GR1547.8 781.4 1558.3 803.1 1567.3 824.8 1577.9 846.5 1587.0 868.2  
 GR1596.0 889.9 1605.2 911.6 1613.1 933.3 1622.2 955.0 1631.3 976.7  
 H 24080. 0.0 00 00  
 X124100. 57 334.2 702.0 984.3 1476.4 1189.3  
 GR1613.5 16.7 1611.8 33.4 1610.1 50.1 1606.9 66.8 1605.2 83.5  
 GR1603.3 100.3 1601.4 117.0 1599.4 133.7 1596.3 150.4 1594.3 167.1  
 GR1592.2 183.8 1589.9 200.5 1587.2 217.2 1584.1 233.9 1581.0 250.6  
 GR1577.9 267.4 1572.2 284.1 1563.9 300.8 1552.9 317.5 1543.9 334.2  
 GR1535.6 350.9 1527.2 367.6 1518.6 384.3 1508.4 401.0 1498.3 417.7  
 GR1487.3 434.4 1476.4 451.1 1465.5 467.8 1454.5 484.6 1450.3 501.3  
 GR1453.0 518.0 1461.6 534.7 1469.9 551.4 1478.3 568.1 1486.5 584.8  
 GR1495.4 601.5 1502.7 618.2 1510.1 634.9 1518.3 651.7 1523.7 668.4  
 GR1533.1 685.1 1542.0 701.8 1550.3 718.5 1558.5 735.2 1565.6 751.9  
 GR1566.2 768.6 1572.2 785.3 1576.5 802.0 1581.8 818.8 1586.4 835.5  
 GR1580.9 852.2 1587.2 868.9 1594.4 885.6 1601.9 902.3 1607.6 919.0  
 GR1602.0 935.7 1599.7 952.4  
 H 24100. 00 00 00  
 NC .9 .9 035 1 3  
 X124110. 52 281.8 732.5 1794.6 1181.1 1505.6  
 GR1703.1 18.8 1690.0 37.6 1683.8 56.4 1670.3 75.1 1663.7 93.9  
 GR1649.5 112.7 1640.4 131.5 1625.1 150.3 1616.0 169.1 1601.0 187.8  
 GR1586.1 206.6 1580.0 225.4 1568.2 244.2 1564.4 263.0 1553.8 281.8  
 GR1549.3 300.5 1538.3 319.3 1532.3 338.1 1520.6 356.9 1508.0 375.7  
 GR1498.3 394.5 1481.2 413.2 1472.0 432.0 1458.0 450.8 1453.2 469.6  
 GR1450.7 488.4 1459.1 507.2 1462.8 525.9 1472.6 544.7 1476.9 563.5  
 GR1487.0 582.3 1491.5 601.0 1501.5 619.8 1507.1 638.6 1518.2 657.4  
 GR1530.1 676.2 1535.9 695.0 1548.1 713.7 1553.9 732.5 1565.8 751.3

GR1571.3 770.1 1577.6 788.9 1579.1 807.7 1582.6 826.4 1586.2 845.2  
 GR1588.0 864.0 1591.5 882.8 1592.9 901.6 1596.4 920.4 1598.1 939.1  
 GR1601.5 957.9 1602.9 976.7  
 H24110 00 00 0.0  
 NC 09 .09 .05 .1 .3  
 X124120. 61 297.8 729.0 1320.5 557.7 984.3  
 GR1656.6 16.5 1645.6 33.1 1637.3 49.6 1632.2 66.2 1633.0 82.7  
 GR1628.1 99.3 1621.5 115.8 1614.8 132.3 1607.6 148.9 1599.2 165.5  
 GR1591.1 182.0 1582.4 198.5 1578.6 215.1 1571.8 231.6 1568.3 248.2  
 GR1564.3 264.7 1560.4 281.2 1556.5 297.8 1552.5 314.3 1548.6 330.9  
 GR1549.3 347.4 1548.3 364.0 1545.9 380.5 1542.0 397.0 1536.7 413.6  
 GR1531.6 430.2 1526.5 446.7 1521.4 463.2 1516.5 479.8 1512.8 496.3  
 GR1512.2 512.9 1513.8 529.4 1517.3 546.0 1520.7 562.5 1524.1 579.0  
 GR1526.2 595.6 1529.6 612.1 1533.0 628.7 1536.3 645.2 1539.7 661.7  
 GR1543.3 678.3 1547.3 694.8 1551.6 711.4 1555.5 728.0 1559.3 744.5  
 GR1562.7 761.0 1565.6 777.6 1568.3 794.1 1570.5 810.7 1572.9 827.2  
 GR1573.2 843.7 1575.6 860.3 1578.1 876.8 1580.2 893.4 1582.2 909.9  
 GR1584.2 926.5 1586.2 943.0 1588.2 959.5 1589.1 976.1 1591.2 992.7  
 GR1593.2 1009.2  
 H24120. 00 00 0.0  
 X124130. 46 289.0 778.1 1082.7 768.7 933.7  
 GR1641.6 22.2 1635.9 44.5 1629.1 66.7 1623.4 88.9 1616.1 111.2  
 GR1610.4 133.4 1603.1 155.6 1595.9 177.9 1588.6 200.1 1581.3 222.3  
 GR1573.6 244.6 1565.0 266.8 1556.1 289.0 1547.1 311.3 1540.7 333.5  
 GR1532.1 355.7 1523.5 377.9 1514.9 400.2 1511.5 422.4 1513.3 444.6  
 GR1516.3 466.9 1519.4 489.1 1522.5 511.3 1525.6 533.6 1527.3 555.8  
 GR1530.5 578.0 1533.6 600.2 1536.5 622.5 1539.6 644.7 1542.6 666.9  
 GR1545.7 689.2 1548.6 711.4 1551.6 733.6 1553.4 755.9 1556.4 778.1  
 GR1559.1 800.3 1561.7 822.6 1562.7 844.8 1565.3 867.0 1568.2 889.2  
 GR1571.3 911.5 1573.1 933.7 1571.8 955.9 1571.8 978.2 1571.7 1000.4  
 GR1571.7 1022.6  
 H24130. 00 00 0.0  
 X124140. 55 470.6 941.2 196.9 660.4 405.8  
 GR1598.4 19.6 1602.9 39.2 1599.8 58.8 1601.3 78.4 1601.1 98.0  
 GR1598.4 117.7 1598.2 137.2 1597.0 156.9 1594.3 176.5 1592.3 196.1  
 GR1590.8 215.7 1588.3 235.3 1582.2 254.9 1578.1 274.5 1577.2 294.1  
 GR1574.8 313.7 1574.8 333.3 1573.7 352.9 1571.4 372.5 1568.2 392.2  
 GR1564.9 411.7 1561.5 431.4 1558.5 451.0 1555.2 470.6 1552.0 490.2  
 GR1549.1 509.8 1546.0 529.4 1542.9 549.0 1540.8 568.6 1537.9 588.2  
 GR1534.9 607.8 1531.8 627.4 1525.2 647.0 1523.0 666.7 1518.3 686.3  
 GR1516.7 705.9 1515.1 725.5 1512.9 745.1 1511.7 764.7 1510.6 784.3  
 GR1509.8 803.9 1512.9 823.5 1517.4 843.1 1525.6 862.7 1533.8 882.3  
 GR1539.3 901.9 1547.5 921.6 1555.7 941.2 1560.2 960.8 1568.4 980.4  
 GR1578.6 1000.0 1585.7 1019.6 1600.3 1039.2 1614.9 1058.8 1622.9 1078.4  
 H24140. 00 00 0.0  
 X124160. 60 16.4 688.0 799.5 1148.1 909.8  
 GR1568.7 16.7 1567.2 33.4 1565.6 50.0 1562.8 66.7 1561.0 83.4  
 GR1559.1 100.1 1557.5 116.7 1555.8 133.4 1554.1 150.1 1551.2 166.8  
 GR1549.2 183.5 1547.2 200.1 1545.5 216.8 1543.8 233.5 1540.9 250.2  
 GR1539.2 266.8 1537.4 283.5 1535.6 300.2 1533.7 316.9 1531.7 333.6  
 GR1528.8 350.2 1526.6 366.9 1524.3 383.6 1522.1 400.3 1520.1 416.9  
 GR1517.1 433.6 1515.1 450.3 1513.5 467.0 1511.8 483.7 1512.2 500.3  
 GR1514.6 517.0 1522.0 533.7 1527.0 550.4 1531.6 567.0 1536.2 583.7  
 GR1540.4 600.4 1547.6 617.1 1551.9 633.8 1556.1 650.4 1560.8 667.1  
 GR1565.5 683.8 1572.1 700.5 1575.5 717.1 1578.4 733.8 1581.3 750.5

GR1584.5 767.2 1587.8 783.9 1592.8 800.5 1594.6 817.2 1595.1 833.9  
 GR1596.7 850.6 1596.2 867.2 1596.5 883.9 1597.3 900.6 1599.5 917.3  
 GR1602.2 934.0 1605.3 950.6 1609.7 967.3 1613.6 984.0 1619.1 1000.7  
 H24160 0.0 0.0 0.0  
 NC 09 09 035 1 3  
 X124170 70 299.7 937.0 3246.4 3308.7 3299.9  
 GR1780.1 16.7 1775.9 33.3 1770.8 50.0 1765.2 66.6 1759.3 83.3  
 GR1752.7 99.9 1747.7 116.6 1743.6 133.2 1740.5 149.9 1736.3 166.5  
 GR1731.3 183.2 1726.2 199.8 1721.2 216.5 1716.1 233.1 1711.1 249.8  
 GR1703.5 266.4 1695.4 283.1 1685.6 299.7 1676.7 316.4 1666.8 333.0  
 GR1658.5 349.7 1649.8 366.4 1640.4 383.0 1631.0 399.7 1621.7 416.3  
 GR1612.3 433.0 1602.9 449.6 1593.5 466.3 1584.2 482.9 1579.1 499.6  
 GR1578.2 516.2 1581.7 532.9 1585.2 549.5 1588.5 566.2 1591.7 582.8  
 GR1595.1 599.5 1598.1 616.1 1601.2 632.8 1604.3 649.4 1607.4 666.1  
 GR1610.7 682.7 1613.5 699.4 1616.1 716.1 1618.8 732.7 1621.9 749.4  
 GR1624.5 766.0 1627.1 782.7 1629.3 799.3 1632.3 816.0 1634.4 832.6  
 GR1636.5 849.3 1638.5 865.9 1648.0 882.6 1658.0 899.2 1670.2 915.9  
 GR1682.3 932.5 1698.8 949.2 1707.3 965.8 1713.6 982.5 1719.5 999.1  
 GR1726.6 1015.8 1732.2 1032.4 1737.1 1049.1 1741.3 1065.8 1747.6 1082.4  
 GR1751.6 1099.1 1757.1 1115.7 1763.9 1132.4 1770.7 1149.0 1775.9 1165.7  
 H24170 0.0 0.0 0.0  
 NC 09 09 05 1 3  
 X124180 59 212.8 740.0 716.5 1260.5 984.3  
 GR1804.5 16.4 1796.3 32.7 1788.2 49.1 1779.9 65.5 1768.9 81.8  
 GR1755.2 98.2 1738.8 114.6 1722.4 130.9 1708.8 147.3 1697.8 163.6  
 GR1689.6 180.0 1682.0 196.4 1674.5 212.8 1667.1 229.1 1658.1 245.5  
 GR1649.5 261.8 1642.2 278.2 1636.4 294.6 1632.3 310.9 1626.1 327.3  
 GR1621.5 343.7 1616.6 360.0 1611.5 376.4 1606.7 392.8 1602.4 409.1  
 GR1596.9 425.5 1593.0 441.9 1589.4 458.2 1585.7 474.6 1582.1 490.9  
 GR1579.1 507.3 1580.9 523.7 1586.4 540.1 1593.0 556.4 1599.8 572.8  
 GR1610.6 589.1 1617.0 605.5 1622.4 621.9 1628.3 638.3 1632.9 654.6  
 GR1638.5 671.0 1649.0 687.3 1654.8 703.7 1661.8 720.1 1669.1 736.5  
 GR1677.4 752.8 1689.8 769.2 1698.0 785.5 1705.4 801.9 1712.6 818.3  
 GR1719.9 834.6 1730.3 851.0 1739.0 867.4 1747.8 883.7 1756.3 900.1  
 GR1765.3 916.5 1775.8 932.8 1787.4 949.2 1798.1 965.6  
 H24180 0.0 0.0 0.0  
 X124200 59 370.1 730.0 2609.9 1687.4 2131.3  
 GR2011.0 16.8 2001.3 33.6 1990.2 50.5 1979.4 67.3 1969.7 84.1  
 GR1960.7 100.9 1952.0 117.7 1942.0 134.6 1931.8 151.4 1919.4 168.2  
 GR1908.8 185.0 1896.2 201.9 1881.6 218.7 1867.0 235.5 1852.5 252.3  
 GR1835.4 269.1 1821.6 286.0 1807.4 302.8 1795.3 319.6 1783.7 336.4  
 GR1768.7 353.2 1748.6 370.1 1726.7 386.9 1709.2 403.7 1695.1 420.5  
 GR1685.6 437.4 1677.4 454.2 1665.0 471.0 1656.5 487.8 1648.8 504.6  
 GR1646.0 521.5 1647.4 538.3 1652.5 555.1 1660.6 571.9 1665.7 588.7  
 GR1670.9 605.6 1675.5 622.4 1680.3 639.2 1685.1 656.0 1693.0 672.8  
 GR1699.0 689.7 1708.3 706.5 1719.9 723.3 1731.1 740.1 1741.9 757.0  
 GR1749.8 773.8 1762.5 790.6 1777.9 807.4 1794.1 824.2 1809.9 841.1  
 GR1824.5 857.9 1833.5 874.7 1846.8 891.5 1857.7 908.3 1869.4 925.2  
 GR1881.0 942.0 1892.0 958.8 1900.2 975.6 1910.3 992.5  
 H24200 0.0 0.0 0.0  
 NC 11 12 035 1 3  
 X124210 56 361.8 780.0 4133.9 4516.7 4250.7  
 GR2055.4 17.2 2051.5 34.4 2051.0 51.7 2045.4 68.9 2039.4 86.2  
 GR2030.0 103.4 2017.1 120.6 2001.8 137.8 1992.2 155.1 1980.5 172.3  
 GR1966.8 189.5 1951.5 206.8 1935.1 224.0 1919.3 241.2 1901.0 258.5

GR1879.8 275.7 1857.9 292.9 1839.1 310.1 1820.9 327.4 1805.5 344.6  
 GR1792.1 361.8 1777.5 379.1 1768.6 396.3 1760.5 413.5 1750.3 430.7  
 GR1742.3 448.0 1734.0 465.2 1724.3 482.4 1715.6 499.7 1711.2 516.9  
 GR1711.8 534.2 1716.9 551.4 1721.8 568.6 1727.3 585.8 1732.3 603.1  
 GR1737.2 620.3 1740.5 637.5 1744.5 654.8 1747.8 672.0 1750.6 689.2  
 GR1755.4 706.4 1762.3 723.7 1769.2 740.9 1776.0 758.1 1788.1 775.4  
 GR1803.8 792.6 1818.4 809.8 1835.0 827.1 1850.4 844.3 1861.0 861.5  
 GR1873.0 878.7 1887.2 896.0 1897.4 913.2 1909.6 930.4 1923.6 947.7  
 GR1935.7 964.9  
 H24210 00 00 00  
 NC 09 11 05 1 3  
 X124220 55 506.1 639.0 1371.1 1185.4 1197.5  
 GR2006.4 16.9 1995.0 33.7 1985.0 50.6 1976.3 67.5 1965.4 84.4  
 GR1958.2 101.2 1950.6 118.1 1943.4 134.9 1937.1 151.8 1931.8 168.7  
 GR1925.9 185.6 1917.9 202.4 1910.9 219.3 1903.7 236.2 1895.2 253.1  
 GR1888.3 269.9 1882.6 286.8 1879.7 303.6 1877.8 320.5 1872.4 337.4  
 GR1866.8 354.3 1861.4 371.1 1855.2 388.0 1849.6 404.9 1844.3 421.8  
 GR1840.2 438.6 1833.0 455.5 1823.6 472.3 1813.0 489.2 1802.8 506.1  
 GR1792.8 523.0 1785.5 539.8 1778.9 556.7 1777.0 573.6 1780.0 590.4  
 GR1786.6 607.3 1793.4 624.2 1799.7 641.0 1804.4 657.9 1809.7 674.8  
 GR1814.7 691.6 1819.4 708.5 1823.8 725.4 1827.9 742.3 1832.3 759.1  
 GR1837.2 776.0 1844.7 792.9 1854.7 809.7 1863.5 826.6 1873.0 843.5  
 GR1881.0 860.3 1890.0 877.2 1894.1 894.1 1900.9 911.0 1906.2 927.8  
 H24220 00 00 00  
 NC 15 13 05 1 3  
 X124230 53 384.7 545.0 4021.4 3646.0 3675.8  
 GR2038.0 16.7 2017.7 33.5 2001.3 50.2 1984.9 66.9 1970.3 83.6  
 GR1957.6 100.4 1946.6 117.1 1935.7 133.8 1925.0 150.5 1914.1 167.3  
 GR1904.3 184.0 1895.6 200.7 1888.3 217.5 1881.0 234.2 1875.2 250.9  
 GR1867.9 267.6 1860.8 284.4 1853.4 301.1 1846.3 317.8 1839.9 334.5  
 GR1834.3 351.2 1828.7 368.0 1824.8 384.7 1820.5 401.4 1814.9 418.1  
 GR1805.7 434.9 1788.6 451.6 1778.1 468.3 1785.5 485.1 1804.5 501.8  
 GR1812.2 518.5 1819.8 535.2 1826.9 552.0 1833.4 568.7 1836.9 585.4  
 GR1839.3 602.1 1840.9 618.9 1842.7 635.6 1844.7 652.3 1846.7 669.0  
 GR1848.7 685.8 1851.3 702.5 1853.7 719.2 1855.9 736.0 1858.4 752.7  
 GR1861.0 769.4 1863.5 786.1 1865.7 802.9 1867.8 819.6 1870.1 836.3  
 GR1872.4 853.0 1874.5 869.8 1876.5 886.5  
 H24230 00 00 00  
 NC 15 10 05 1 3  
 X124240 54 363.2 595.0 2394.7 2600.4 2395.0  
 GR2039.9 16.5 2032.5 33.0 2024.0 49.5 2014.7 66.0 2006.2 82.5  
 GR1996.8 99.0 1989.5 115.6 1982.8 132.1 1975.9 148.6 1965.2 165.1  
 GR1951.5 181.6 1935.7 198.1 1919.9 214.6 1907.4 231.1 1898.2 247.6  
 GR1893.6 264.1 1889.2 280.6 1885.4 297.1 1881.9 313.6 1878.4 330.2  
 GR1874.7 346.7 1870.9 363.2 1867.1 379.7 1862.7 396.2 1858.8 412.7  
 GR1850.8 429.2 1846.4 445.7 1842.0 462.2 1833.6 478.7 1833.8 495.2  
 GR1839.3 511.7 1845.1 528.2 1854.1 544.8 1859.4 561.3 1864.7 577.8  
 GR1869.6 594.3 1874.0 610.8 1878.0 627.3 1880.1 643.8 1880.9 660.3  
 GR1881.8 676.8 1882.7 693.3 1886.5 709.8 1890.3 726.3 1894.1 742.8  
 GR1897.9 759.4 1902.2 775.9 1906.3 792.4 1910.9 808.9 1915.4 825.4  
 GR1916.7 841.9 1921.5 858.4 1927.6 874.9 1934.4 891.4  
 H24240 00 00 00  
 NC 10 12 05 1 3  
 X124250 40 340.0 714.2 1279.5 689.0 907.5  
 GR2142.9 21.0 2124.0 42.0 2105.2 63.0 2094.3 84.0 2073.0 105.0

GR2051.1 126.0 2029.9 147.0 2008.0 168.0 1986.1 189.0 1972.5 210.1  
 GR1957.6 231.1 1944.9 252.1 1932.3 273.1 1919.7 294.1 1907.4 315.1  
 GR1899.6 336.1 1889.2 357.1 1878.8 378.1 1868.3 399.1 1857.9 420.1  
 GR1848.3 441.1 1843.1 462.1 1841.1 483.1 1844.8 504.1 1849.2 525.1  
 GR1853.7 546.2 1857.1 567.2 1861.7 588.2 1866.3 609.2 1870.9 630.2  
 GR1875.5 651.2 1880.1 672.2 1884.2 693.2 1888.9 714.2 1893.6 735.2  
 GR1898.3 756.2 1902.7 777.2 1907.0 798.2 1910.5 819.2 1914.6 840.2  
 H 24250 0.0 0.0 0.0  
 NC 10 .08 .05 .1 .3  
 X124260. 46 362.5 432.0 1217.5 1082.7 1099.1  
 GR1970.8 16.5 1967.6 32.9 1963.4 49.4 1958.4 65.9 1953.5 82.3  
 GR1948.9 98.8 1944.0 115.3 1939.7 131.8 1935.7 148.2 1932.2 164.7  
 GR1929.4 181.2 1927.5 197.6 1926.0 214.1 1924.8 230.5 1924.2 247.0  
 GR1924.0 263.5 1923.7 280.0 1922.3 296.4 1919.5 312.9 1917.2 329.4  
 GR1914.3 345.8 1911.5 362.3 1898.6 378.8 1885.7 395.2 1886.7 411.7  
 GR1908.3 428.2 1913.0 444.7 1917.1 461.1 1920.8 477.6 1926.1 494.1  
 GR1930.3 510.5 1934.8 527.0 1937.8 543.5 1941.1 559.9 1944.6 576.4  
 GR1948.5 592.8 1952.3 609.3 1957.2 625.8 1963.0 642.3 1971.5 658.7  
 GR1981.6 675.2 1994.8 691.7 2007.9 708.1 2021.0 724.6 2046.2 741.1  
 GR2083.3 757.5  
 H 24260. 0.0 0.0 0.0  
 NC 10 .09 .05 .1 .3  
 X124270 36 332.0 440.0 263.1 775.3 496.4  
 GR1973.9 20.8 1971.6 41.6 1969.0 62.3 1967.9 83.1 1963.6 103.9  
 GR1958.6 124.7 1936.8 145.4 1951.7 166.2 1946.7 187.0 1941.6 207.8  
 GR1936.5 228.6 1933.7 249.3 1928.5 270.1 1923.4 290.9 1920.3 311.7  
 GR1915.0 332.4 1909.8 353.2 1905.7 374.0 1906.0 394.8 1908.6 415.6  
 GR1913.3 436.4 1918.0 457.1 1920.6 477.9 1925.3 498.7 1930.0 519.5  
 GR1934.6 540.3 1939.3 561.0 1941.6 581.8 1946.3 602.6 1951.0 623.4  
 GR1953.6 644.1 1958.3 664.9 1962.9 685.7 1968.8 706.5 1980.9 727.3  
 GR1990.4 748.0  
 H 24270. 0.0 0.0 0.0  
 X126000. 29 48.0 260.0 262.5 229.7 230.3  
 GR1930.8 8.2 1928.1 40.7 1920.9 46.6 1914.7 54.5 1912.7 72.2  
 GR1912.4 108.3 1906.6 121.4 1904.2 130.2 1904.0 136.2 1904.5 142.1  
 GR1904.2 149.3 1903.1 162.7 1903.4 167.3 1903.5 169.6 1904.5 176.2  
 GR1904.9 180.4 1905.5 190.3 1906.2 196.9 1906.6 201.4 1907.5 212.6  
 GR1908.8 215.2 1912.1 229.7 1914.0 246.1 1914.9 252.6 1917.0 255.6  
 GR1921.3 265.4 1928.5 270.7 1929.1 276.2 1929.5 295.9  
 H 26000 0.0 108.3 212.6  
 X127000. 19 7.0 153.0 639.8 707.7 643.7  
 GR1936.4 1.0 1924.9 6.6 1909.1 10.8 1907.8 12.1 1905.8 19.0  
 GR1904.9 25.6 1904.9 38.7 1905.3 45.9 1906.2 51.8 1908.5 64.8  
 GR1909.4 90.6 1909.8 99.7 1910.1 117.8 1915.4 147.3 1919.8 152.9  
 GR1922.6 164.0 1924.5 190.3 1924.9 200.8 1927.5 255.9  
 H 27000 0.0 0.0 0.0  
 X128000. 28 27.0 172.0 147.6 147.6 147.6  
 GR1934.4 7.2 1928.5 13.5 1923.9 23.0 1920.3 30.2 1916.7 33.1  
 GR1913.7 43.3 1914.7 49.9 1913.7 56.4 1913.4 63.0 1912.6 69.6  
 GR1912.1 76.1 1912.2 82.7 1912.4 89.2 1912.1 95.8 1912.1 102.4  
 GR1913.2 108.9 1913.2 115.5 1913.7 122.7 1915.0 128.6 1919.9 146.7  
 GR1921.3 171.9 1922.6 196.9 1922.4 208.3 1928.1 227.0 1931.8 249.3  
 GR1932.7 255.2 1933.7 274.9 1938.0 300.0  
 H 28000 0.0 0.0  
 EJ

T4 Cauze principal Rio Pacuare \*\*\* Datos sedimentos \*\*  
 I5 Curva de descarga estimada  
 T6 Gradaciones del fondo de muestras de campo  
 T7 Se usa rango total de arenas y gravas  
 T8 Transporte de sedimento por Yang  
 II 5  
 I4 SAND 4 1 10  
 I5 5 .5 25 5 25 0 10  
 LQ 1. 353 1 1765.7 3531.5 17657.3 35314.7  
 LT TOTAL 0040 9 727 24573.605000.2420000  
 LF VFS 008 009 .046 624 771 745  
 LF FS .016 016 024 011 221 253  
 LF MS 028 028 .026 024 .004 002  
 LF CS .408 407 389 025 002 0  
 LF VCS .540 .540 .515 025 .001 0  
 LF VFG 0 0 0 006 001 0  
 LF FG 0 0 0 .012 0 0  
 LF MG 0 0 0 022 0 0  
 LF CG 0 0 0 .043 0 0  
 LF VCG 0 0 0 208 0 0  
 PF EXAMP 12000 10 40 20 978 10 949 0.5 64.6  
 PFC 25 12.4 125 2.1 0625 0.3  
 PF EXAMP 19030 10 40 20 48.0 1.0 38.1 0.5 24.1  
 PFC 25 11.4 125 4.6 0625 1.8  
 PF EXAMP 19060 10 40 20 98.0 1.0 92.2 0.5 80.9  
 PFC 25 41.7 125 6.8 0625 0.7  
 PF EXAMP 19090 10 20 20 100.0 1.0 99.7 0.5 93.3  
 PFC 25 42.2 125 5.3 0625 0.2  
 PF EXAMP 19100 10 40 20 97.6 1.0 89.9 0.5 61.3  
 PFC 25 23.5 125 3.2 0625 0.4  
 PF EXAMP 19130 10 40 20 99.1 1.0 93.4 0.5 68.0  
 PFC 25 30.9 125 6.3 0625 2.6  
 PF EXAMP 19190 10 40 20 99.9 1.0 99.5 0.5 98.7  
 PFC 25 89.2 125 55.2 0625 25.3  
 PF EXAMP 19210 10 40 20 97.4 1.0 89.3 0.5 67.4  
 PFC 25 28.0 125 8.9 0625 5.9  
 PF EXAMP 19290 10 40 20 99.3 1.0 93.1 0.5 60.3  
 PFC 25 20.4 125 2.9 0625 0.4  
 PF EXAMP 19310 10 20 20 100.0 1.0 99.8 0.5 98.3  
 PFC 25 83.4 125 36.0 0625 10.5  
 PF EXAMP 19320 10 40 20 89.6 1.0 68.9 0.5 31.0  
 PFC 25 7.0 125 0.6 0625 0.2  
 PF EXAMP 19340 10 40 20 78.6 1.0 76.0 0.5 72.5  
 PFC 25 58.2 125 27.1 0625 10.1  
 PF EXAMP 19361 10 40 20 99.9 1.0 99.3 0.5 88.7  
 PFC 25 29.4 125 2.7 0625 0.5  
 PF EXAMP 19370 10 40 20 71.9 1.0 27.2 0.5 5.8  
 PFC 25 1.2 125 0.3 0625 0.2  
 PF EXAMP 19410 10 40 20 99.9 1.0 99.3 0.5 92.3  
 PFC 25 37.7 125 2.7 0625 0.7  
 PF EXAMP 20010 10 20 20 100.0 1.0 99.9 0.5 97.3  
 PFC 25 60.8 125 14.2 0625 3.1  
 PF EXAMP 20050 10 40 20 79.2 1.0 52.7 0.5 26.6  
 PFC 25 7.8 125 0.7 0625 0.2  
 PF EXAMP 20070 10 40 20 97.2 1.0 83.4 0.5 32.5

PFC 25 48 125 06 0625 02  
 PF EXAMP 20115 10 40 20 950 10 82.4 05 56.7  
 PFC 25 250 125 54 0625 10  
 PF EXAMP 20130 10 40 20 976 10 92.0 05 65.7  
 PFC 25 265 125 83 0625 27  
 PF EXAMP 20150 10 40 20 999 10 99.7 05 97.7  
 PFC 25 516 125 97 0625 21  
 PF EXAMP 20170 10 40 20 998 10 97.1 05 77.1  
 PFC 25 37.1 125 12.2 0625 28  
 PF EXAMP 21000 10 40 20 98.5 10 97.5 05 85.4  
 PFC 25 35.4 125 2.8 0625 02  
 PF EXAMP 24020 10 20 20 100.0 10 99.7 05 76.9  
 PFC 25 2.1 125 0.1 0625 01  
 PF EXAMP 24170 10 20 20 100.0 10 99.9 05 93.4  
 PFC 25 47.1 125 7.3 0625 03  
 PF EXAMP 24200 10 20 20 98.5 10 97.5 05 85.4  
 PFC 25 35.4 125 2.8 0625 02  
 PF EXAMP 24220 10 40 20 310 10 180 05 90  
 PFC 25 3.9 125 1.5 0625 05  
 PF EXAMP 24240 10 40 20 99.1 10 95.1 05 63.4  
 PFC 25 20.9 125 1.3 0625 03  
 PF EXAMP 24260 10 40 20 89.6 10 80.2 05 63.0  
 PFC 25 24.3 125 3.9 0625 04

\$LOCAL

TABLA DE CARGA - FLUJO LOCAL

LQL 1 353.1 1765.7 3531.5 17657 35314.7  
 LILTOTAL 0040 9 727 24573 605000 2420000.  
 LF VFS 119 119 119 295 424 404  
 LF FS 328 328 328 213 346 341  
 LFL MS 553 553 553 492 221 253  
 LFL CS 0 0 0 0 008 002  
 LFL VCS 0 0 0 0 0 0  
 LFL VFG 0 0 0 0 0 0  
 LFL FG 0 0 0 0 0 0  
 LFL MG 0 0 0 0 0 0  
 LFL CG 0 0 0 0 0 0  
 LFL VCG 0 0 0 0 0 0

\$HYD

\$B 1

\$RATING

RC 39 529.7 0 0 235.5 236.1 236.5 236.8 237.1  
 RC 237.3 237.5 237.7 237.9 238.1 238.3 238.4 238.6 238.8  
 RC 238.9 239.1 239.2 239.4 239.5 239.6 239.8 239.9 240.0  
 RC 240.1 240.3 240.4 240.5 240.6 240.7 240.8 240.9 241.0  
 RC 241.1 241.2 241.4 241.5 241.5 241.6 241.7

\* PASO 1 AÑO HUMEDO

Q 2314.3 711.7

I 68.0 72.9

W 50

\* PASO 2

Q 1725.9 530.7

W 39

\* PASO 3

Q 2461.6 757.0

W 40

\* PASO 4  
 Q 2969.9 913.3  
 W 54.  
 \* PASO 5  
 Q 7721.0 2374.4  
 W 8.  
 \* PASO 6  
 Q 4324.6 1329.9  
 W 6.  
 \* PASO 7  
 Q 1176.0 361.9  
 W 3.  
 \* PASO 8  
 Q 6409.8 1971.2  
 W 4.  
 \* PASO 9  
 Q 1757.5 540.5  
 W 10.  
 \* PASO 10  
 Q 8413.2 2587.2  
 W 5.  
 \* PASO 11  
 Q 6891.7 2119.4  
 W 2.  
 \* PASO 12  
 Q 3665.0 1127.1  
 W 6.  
 \* PASO 13  
 Q 7681.5 2362.2  
 W 4.  
 \* PASO 14  
 Q 2389.4 734.8  
 W 10.  
 \* PASO 15  
 Q 5529.1 1700.3  
 W 1.  
 \* PASO 16  
 Q 4336.4 1333.5  
 W 6.  
 \* PASO 17  
 Q 1923.3 591.5  
 W 35.  
 \* PASO 18  
 Q 4028.4 1238.8  
 W 2.  
 \* PASO 19  
 Q 2507.9 771.2  
 W 4.  
 \* PASO 20  
 Q 967.6 297.6  
 W 32.  
 \* PASO 21  
 Q 2227.5 685.0  
 W 10.  
 \* PASO 22

Los datos continúan en forma columnar, se han ordenado en 3 columnas a manera de ejemplo

Q 817.5 251.4	W 28
W 6	* PASO 12
* PASO 23	Q 2369.6 727.5
Q 11457. 3523.4	W 15
W 9	* PASO 13
* PASO 24	Q 2645.1 812.2
Q 1176.9 361.9	W 27
W 10.	* PASO 14
* PASO 25	Q 2878.1 886.4
Q 2385.4 733.6	W 5
W 4	* PASO 15
* PASO 1 = DESCARGA	Q 2309.6 709.8
PROMEDIO ANUAL	W 6
Q 1077.1 332.0	* PASO 16
T 68.0 72.9	Q 2634.5 812.2
W 13.	W 3.
* PASO 2	* PASO 17
Q 1377.3 423.8	Q 2143.6 660.4
W 4	W 9.
* PASO 3	* PASO 18
Q 1610.3 494.4	Q 1914.1 589.8
W 5.	W 6
* PASO 4	* PASO 19
Q 1839.9 565.0	Q 2320.2 713.4
W 8	W 3.
* PASO 5	* PASO 20
Q 2118.9 649.8	Q 1945.8 596.8
W 11.	W 4.
* PASO 6	* PASO 21
Q 2295.5 706.3	Q 2443.8 752.2
W 2	W 2
* PASO 7	* PASO 22
Q 2104.8 646.3	Q 2122.4 653.3
W 2	W 3
* PASO 8	* PASO 23
Q 1896.4 582.7	Q 1772.8 543.8
W 22	W 13.
* PASO 9	* PASO 24
Q 1635.1 501.5	Q 1306.6 402.6
W 46	W 14.
* PASO 10	* PASO 25
Q 1836.4 565.0	Q 1112.4 342.6
W 4	W 12
* PASO 11	* PASO 26
Q 2108.3 649.8	Q 967.6 296.6

W 5	* PASO 11	* PASO 29
* PASO 27	Q 1052.4 324.9	Q 554.4 169.5
Q 1066.5 328.4	W 14	W 4.
W 5.	* PASO 12	* PASO 30
* PASO 28	Q 882.9 271.9	Q 339.0 105.9
Q 872.3 268.4	W 13.	W 79
W 16.	* PASO 13	* PASO 31
* PASO 29	Q 1402.0 430.8	Q 289.6 88.3
Q 716.9 219.0	W 8	W 25.
W 5.	* PASO 14	* PASO 32
* PASO 30	Q 1063.0 324.9	Q 1504.4 462.6
Q 798.1 247.2	W 5.	W 2
W 9	* PASO 15	\$\$END
* PASO 31	Q 893.5 275.5	
Q 695.7 215.4	W 16	
W 35	* PASO 16	
* PASO 32	Q 1070.0 328.4	
Q 1176.0 360.2	W 12.	
W 3	* PASO 17	
* PASO 33	Q 932.3 286.0	
Q 854.6 261.3	W 4.	
W 20.	* PASO 18	
* PASO 1 = HISTOGRAMA	Q 1281.9 395.5	
AÑO SECO	W 2	
Q 349.6 109.5	* PASO 19	
I 1	Q 939.4 289.6	
W 14	W 7.	
* PASO 2	* PASO 20	
Q 596.8 183.6	Q 1476.2 455.6	
W 7	W 7	
* PASO 3	* PASO 21	
Q 967.6 296.6	Q 1115.9 342.6	
W 4.	W 6	
* PASO 4	* PASO 22	
Q 1762.2 536.8	Q 1412.6 434.4	
W 4	W 15	
* PASO 5	* PASO 23	
Q 1130.1 346.1	Q 1684.5 519.1	
W 7.	W 6	
* PASO 6	* PASO 24	
Q 1628.0 501.5	Q 2567.4 791.0	
W 4.	W 4.	
* PASO 7	* PASO 25	
Q 1105.3 339.0	Q 1324.3 406.1	
W 14.	W 7.	
* PASO 8	* PASO 26	
Q 1811.6 558.0	Q 1013.5 310.8	
W 5	W 27.	
* PASO 9	* PASO 27	
Q 2394.3 734.5	Q 628.6 194.2	
W 2	W 29	
* PASO 10	* PASO 28	
Q 1299.6 399.1	Q 455.6 141.3	
W 4	W 8	

## ANEXO 3

Salida parcial típica del programa HEC6

```

*****
* SCOUR AND DEPOSITION IN RIVERS AND RESERVOIRS * * U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS
*
* Version: 4 1 00 - OCTOBER 1993 * * HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER
*
* INPUT FILE: FIN.DAT * * 609 SECOND STREET
*
* OUTPUT FILE: FIN.OUT * * DAVIS, CALIFORNIA 95616-4687
*
* RUN DATE: 29 JUL 96 RUN TIME: 16:57:26 * * (916) 756-1104
*
*****

```

```

X X XXXXXXXX XXXXX XXXXX
X X X X X X X X
X X X X X
XXXXXXXX XXXX X XXXXX XXXXXXX
X X X X X X
X X X X X X X X
X X XXXXXXXX XXXXX XXXXX

```

```

*****
* MAXIMUM LIMITS FOR THIS VERSION ARE: *
* 10 Stream Segments (Main Stem + Tributaries) *
* 150 Cross Sections *
* 100 Elevation/Station Points per Cross Section *
* 20 Grain Sizes *
* 10 Control Points *
*****

```

T1 Corrida HEC6 - Aplicación como fondo móvil  
T2 Condición Húmeda+Promedio+Seco  
T3 Cauce Río Pacuare

N values Left Channel Right Contraction Expansion  
.1500 .0530 .1500 1.1000 .7000

SECTION NO. 12000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 224.300 ft  
SECTION NO. 13000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 218.000 ft.

N values Left Channel Right Contraction Expansion  
.1500 .0530 .1500 1.1000 .7000

SECTION NO. 14000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 215.100 ft.  
SECTION NO. 16000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 213.600 ft.  
SECTION NO. 17000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 216.000 ft.  
SECTION NO. 18000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 211.600 ft.  
SECTION NO. 19000.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 210.500 ft.  
SECTION NO. 19010.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 257.500 ft.

N values Left Channel Right Contraction Expansion  
.1500 .1000 .1500 1.1000 .7000

SECTION NO. 19020.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 255.100 ft  
SECTION NO. 19030.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 256.600 ft.

N values Left Channel Right Contraction Expansion  
.0800 .0500 .0900 1.1000 .7000

SECTION NO. 19040.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 294.600 ft  
SECTION NO. 19050.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 320.500 ft  
SECTION NO. 19060.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 321.600 ft.  
SECTION NO. 19070.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 321.800 ft.  
SECTION NO. 19080.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 328.100 ft.

N values Left Channel Right Contraction Expansion  
.1100 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19090.000  
..ELEVATION of Model Bottom = 386.900 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

.1100 .0350 .1500 1.1000 .7000	ELEVATION of Model Bottom = 586.400 ft
SECTION NO 19100.000	N values Left Channel Right Contraction Expansion
ELEVATION of Model Bottom = 386.500 ft.	.0800 .0500 .0800 1.1000 .7000
SECTION NO. 19110.000	SECTION NO 19270.000
ELEVATION of Model Bottom = 452.400 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 585.200 ft.
SECTION NO 19120.000	SECTION NO 19280.000
ELEVATION of Model Bottom = 451.100 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 652.400 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	N values Left Channel Right Contraction Expansion
.1500 .0350 .1500 1.1000 .7000	.0800 .0350 .0800 1.1000 .7000
SECTION NO 19130.000	SECTION NO. 19290.000
ELEVATION of Model Bottom = 453.100 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 651.900 ft.
SECTION NO. 19140.000	N values Left Channel Right Contraction Expansion
ELEVATION of Model Bottom = 453.600 ft.	.0800 .0350 .1500 1.1000 .7000
SECTION NO 19150.000	SECTION NO 19300.000
ELEVATION of Model Bottom = 453.700 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 716.300 ft.
SECTION NO. 19160.000	N values Left Channel Right Contraction Expansion
ELEVATION of Model Bottom = 517.200 ft.	.1500 .0500 .0900 1.1000 .7000
SECTION NO 19170.000	SECTION NO 19310.000
ELEVATION of Model Bottom = 518.300 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 652.400 ft.
SECTION NO. 19180.000	N values Left Channel Right Contraction Expansion
ELEVATION of Model Bottom = 517.800 ft.	.0150 .0500 .0900 1.1000 .7000
SECTION NO. 19190.000	SECTION NO 19320.000
ELEVATION of Model Bottom = 517.000 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 653.700 ft.
SECTION NO 19200.000	SECTION NO 19330.000
ELEVATION of Model Bottom = 585.600 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 651.900 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	N values Left Channel Right Contraction Expansion
.1500 .0350 .1000 1.1000 .7000	.0800 .0500 .1500 1.1000 .7000
SECTION NO 19210.000	SECTION NO. 19340.000
ELEVATION of Model Bottom = 585.200 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 653.000 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	N values Left Channel Right Contraction Expansion
.1100 .0500 .1500 1.1000 .7000	.1100 .0350 .0800 1.1000 .7000
SECTION NO 19220.000	SECTION NO 19350.000
ELEVATION of Model Bottom = 584.600 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 652.600 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	SECTION NO. 19360.000
.1500 .0500 .1500 1.1000 .7000	ELEVATION of Model Bottom = 652.400 ft.
SECTION NO. 19230.000	SECTION NO 19361.000
ELEVATION of Model Bottom = 325.400 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 711.800 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	SECTION NO. 19362.000
.1500 .0350 .1500 1.1000 .7000	ELEVATION of Model Bottom = 711.800 ft.
SECTION NO. 19240.000	SECTION NO. 19363.000
ELEVATION of Model Bottom = 586.500 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 717.400 ft.
SECTION NO 19250.000	SECTION NO. 19364.000
ELEVATION of Model Bottom = 586.800 ft.	ELEVATION of Model Bottom = 711.800 ft.
N values Left Channel Right Contraction Expansion	SECTION NO 19365.000
.0800 .0350 .0800 1.1000 .7000	ELEVATION of Model Bottom = 711.800 ft.
SECTION NO 19260.000	SECTION NO. 19366.000
	ELEVATION of Model Bottom = 711.800 ft.

SECTION NO. 19367 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 777.400 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1500 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19370 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 748.400 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19380 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 747.300 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1500 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19390 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 762.400 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0500 .0800 1.1000 .7000

SECTION NO. 19400 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 779.000 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19410 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 779.800 ft.

SECTION NO. 19420 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 780.700 ft.

SECTION NO. 19430 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 782.300 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1500 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 19440 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 796.700 ft.

SECTION NO. 19450 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 798.200 ft.

SECTION NO. 19460 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 812.300 ft.

SECTION NO. 20000 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 829.900 ft.

SECTION NO. 20010 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 839.500 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0350 .0800 1.1000 .7000

SECTION NO. 20020 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 831.800 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0500 .0800 1.1000 .7000

SECTION NO. 20030 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 843.100 ft.

SECTION NO. 20040 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 847.500 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .1100 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 20050 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 849.900 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0800 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 20060 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 894.100 ft.

SECTION NO. 20070 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 895.300 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0800 .0500 .1300 1.1000 .7000

SECTION NO. 20080 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 911.000 ft.

SECTION NO. 20090 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 926.700 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0800 .0500 .1100 1.1000 .7000

SECTION NO. 20100 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 935.400 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0900 .0500 .1300 1.1000 .7000

SECTION NO. 20110 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 943.400 ft.

SECTION NO. 20115 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 913.200 ft.

SECTION NO. 20120 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 978.500 ft.

SECTION NO. 20130 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 1043.800 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0800 .0350 .0900 1.1000 .7000

SECTION NO. 20150 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 1108.800 ft.

SECTION NO. 20160 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 1110.900 ft.

SECTION NO. 20170 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 1175.800 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion  
 .0900 .0350 .0900 1.1000 .7000

SECTION NO. 20180 000  
 . ELEVATION of Model Bottom = 1177.800 ft.

N values . Left Channel Right Contraction Expansion

0900 0350 0900 1.1000 .7000

SECTION NO. 21000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1200 600 ft

SECTION NO 22000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1248 600 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0900 0500 0900 1.1000 7000

LOCAL INFLOW POINT 1 occurs upstream from Section

No 22000 000

SECTION NO 23000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1242 200 ft

SECTION NO 24000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1243 100 ft

SECTION NO. 24010 000

ELEVATION of Model Bottom = 1307 400 ft

SECTION NO 24020 000

ELEVATION of Model Bottom = 1289 200 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0800 0500 0800 1.1000 7000

SECTION NO 24030 000

ELEVATION of Model Bottom = 1295 800 ft

SECTION NO. 24040 000

ELEVATION of Model Bottom = 1307 200 ft

SECTION NO 24050 000

ELEVATION of Model Bottom = 1310 300 ft

SECTION NO 24060 000

ELEVATION of Model Bottom = 1375 300 ft

SECTION NO 24070 000

ELEVATION of Model Bottom = 1373 700 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0800 0500 0900 1.1000 .7000

SECTION NO 24080 000

ELEVATION of Model Bottom = 1420 700 ft

SECTION NO. 24100 000

ELEVATION of Model Bottom = 1440 300 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

9000 0350 9000 1.1000 .7000

SECTION NO 24110 000

ELEVATION of Model Bottom = 1440 700 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0900 0500 0900 1.1000 .7000

SECTION NO 24120 000

ELEVATION of Model Bottom = 1502 200 ft

SECTION NO 24130 000

ELEVATION of Model Bottom = 1501 500 ft

SECTION NO. 24140 000

ELEVATION of Model Bottom = 1499 800 ft

SECTION NO 24160 000

ELEVATION of Model Bottom = 1501 800 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0900 .0350 0900 1.1000 7000

SECTION NO 24170 000

ELEVATION of Model Bottom = 1568 200 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0900 0500 .0900 1.1000 7000

SECTION NO. 24180 000

ELEVATION of Model Bottom = 1569 100 ft

SECTION NO 24200 000

ELEVATION of Model Bottom = 1636 000 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

1100 0350 1200 1.1000 7000

SECTION NO 24210 000

ELEVATION of Model Bottom = 1701 200 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

0900 0500 1100 1.1000 7000

SECTION NO 24220 000

ELEVATION of Model Bottom = 1767 000 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

1500 0500 .1300 1.1000 7000

SECTION NO 24230 000

ELEVATION of Model Bottom = 1768 100 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

1500 .0500 1000 1.1000 7000

SECTION NO. 24240 000

ELEVATION of Model Bottom = 1823 600 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

.1000 0500 1200 1.1000 7000

SECTION NO 24250 000

ELEVATION of Model Bottom = 1831 100 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

1000 0500 .0800 1.1000 7000

SECTION NO. 24260 000

ELEVATION of Model Bottom = 1875 700 ft

N values Left Channel Right Contraction Expansion

1000 0500 0900 1.1000 .7000

SECTION NO. 24270 000

ELEVATION of Model Bottom = 1895 700 ft

SECTION NO 26000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1893 100 ft

SECTION NO 27000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1894 900 ft

SECTION NO 28000 000

ELEVATION of Model Bottom = 1902 100 ft

NO. OF CROSS SECTIONS IN STREAM SEGMENT=110  
 NO OF INPUT DATA MESSAGES = 0

TOTAL NO. OF STREAM SEGMENTS IN THE NETWORK= 1  
 END OF GEOMETRIC DATA

TOTAL NO OF CROSS SECTIONS IN THE NETWORK = 110

- I4 Cauce principal Rio Pacuare \*\*\* Datos sedimentos \*\*
- I5 Curva de descarga estimada
- I6 Gradaciones del fondo de muestras de campo.
- I7 Se usa rango total de arenas y gravas
- I8 Transporte de sedimento por Yang

Corrida HEC6 - Aplicación como fondo móvil  
 Condición Húmeda+Promedio+Seco  
 Cauce Rio Pacuare

-----  
 SEDIMENT PROPERTIES AND PARAMETERS

	SPI	IBG	MNQ	SPGF	ACGR	NFALL	IBSHER
I1	5	0	1	1.000	32.174	2	1

-----  
 SANDS - BOULDERS ARE PRESENT

	MTC	IASA	LASA	SPGS	GSF	BSAE	PSI	UWDLB
I4	4	1	10	2.650	667	500	30.000	93.000

USING TRANSPORT CAPACITY RELATIONSHIP # 4, YANG  
 GRAIN SIZES UTILIZED (mean diameter - mm)

VERY FINE SAND	.088	VERY FINE GRAVEL	2.828
FINE SAND	.177	FINE GRAVEL	5.657
MEDIUM SAND	.354	MEDIUM GRAVEL	11.314
COARSE SAND	.707	COARSE GRAVEL	22.627
VERY COARSE SAND	1.414	VERY COARSE GRAVEL	45.255

-----  
 COEFFICIENTS FOR COMPUTATION SCHEME WERE SPECIFIED

	DBI	DBN	XID	XIN	XIU	UBI	UBN	JSL
I5	500	500	250	500	250	000	1.000	1

-----  
 SEDIMENT LOAD TABLE FOR STREAM SEGMENT # 1  
 LOAD BY GRAIN SIZE CLASS (tons/day)

LQ	1.00000	353.100	1765.70	3531.50	17657.3	35314.7	
LF VFS	320000E-04	810000E-01	33.4420	15333.6	466455	180290E+07	
LF FS	640000E-04	144000	17.4480	270.303	133705.	612260.	
LF MS	112000E-03	252000	18.9020	589.752	2420.00	7260.00	
LF CS	163200E-02	3.66300	282.803	614.325	1210.00	2420.00	
LF VCS	216000E-02	4.86000	374.405	614.325	605.000	100000E-19	
LF VFG	100000E-19	100000E-19	100000E-19	147.438	605.000	100000E-19	
LF FG	100000E-19	100000E-19	100000E-19	294.876	100000E-19	100000E-19	
LF MG	100000E-19	100000E-19	100000E-19	540.606	100000E-19	100000E-19	
LF CG	100000E-19	100000E-19	100000E-19	1056.64	100000E-19	100000E-19	
LF VCG	100000E-19	100000E-19	100000E-19	5111.18	100000E-19	100000E-19	
TOTAL	400000E-02	9.00000	727.000	24573.0	605000	242484E+07	

-----  
 REACH GEOMETRY FOR STREAM SEGMENT 1

CROSS SECTION NO.	REACH LENGTH (ft)	MOVABLE BED WIDTH	INITIAL BED-ELEVATIONS			ACCUMULATED CHANNEL DISTANCE	
			LEFT SIDE (ft)	THALWEG (ft)	RIGHT SIDE (ft)	FROM DOWNSTREAM (miles)	
12000.000	229.700	378.000	257.200	234.300	264.400	.000	.000
13000.000	262.500	192.900	272.000	228.000	278.500	262.500	.050

14000 000	1438 000	111 900	242 600	225 100	242 900	1700 500	.322
16000 000	234 900	140 100	237 100	223 600	236 900	1935 400	367
17000 000	132 200	80 100	237 000	226 000	237 200	2067 600	392
18000 000	92 800	74 800	237 000	221 600	243 600	2160 400	.409
19000 000	121 400	49 500	237 900	220 500	236 900	2281 800	.432
19010 000	811 700	738 700	574 400	267 500	445 800	3093 500	586
19020 000	180 000	878 200	457 400	265 100	349 100	3273 500	620
19030 000	573 800	872 100	439 800	266 600	350 900	3847 300	729
19040 000	768 700	1137 400	381 400	304 600	389 800	4616 000	.874
19050 000	836 000	789 700	361 700	330 500	451 000	5452 000	1 033
19060 000	3155 200	885 900	429 900	331 600	536 500	8607 200	1 630
19070 000	1037 700	922 800	452 200	331 800	526 700	9644 900	1.827
19080 000	880 200	1008.100	454.800	338 100	540 100	10525 100	1.993
19090 000	1774 300	814 100	506 100	396 900	568.700	12299 400	2 329
19100 000	2104 000	854 300	519.500	396 500	480.700	14403 400	2 728
19110 000	1499 300	1038.300	504 400	462 400	508 000	15902.700	3 012
19120 000	573 800	892 800	503.300	461 100	542 400	16476 500	3 121
19130 000	2413 100	820.500	612.800	463 100	654 900	18889 600	3 578
19140 000	749 700	913.500	693 700	463 600	668 900	19639.300	3 720
19150 000	622 400	869 700	764.100	463 700	569 700	20261 700	3 837
19160 000	1046 300	799 400	584 300	527 200	638 700	21308 000	4 036
19170 000	716 500	951 500	781.300	528 300	640 400	22024.500	4 171
19180 000	573 800	957 200	601 800	527 800	641 300	22598 300	4 280
19190 000	984 300	826 600	564 100	527.000	634 700	23582 600	4 466
19200 000	2923 200	855.400	805 200	595 600	754 600	26505.800	5 020
19210 000	1774 300	842.700	774 800	595 200	842 100	28280 100	5 356
19220 000	880 200	855 900	860 300	594 600	747 300	29160.300	5 523
19230 000	630 200	713 400	857 600	335 400	713 900	29790 500	5 642
19240 000	598 800	816 900	865 200	596 500	934 400	30389 300	5 756
19250 000	1046 300	855 400	787 400	596 800	958 700	31435 600	5 954
19260 000	622 400	689 900	709.900	596 400	979 000	32058 000	6 072
19270 000	355 000	731 900	727.900	595 200	899 000	32413 000	6 139
19280 000	1060 000	777 100	953 300	662 400	1020 400	33473 000	6 340
19290 000	1489 500	909 100	985 400	661 900	959 900	34962.500	6 622
19300 000	793 600	890 400	872 600	726.300	840 600	35756 100	6 772
19310 000	811 700	885 900	961.400	662 400	947 800	36567 800	6 926
19320 000	630 200	891 400	916.500	663 700	938 300	37198 000	7 045
19330 000	2583 700	885 900	1006 100	661 900	934 900	39781 700	7 534
19340 000	660 400	869 400	1063 300	663 000	917 400	40442 100	7 659
19350 000	1082 700	826 100	981 900	662 600	847 300	41524 800	7 865
19360 000	907 500	907 000	870.000	662 400	881 200	42432 300	8 036
19361 000	1623 400	752 900	984 300	721 800	958 000	44055 700	8 344
19362 000	880 200	652 900	813 600	721 800	809 400	44935 900	8 511
19363 000	1180 800	1020 000	853 000	727 400	869 400	46116.700	8 734
19364 000	1113 500	1065 600	881 200	721 800	863 200	47230.200	8 945
19365 000	1113 500	860 900	911.400	721 800	940 600	48343 700	9 156
19366 000	787 100	1013 800	896 700	721 800	844 500	49130 800	9 305
19367 000	786 400	839 200	902 200	787 400	846 500	49917 200	9 454
19370 000	502.000	923 100	956 300	758 400	904 400	50419 200	9 549
19380 000	502.000	890 700	925 900	757 300	833 900	50921 200	9 644
19390 000	440 300	1131 100	917 700	772 400	885 800	51361 500	9 728
19400 000	1499 300	1147 500	936 500	789.000	984 300	52860 800	10 012
19410 000	1046.300	915 200	991 900	789 800	862 400	53907 100	10 210
19420 000	630 200	1021 400	1137 000	790 700	890 400	54537 300	10 329
19430 000	295 300	821 100	929 200	792 300	979 700	54832 600	10 385
19440 000	573 800	880 300	950.200	806 700	896 200	55406 400	10 494
19450 000	440 300	876 500	966 000	808.200	914 800	55846 700	10 577
19460 000	622 400	939 600	1006 700	822 300	987 900	56469 100	10 695
20000 000	660 100	329 700	853 000	839 900	874 300	57129 200	10 820
20010 000	220 100	765 900	955 400	849 500	1025 300	57349 300	10 862
20020 000	1392 100	930 600	1119 900	841 800	970 900	58741 400	11 125
20030 000	622 400	969 800	1121 000	853 100	963 500	59363 800	11 243
20040 000	630 200	902.200	1015 200	857 500	1051 700	59994 000	11 363
20050 000	1870 100	910 300	1042 900	859 900	1046 800	61864 100	11 717
20060 000	1233 300	1130 900	1069 900	904 100	1055 300	63097 400	11 950
20070 000	492 100	895 900	1097 200	905 300	976 800	63589 500	12 043
20080 000	1252 600	851 000	1035 900	921 000	1189 900	64842 100	12 281

20090.000	573.800	736.700	1107.300	936.700	1099.100	65415.900	12.389
20100.000	880.200	852.000	1014.700	945.400	977.600	66296.100	12.556
20110.000	793.600	1241.400	1069.900	953.400	1102.700	67089.700	12.706
20115.000	1419.600	706.100	1279.500	923.200	1123.400	68509.300	12.975
20120.000	2838.900	906.400	1243.100	988.500	1314.200	71348.200	13.513
20130.000	4592.500	972.200	1348.100	1053.800	1306.900	75940.700	14.383
20150.000	1531.200	884.700	1314.900	1118.800	1243.300	77471.900	14.673
20160.000	2380.600	842.700	1331.300	1120.900	1303.000	79852.500	15.124
20170.000	3090.600	799.400	1374.800	1185.800	1363.400	82943.100	15.709
20180.000	933.700	848.400	1334.200	1187.800	1482.900	83876.800	15.886
21000.000	969.500	2250.700	2142.400	1210.600	2093.200	84846.300	16.069
22000.000	2079.000	940.300	1655.600	1258.600	1838.700	86925.300	16.463
23000.000	220.100	906.400	1537.000	1252.200	1381.900	87145.400	16.505
24000.000	907.500	895.100	1538.900	1253.100	1408.900	88052.900	16.677
24010.000	880.200	848.400	1449.400	1317.400	1457.100	88933.100	16.843
24020.000	846.800	2329.400	2175.200	1299.200	2214.600	89779.900	17.004
24030.000	846.800	2237.500	2296.600	1305.800	2188.300	90626.700	17.164
24040.000	1148.000	760.900	1416.300	1317.200	1523.000	91774.700	17.382
24050.000	1453.400	932.900	1652.300	1320.300	1551.000	93228.100	17.657
24060.000	1499.300	869.700	1542.900	1385.300	1677.800	94727.400	17.941
24070.000	907.500	1063.600	1476.000	1383.700	1534.700	95634.900	18.113
24080.000	1046.300	955.000	1526.500	1430.700	1631.300	96681.200	18.311
24100.000	1189.300	935.700	1613.500	1450.300	1599.700	97870.500	18.536
24110.000	1505.600	957.900	1703.100	1450.700	1602.900	99376.100	18.821
24120.000	984.300	992.700	1656.600	1512.200	1593.200	100360.400	19.008
24130.000	933.700	1000.400	1641.600	1511.500	1571.700	101294.100	19.184
24140.000	405.800	1058.800	1598.400	1509.800	1622.900	101699.900	19.261
24160.000	909.800	984.000	1568.700	1511.800	1619.100	102609.700	19.434
24170.000	3299.900	1149.000	1780.100	1578.200	1775.900	105909.600	20.059
24180.000	984.300	949.200	1804.500	1579.100	1798.100	106893.900	20.245
24200.000	2131.300	975.700	2011.000	1646.000	1910.300	109025.200	20.649
24210.000	4250.700	947.700	2055.400	1711.200	1935.700	113275.900	21.454
24220.000	1197.500	910.900	2006.400	1777.000	1906.200	114473.400	21.681
24230.000	3675.800	869.800	2038.000	1778.100	1876.500	118149.200	22.377
24240.000	2395.000	874.900	2039.900	1833.600	1934.400	120544.200	22.830
24250.000	907.500	819.200	2142.900	1841.100	1914.600	121451.700	23.002
24260.000	1099.100	741.000	1970.800	1885.700	2083.300	122550.800	23.210
24270.000	496.400	727.200	1973.900	1905.700	1990.400	123047.200	23.304
26000.000	230.300	123.650	1912.400	1903.100	1907.500	123277.500	23.348
27000.000	643.700	254.900	1936.400	1904.900	1927.500	123921.200	23.470
28000.000	147.600	292.800	1934.400	1912.100	1938.000	124068.800	23.498

## BED SEDIMENT CONTROL VOLUMES

STREAM SEGMENT # 1: Corrida HEC6 - Aplicaci3n como fondo m3vil

SECTION NUMBER	LENGTH (ft)	WIDTH (ft)	DEPTH (ft)	VOLUME	
				(cu.ft)	(cu.yd)
12000.000	131.250	316.300	10.000	415144.	15375.7
13000.000	850.250	179.592	10.000	.152698E+07	56554.9
14000.000	836.450	136.429	10.000	.114116E+07	42265.1
16000.000	183.550	126.883	10.000	232893.	8625.68
17000.000	112.500	91.122	10.000	102513.	3796.77
18000.000	107.100	70.786	10.000	75811.5	2807.83
19000.000	466.550	250.441	10.000	116843E+07	43275.3
19010.000	495.850	559.105	10.000	277232E+07	102679
19020.000	376.900	865.548	10.000	326225E+07	120824.
19030.000	671.250	923.605	10.000	619970E+07	229618.
19040.000	802.350	1034.657	10.000	830157E+07	307466.
19050.000	1995.600	839.326	10.000	167496E+08	620356
19060.000	2096.450	864.814	10.000	181304E+08	671496
19070.000	958.950	929.194	10.000	891051E+07	330019
19080.000	1327.250	955.448	10.000	126812E+08	469673
19090.000	1939.150	850.954	10.000	165013E+08	611158
19100.000	1801.650	871.996	10.000	157103E+08	581863.
19110.000	1036.550	980.519	10.000	101636E+08	376428.
19120.000	1493.450	882.647	10.000	131819E+08	488218.
19130.000	1581.400	846.236	10.000	133824E+08	495643

19140.000	686.050	889.939	10.000	610543E+07	226127
19150.000	834.350	860.453	10.000	717919E+07	265896
19160.000	881.400	833.916	10.000	735014E+07	272227
19170.000	645.150	924.191	10.000	596242E+07	220830
19180.000	779.050	928.999	10.000	723737E+07	268051
19190.000	1953.750	844.748	10.000	165043E+08	611269
19200.000	2348.750	847.827	10.000	199133E+08	737531
19210.000	1327.250	846.989	10.000	112417E+08	416358
19220.000	755.200	833.517	10.000	629472E+07	233138
19230.000	614.500	754.566	10.000	463681E+07	171734
19240.000	822.550	812.504	10.000	668326E+07	247528
19250.000	834.350	826.777	10.000	689821E+07	255489
19260.000	488.700	730.115	10.000	356807E+07	132151
19270.000	707.500	739.674	10.000	523320E+07	193822
19280.000	1274.750	796.542	10.000	101539E+08	376071
19290.000	1141.550	878.228	10.000	100254E+08	371311
19300.000	802.650	892.723	10.000	716544E+07	265387
19310.000	720.950	887.546	10.000	639876E+07	236991
19320.000	1606.950	889.567	10.000	142949E+08	529440
19330.000	1622.050	886.240	10.000	143753E+08	532417
19340.000	871.550	862.519	10.000	751728E+07	278418
19350.000	995.100	846.248	10.000	842102E+07	311890
19360.000	1265.450	864.382	10.000	109383E+08	405123
19361.000	1251.800	774.488	10.000	969505E+07	359076
19362.000	1030.500	737.243	10.000	759729E+07	281381
19363.000	1147.150	964.399	10.000	110631E+08	409745
19364.000	1113.500	1023.883	10.000	114009E+08	422257
19365.000	950.300	921.983	10.000	876160E+07	324504
19366.000	786.750	959.218	10.000	754665E+07	279506
19367.000	644.200	885.620	10.000	570517E+07	211302
19370.000	502.000	903.717	10.000	453666E+07	168024
19380.000	471.150	933.897	10.000	440005E+07	162965
19390.000	969.800	1117.135	10.000	108340E+08	401258
19400.000	1272.800	1112.453	10.000	141593E+08	524419
19410.000	838.250	976.833	10.000	818830E+07	303270
19420.000	462.750	975.992	10.000	451640E+07	167274
19430.000	434.550	856.814	10.000	372329E+07	137899
19440.000	507.050	868.584	10.000	440416E+07	163117
19450.000	531.350	889.344	10.000	472553E+07	175020
19460.000	641.250	824.754	10.000	528874E+07	195879
20000.000	440.100	518.522	10.000	228201E+07	84519.0
20010.000	806.100	793.455	10.000	639604E+07	236890
20020.000	1007.250	896.699	10.000	903200E+07	334519
20030.000	626.300	951.971	10.000	596219E+07	220822
20040.000	1250.150	909.899	10.000	113751E+08	421300
20050.000	1551.700	937.895	10.000	145533E+08	539012
20060.000	862.700	1055.998	10.000	911009E+07	337411
20070.000	872.350	907.249	10.000	791439E+07	293125
20080.000	913.200	849.295	10.000	775576E+07	287250
20090.000	727.000	775.002	10.000	563426E+07	208676
20100.000	836.900	893.331	10.000	747629E+07	276900
20110.000	1106.600	1080.405	10.000	119558E+08	442806
20115.000	2129.250	810.092	10.000	172489E+08	638847
20120.000	3715.700	894.449	10.000	332350E+08	123093E+07
20130.000	3061.850	948.458	10.000	290404E+08	107557E+07
20150.000	1955.900	887.597	10.000	173605E+08	642982
20160.000	2735.600	840.638	10.000	229965E+08	851722
20170.000	2012.150	814.274	10.000	163844E+08	606830
20180.000	951.600	1078.500	10.000	102630E+08	380111
21000.000	1524.250	1804.158	10.000	274999E+08	101851E+07
22000.000	1149.550	1334.202	10.000	153373E+08	568049
23000.000	563.800	905.574	10.000	510563E+07	189097
24000.000	893.850	889.348	10.000	794943E+07	294423
24010.000	863.500	1098.393	10.000	948463E+07	351283
24020.000	846.800	2067.250	10.000	175055E+08	648351
24030.000	997.400	1967.245	10.000	196213E+08	726715
24040.000	1300.700	1010.140	10.000	131389E+08	486626

24050 000	1476 350	893 982	10 000	131983E+08	488826
24060 000	1203 400	907 194	10 000	109172E+08	404340
24070 000	976 900	1014 193	10 000	990765E+07	366950
24080 000	1117 800	968 520	10 000	108261E+08	400967
24100 000	1347 450	942 673	10 000	127021E+08	470446
24110 000	1244 950	958 011	10 000	119268E+08	441732
24120 000	959 000	987 996	10 000	947489E+07	350922
24130 000	669 750	1004 508	10 000	672769E+07	249174
24140 000	657 800	1035 553	10 000	681187E+07	252291
24160 000	2104 850	1032 502	10 000	217326E+08	804912
24170 000	2142 100	1091.335	10 000	233775E+08	865833
24180 000	1557 800	976 283	10 000	152085E+08	563279
24200 000	3191 000	966 534	10 000	308421E+08	114230E+07
24210 000	2724 100	952 286	10 000	259412E+08	960786
24220 000	2436 650	903 581	10 000	220171E+08	815448
24230 000	3035 400	878 766	10 000	266741E+08	987928
24240 000	1651 250	868 565	10 000	143422E+08	531192
24250 000	1003 300	813 319	10 000	816003E+07	302223
24260 000	797 750	757 525	10 000	604316E+07	223821
24270 000	363 350	666 585	10 000	242204E+07	89705 0
26000 000	437 000	208 884	10 000	912822	33808 2
27000 000	395 650	221 667	10 000	877026	32482.4
28000 000	73 800	280 167	10 000	206763	7657 89

NO. OF INPUT DATA MESSAGES= 0  
END OF SEDIMENT DATA

SHYD  
BEGIN COMPUTATIONS.

SB 1  
Transmissive Boundary Condition - OFF

SRATING  
Downstream Boundary Condition - Rating Curve

Elevation	Stage	Discharge	Elevation	Stage	Discharge
235 500	235 500	000	239 800	239 800	10594 000
236 100	236 100	529 700	239 900	239 900	11123 700
236 500	236 500	1059 400	240 000	240 000	11653 400
236 800	236 800	1589 100	240 100	240 100	12183 100
237 100	237 100	2118 800	240 300	240 300	12712 800
237 300	237 300	2648 500	240 400	240 400	13242 500
237 500	237 500	3178 200	240 500	240 500	13772 200
237 700	237 700	3707 900	240 600	240 600	14301 900
237 900	237 900	4237 600	240 700	240 700	14831 600
238 100	238 100	4767 300	240 800	240 800	15361 300
238 300	238 300	5297 000	240 900	240 900	15891 000
238 400	238 400	5826 700	241 000	241 000	16420 700
238 600	238 600	6356 400	241 100	241 100	16950 400
238 800	238 800	6886 100	241 200	241 200	17480 100
238 900	238 900	7415 800	241 400	241 400	18009 800
239 100	239 100	7945 500	241 500	241 500	18539 500
239 200	239 200	8475 200	241 500	241 500	19069 200
239 400	239 400	9004 900	241 600	241 600	19598 900
239 500	239 500	9534 600	241 700	241 700	20128 600
239 600	239 600	10064 300			

TIME STEP # 90  
\* B PASO 32 - AÑO SECO

Corrida HEC6 - Aplicación como fondo móvil  
ACCUMULATED TIME (yrs) ... 2.986  
FLOW DURATION (days) ... 2.000

UPSTREAM BOUNDARY CONDITIONS

Stream Segment # 1	DISCHARGE	SEDIMENT LOAD	TEMPERATURE
Section No. 28000.000	(cfs)	(tons/day)	(deg F)
INFLOW	1041.80	171.03	1.44

Upstream of SECTION NO. 22000.000 is..

LOCAL INFLOW POINT # 1	DISCHARGE	SEDIMENT LOAD	TEMPERATURE
	(cfs)	(tons/day)	(deg F)
MAINSTEM INFLOW	1041.80	171.03	1.44
LOCAL INFLOW	462.60	18.81	.00
TOTAL	1504.40	189.83	1.00

TABLE SA-1. TRAP EFFICIENCY ON STREAM SEGMENT # 1  
 Corrida HEC6 - Aplicaci3n como fondo m3vil  
 ACCUMULATED AC-FT ENTERING AND LEAVING THIS STREAM SEGMENT

TIME	ENTRY *	SAND	
DAYS	POINT *	INFLOW	OUTFLOW TRAP EFF *
1090.00	28000.000 *	1052.56	*
	22000.000 *	161.99	*
TOTAL=	12000.000 *	1214.55	569.08 .53 *

TABLE SB-1: SEDIMENT LOAD PASSING THE BOUNDARIES OF STREAM SEGMENT # 1

SEDIMENT INFLOW at the Upstream Boundary:			
GRAIN SIZE	LOAD (tons/day)	GRAIN SIZE	LOAD (tons/day)
VERY FINE SAND...	4.64	VERY FINE GRAVEL...	.00
FINE SAND.....	3.62	FINE GRAVEL.....	.00
MEDIUM SAND.....	4.59	MEDIUM GRAVEL...	.00
COARSE SAND.....	68.03	COARSE GRAVEL...	.00
VERY COARSE SAND..	90.14	VERY COARSE GRAVEL	.00
TOTAL =		171.03	
SEDIMENT OUTFLOW from the Downstream Boundary			
GRAIN SIZE	LOAD (tons/day)	GRAIN SIZE	LOAD (tons/day)
VERY FINE SAND...	558.09	VERY FINE GRAVEL	1.06
FINE SAND.....	245.49	FINE GRAVEL.....	.00
MEDIUM SAND.....	186.60	MEDIUM GRAVEL...	.00
COARSE SAND.....	147.77	COARSE GRAVEL...	.00
VERY COARSE SAND.	42.15	VERY COARSE GRAVEL	.00
TOTAL =		1181.17	

TABLE SB-2: STATUS OF THE BED PROFILE AT TIME =  
 1090.000 DAYS

SECTION NUMBER	BED CHANGE	WS ELEV	THALWEG	Q	TRANSPORT RATE SAND						
	(ft)	(ft)	(ft)	(cfs)	(ton/day)						
28000.000	-9.96	1901.72	1894.28	1042	183	24160.000	1.02	1532.42	1512.82	1042	215
27000.000	-9.93	1901.44	1894.97	1042	173	24140.000	54.93	1530.99	1525.81	1042	212
26000.000	-9.96	1900.89	1893.14	1042	190	24130.000	-9.96	1512.14	1501.54	1042	5478
24270.000	-9.88	1899.13	1895.82	1042	154	24120.000	-9.33	1505.38	1502.87	1042	4513
24260.000	-9.92	1880.97	1875.78	1042	124	24110.000	-9.76	1449.64	1440.94	1042	4281
24250.000	-9.95	1837.47	1831.15	1042	100	24100.000	-9.55	1446.39	1440.75	1042	3533
24240.000	-9.97	1828.34	1823.63	1042	112	24080.000	-4.75	1428.86	1425.95	1042	3498
24230.000	-9.96	1782.70	1768.14	1042	90	24070.000	-3.53	1387.25	1380.17	1042	3527
24220.000	-9.94	1771.43	1767.06	1042	76	24060.000	-9.56	1379.46	1375.74	1042	2906
24210.000	-9.95	1705.70	1701.25	1042	61	24050.000	-2.19	1325.59	1318.11	1042	2960
24200.000	-9.98	1640.22	1636.02	1042	77	24040.000	-3.21	1318.80	1313.99	1042	2757
24180.000	-8.17	1583.71	1570.93	1042	264	24030.000	-7.19	1313.90	1285.31	1042	2323
24170.000	-4.46	1581.81	1577.74	1042	215	24020.000	.66	1313.85	1299.86	1042	1658
						24010.000	-9.82	1311.86	1307.58	1042	1460
						24000.000	-9.86	1258.01	1243.24	1042	1378
						23000.000	-9.88	1257.94	1242.32	1042	1303
						22000.000	-9.86	1255.64	1248.74	1504	1174
						21000.000	-9.86	1208.30	1200.74	1504	1006
						20180.000	-9.76	1186.32	1178.04	1504	890