



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

FACULTAD DE INGENIERIA

**"ANALISIS DE LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS
MEDIANTE EL MODELO DE STANFORD"**

T E S I S

Que para Obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

Francisco Javier Aparicio Mijares



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-19

Al Pasante señor FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Oscar A. Fuentes Mariles, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS MEDIANTE EL
MODELO DE STANFORD"

1. Introducción
2. Descripción del modelo de stanford
3. Programa de cómputo. Aplicación del modelo
4. Conclusiones y comentarios

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 17 de enero de 1979
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OPLH/ser

I N D I C E

| | | |
|---------|--|----|
| 1. | INTRODUCCION | 1 |
| 1.1 | El problema de la erosión hídrica | 1 |
| 1.2 | Problemas actuales en cuanto a la comprensión del fenómeno | 3 |
| 1.2.1 | Modelos digitales | 4 |
| 1.2.1.1 | Modelos digitales determinísticos | 4 |
| 1.2.1.2 | Modelos digitales estocásticos | 4 |
| 1.2.1.3 | Modelos digitales paramétricos | 5 |
| 1.2.2 | Modelos analógicos | 10 |
| 1.2.3 | Modelos físicos | 11 |
| 1.3 | Posibles mejoras en los estudios | 12 |
| 1.4 | Alcances de la tesis | 14 |
| 2. | DESCRIPCION DEL MODELO DE STANFORD | 19 |
| 2.1 | Proceso de erosión en una cuenca | 19 |
| 2.1.1 | Erosión laminar | 21 |
| 2.1.2 | Erosión de canales | 26 |
| 2.1.3 | Proceso de transporte de los sedimentos | 27 |
| 2.1.3.1 | Arrastre de lavado | 30 |
| 2.1.3.2 | Interload y material de fondo | 31 |
| 2.2 | Limitaciones del modelo | 35 |
| 2.2.1 | Limitaciones en cuanto a características de la cuenca | 35 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.2.2 | Limitaciones en cuanto a disponibilidad y confiabilidad de datos | 36 |
| 2.2.2.1 | Precipitación | 37 |
| 2.2.2.2 | Escurremientos totales | 39 |
| 2.2.2.3 | Sólidos totales | 39 |
| 3. | PROGRAMA DE COMPUTO. APLICACION DEL MODELO | 42 |
| 3.1 | Descripción del programa | 42 |
| 3.2 | Calibración del modelo | 49 |
| 3.2.1 | Constantes que se obtienen por medio de datos históricos. | 50 |
| 3.2.2 | Constantes que se obtienen de las características de la cuenca | 51 |
| 3.2.3 | Constantes que se valían por procedimientos de prueba y error, pero que tienen valores bien acotados | 52 |
| 3.2.4 | Constantes que se determinan por procedimientos de prueba y error | 53 |
| 3.3 | Aplicación del modelo. Cuenca del río Usila | 59 |
| 4. | CONCLUSIONES Y COMENTARIOS | 80 |
| | RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS | 86 |
| | BIBLIOGRAFIA | 87 |

| | |
|---|------------|
| APENDICE A. Cálculo del flujo superficial | 91 |
| APENDICE B. Tránsito de la carga de lavado | 101 |
| APENDICE C. Programa de cómputo | 114 |
| APENDICE D. Formato de datos | 125 |
| APENDICE E. Resultados de la corrida No. 1 | 134 |

1. INTRODUCCION

1.1 *El problema de la erosión hídrica*

El problema de la erosión por lluvia tiene una gran importancia en diversos aspectos que atañen a varias ramas profesionales. En algunas de ellas el interés está fincado principalmente en lo que se refiere a la pérdida de suelo útil para la agricultura y el pastoreo; en otras se han establecido relaciones entre el proceso de erosión y las características de los suelos transportados; dentro de la Ingeniería Civil en general, los problemas derivados de la obstrucción de estructuras tales como puentes y carreteras son frecuentes, pero el tema cobra mayor importancia desde el punto de vista de los ingenieros hidráulicos e hidrólogos, pues son ellos los que necesitan conocer la cantidad de azolve que se deposita en los embalses, misma que puede reducir considerablemente la vida útil de los-

aprovechamientos, y son ellos también los que se encargan de evaluar los problemas de reducción de la capacidad de los ríos para el transporte de avenidas.

Planteado de esta forma, pudiera pensarse que el problema ha sido estudiado con amplitud, pero no es así; en realidad, en lo que a la Ingeniería Civil se refiere, puede decirse que es uno de los temas menos estudiados. Esto, sin embargo, no es fortuito, ya que se trata de un problema complejo, con multitud de factores y una cantidad de variantes difícil de determinar. A ello hay que agregarle la dificultad y el alto costo de realizar mediciones, especialmente en nuestro país, donde los únicos datos disponibles son los de concentración de sedimentos muestreada con métodos rudimentarios y sin gran cuidado. Por otra parte, los lugares en que se muestrea son escasos, no sólo en la República, sino en la mayor parte de los países del mundo. Debido a todo lo anterior, los estudios que hasta ahora se han realizado han sido esporádicos y sin continuidad. Así, en el terreno de la Agronomía se ha estudiado el problema con cierta amplitud, pero en la Ingeniería Hidráulica no se ha tratado de correlacionar tales estudios con los tópicos que a ella interesan. Esto es hasta cierto punto explicable, pues las investigaciones en el terreno de la Agronomía han sido necesariamente de tipo parcelario, en tanto que el especialista en Hidráulica se interesa más bien en la erosión general de las cuencas, y en el proceso que sigue el -

suelo desprendido hasta llegar a una boquilla. Cabe la posibilidad, sin embargo, de combinar ambos aspectos para -al menos- tener una visión más racional y completa del fenómeno y poder así desarrollar modelos de análisis que no se aparten mucho de la realidad. Desde el punto de vista de la Hidráulica, un aspecto negativo en los estudios hasta ahora realizados es el de que muchos de los criterios existentes involucran constantes y exponentes empíricas, no aplicables en -- nuestro país, y generalmente ni siquiera a cuencas como tales.

1.2 Desarrollos actuales en cuanto a la comprensión del fenómeno.

Este subcapítulo contiene una revisión bibliográfica resumida y comentada de los esfuerzos que se han hecho hasta hoy en el análisis del fenómeno.

Las diversas formas de atacar al problema serán aquí -- llamadas con el nombre genérico de "modelos", aunque algunas de ellas no cumplan cabalmente con los requisitos necesarios para ser denominadas como tales. Los modelos pueden dividirse en tres clases (ref. 5): modelos digitales, modelos analógicos y modelos físicos.

1.2.1 Modelos digitales

Un modelo digital es aquél que describe un fenómeno determinado por medio de ecuaciones o fórmulas generales, a cuyas variables asigna ciertos valores de acuerdo al caso particular de que se trate. El origen de dichas ecuaciones o fórmulas generales y la forma de determinar los valores de sus variables hacen que este tipo de modelos puedan a su vez dividirse en tres clases: determinísticos, estocásticos y paramétricos.

1.2.1.1 Modelos digitales determinísticos.

Estos modelos se basan fundamentalmente en la proposición y solución de ecuaciones diferenciales deducidas de las leyes de conservación de masa, energía y momento. Su utilización en el análisis del fenómeno de la producción de sedimentos es sólo posible en combinación con modelos físicos -- sencillos (ref. 1), y dado el estado actual de conocimientos, su aplicación futura a prototipos es remota.

1.2.1.2 Modelos digitales estocásticos.

Se derivan de las técnicas de simulación para, a partir de una serie de datos conocidos, generar secuencias de nuevos datos hidrológicos o geomorfológicos. Su utilización es atractiva, como se discutirá en el subcapítulo 1.3.

1.2.1.3 Modelos digitales paramétricos.

Consisten en desarrollar relaciones entre las características de la cuenca y el proceso de erosión mediante parámetros ajustables dentro de determinados rangos. Estas relaciones pueden ser englobadas en una sola fórmula, o en un conjunto de fórmulas interrelacionadas entre sí, cada una representando una fase particular del proceso de producción de sedimentos. El primer caso es el más socorrido, pues es el que se ha usado en el análisis de pequeñas extensiones de terreno con características prácticamente homogéneas (parcelas) y será el que se discutirá en este capítulo. El segundo caso, representado por el modelo de Stanford, es el objeto principal de este trabajo y se discutirá con amplitud en el capítulo 2.

Fórmulas aisladas

Ellison, en 1945 (citado por ref. 2), obtuvo una relación empírica entre el suelo salpicado* y las características de la lluvia:

$$E = k v^{4.33} d^{1.07} r^{0.65} \quad (1.1)$$

* Se define como "suelo salpicado" al que se desprende de la superficie del terreno por el sólo efecto del impacto de las gotas de lluvia.

donde:

- E = Peso del suelo salpicado en un periodo de 30 - min (gr).
- V = Velocidad de las gotas (ft/seg).
- d = Diámetro de las gotas (mm).
- I = Intensidad de la lluvia (in/hr).
- k = Constante que depende del tipo de suelo.

Esta ecuación es aplicable sólo en términos experimentales, pues no describe más que una pequeña parte del proceso de producción de sedimentos. Por otra parte, en la práctica es sumamente difícil valuar los parámetros V , d y k .

Después (1947, ref. 2), Musgrave propuso la siguiente ecuación, que fue la primera aproximación a una Fórmula Universal de Pérdida de Suelo:

$$E = I R S^{1.35} L^{0.35} P_{30}^{1.75} \quad (1.2)$$

donde:

- E = Pérdida de suelo (Ton/acre/año)
- I = Erodibilidad del suelo (in).
- R = Factor de cobertura.
- S = Pendiente de la parcela (%).
- L = Longitud de la parcela en el sentido de la pen

diente (ft)

P_{30} = Cantidad máxima de lluvia en 30 min para una -
frecuencia de 2 años (in)

Nuevamente se presenta la dificultad de valuar algunos-
parámetros, como I y R. Además, los resultados que arrojó -
esta fórmula presentaron una gran dispersión.

Wischmeier y Smith (refs. 6,9) propusieron una fórmula-
similar a la de Musgrave (1.2), pero hicieron estudios más o
menos exhaustivos para la valuación de cada parámetro que in-
terviene en ella, por lo que su uso es el más extendido, no-
sólo en la zona oriental de Estados Unidos (zona para la que
realizaron sus pruebas), sino en muchas otras partes del mun-
do. Esta fórmula es la llamada "Fórmula Universal de Pérdi-
da de Suelo" (FUPS) y se planteó como sigue:

$$A = R K S L C P \quad (1.3)$$

donde:

- A = Promedio anual de pérdida de suelo (ton/acre).
- R = Factor de lluvia.
- K = Factor de erodibilidad del suelo.
- SL = Factor de longitud - pendiente.
- C = Factor de cultivo.
- P = Factor de prácticas de conservación del suelo.

Las tablas 1.1 y 1.2, y las figuras 1.1 y 1.2 muestran los valores de los parámetros S-L, R, K y C según los estudios realizados por Wischmeier y Smith, modificados para comodidad de su uso en la ref. 20. La ec. 1.3 ha sido ampliamente difundida y utilizada en el campo de la Agronomía y constituye un buen avance en la cuantificación del fenómeno. Sin embargo, su uso se ha limitado hasta el momento a la -- cuantificación de la pérdida de suelo en parcelas, ya que, -- por haber sido planteada para ese fin, no toma en cuenta -- las diferentes fases del proceso dinámico de la producción de sedimentos, como son la escorrentía superficial, almacenajes y erosión propia de cauces, etc., factores que, como se verá más adelante, son determinantes en el fenómeno visto al nivel de una cuenca. No obstante (ref. 2, 20), algunos análisis hechos con la FUPS con ciertas modificaciones han demostrado que su uso podría extenderse más allá de las parcelas.

Wischmeier y Smith (ref.2) propusieron después otra -- formulación a partir de una serie de estudios realizados en un tipo particular de suelo, con objeto de explorar la relevancia de otros factores, no tomados en cuenta en la FUPS. -- Dicha formulación es la siguiente:

$$L_4 = 0.0026 E + 0.0024 EI_{30} + 0.0517 C + 0.233 API - 2.93$$

(1.4)

donde:

- L_d - Pérdida de suelo durante una tormenta (ft/acre)
- E - Energía total de la tormenta (ft-ton/acre).
- I_{30} - Intensidad máxima de la tormenta en 30 min (in)
- C - Energía acumulada de la lluvia desde la última cosecha
- API - Índice de precipitación antecedente.

Las principales dificultades en el uso de esta fórmula estriban en que los parámetros C y E son difíciles de valorar y que se ajustó con base en un tipo particular de suelo. El interés en ella radica en que introdujo un nuevo parámetro, API , de gran importancia en la cuantificación de la pérdida de suelo, pues es una medida de la saturación del terreno, y por tanto también de la parte de la lluvia que escurre superficialmente. F.J. Dragoun en 1962 (ref. 4) utilizó esta idea y formuló otra relación con parámetros más sencillos de valorar:

$$L_d \propto E I_{30} (1 + P_a - Q_a) \quad (1.5)$$

donde:

- $E I_{30}$ es un índice del poder erosivo de la lluvia utilizado también como parte del factor R de la -- FUPS (ec. 1.3) y en la ec. 1.4.

- P_d • Índice de lluvia antecedente (lámina llovida - durante los 5 días anteriores, in).
- Q_d • Índice de escurrimiento antecedente (lámina escurrida durante los 5 días anteriores, in).
- a • Símbolo de proporcionalidad.

La expresión 1.5 ha dado resultados razonables al relacionarla (ref. 2) con la ecuación 1.3.

1.2.2 Modelos analógicos.

Un modelo analógico es aquél que utiliza las similitudes que existen entre un fenómeno cuyas características se conocen pero no están determinadas* en parte o en su totalidad, y otro en el que dichas características son fácilmente valuables.

Tinlin (1969, ref. 2) utilizó la analogía eléctrica para representar el proceso de intercepción, almacenaje, escurrimiento e infiltración en una cuenca. Un pulso eléctrico (lluvia) era aplicado al circuito y se alteraba en él progresivamente hasta representar el hidrograma de salida. De esta forma, si se agregaran algunas componentes relativas al -

* o bien, dicho en forma esquemática, se sabe "cómo", pero no "cuánto".

proceso de erosión, podría simularse la producción de sedimentos. Por supuesto que si esto se puede lograr, podría lograrse también en cualquier otro tipo de modelo lluvia - escurrimiento; la dificultad es, precisamente, el conocer con exactitud las mencionadas componentes relativas al proceso de erosión.

1.2.3 Modelos físicos.

Un modelo físico es aquél en el que se reproduce un determinado fenómeno en una escala reducida de medidas.

Kilink y Richardson (ref. 1), en 1973, construyeron un modelo físico que simulaba lluvia mediante regaderas. Este modelo, aunque reportó resultados interesantes, era demasiado simple como para poder representar el proceso de erosión en una cuenca. Un modelo físico en el que se pretenda estudiar el fenómeno de producción de sedimentos en cuencas, debe ser concebido de tal forma que reproduzca al menos cualitativamente el proceso lluvia - escurrimiento que da lugar a la erosión y al transporte de sólidos. Una desventaja de este tipo de modelos es la dificultad de poder representar adecuadamente la similitud dinámica. Una ventaja es la gran objetividad de los resultados.

1.3 Posibles mejoras en los estudios

Un cuadro general de lo que podría ser un buen modelo de producción de sedimentos es el siguiente:

- Tomar como base un modelo digital paramétrico de varias fórmulas, como el de Stanford (cap. 2).
- Utilizar un modelo digital estocástico para la simulación de lluvia, y a partir de los datos sintéticos así generados, determinar los gastos en las corrientes mediante algún modelo lluvia - escurrimiento.
- Tomar en cuenta a los sólidos producidos por las corrientes.

La concepción anterior se basa en los siguientes factores:

1. No es posible representar el mecanismo de producción de sedimentos mediante una fórmula aislada, debido a que el fenómeno está gobernado por una serie de fases que, aunque interrelacionadas, son diferentes entre sí; el problema debe estudiarse con un conjunto de fórmulas que representen cada una de las fases del fenómeno.
2. La precipitación, y con ella la producción de sedimentos,

es un proceso estocástico.

3. Los sólidos desprendidos del cauce de los ríos, aunque su cantidad no es tan considerable como la de los producidos fuera de ellos, deben tomarse en cuenta, especialmente cuando hay depósitos de escurrimientos anteriores.

Sea cual fuere el método de estudio, no se debe perder de vista que, para obtener resultados confiables, debe contarse con información también confiable. De la calidad de los datos disponibles dependerá en gran medida el éxito de las investigaciones y de las aplicaciones de sus resultados en la práctica. Como se mencionó en el inciso 1.1, y se insistirá donde sea necesario, la toma de muestras en México es escasa y poco fidedigna. Para dar un mínimo de confiabilidad a los datos, y con ello a los estudios y sus resultados, se deberían hacer dos clases de mediciones, por lo menos en cuencas "piloto":

- a) Medición del gasto sólido en las corrientes, incluyendo la toma de muestras en intervalos cortos de tiempo, tanto de material de fondo como en suspensión, en tantos puntos de la sección transversal como sea posible. La ref. 7 proporciona criterios generales para la toma de muestras y para la selección de equipo adecuado para tal fin.

b) Levantamientos batimétricos en embalses.

Estos levantamientos serían de gran utilidad cuando se - tratara de analizar el proceso de principio a fin, para - poder establecer correlaciones entre las características hidrológicas y geomorfológicas de una cuenca (que consti - tuirían datos de entrada a un modelo cualquiera), con la cantidad de azolves que al final del proceso de produc - ción y transporte se depositan en las presas (es decir, - salidas del modelo). Estos levantamientos se deberían - hacer con regularidad; por ejemplo, cada 6 meses.

1.4 Alcances de la tesis

El objetivo de esta tesis es el de dar a conocer el Modelo de Stanford para la simulación de la producción de sedimen - tos en cuencas, como una forma de representar al fenómeno ma - temáticamente y en cada uno de sus aspectos. En el capítulo - 2 se describirá el modelo con las fórmulas que simulan cada - fase de dicho fenómeno y se tratará de dar algunas ideas ten - dientes a facilitar su aplicación. En el capítulo 3 se in - cluirá un programa de computadora utilizable en una máquina - Burroughs 6700 en lenguaje FORTRAN, así como una explicación - de su funcionamiento, incluyendo una aplicación a una cuenca - de nuestro país. Asimismo, se discutirá el significado y for - ma de valuación de cada uno de los parámetros de entrada que - se usan en el modelo, así como el rango de aplicabilidad del -

ditto.

| Material | Valor de K | Valor medio de K |
|----------|-------------|------------------|
| Gravas | 0.1 - 0.02 | 0.06 |
| Arenas | 0.28 - 0.08 | 0.18 |
| Arcillas | 0.36 - 0.26 | 0.31 |
| Limos | 0.69 - 0.28 | 0.49 |

TABLA 1.1 Valores de K para la ec. 1.3 (tomada de la ref. 20).

Valores de C:

| | | |
|----------------------------------|------------------|------|
| Bosque: Area cubierta del 25-40% | Sin residuos | 0.36 |
| | 60 % de residuos | 0.84 |
| | 80 % de residuos | 0.41 |

Area cubierta del 45-70% : 0.01 - 0.04

Area cubierta del 75-100% : 0.003 - 0.011

sin vegetación: 1.0

zona de cultivo: 0.4

TABLA 1.2 Valores de C para la ec. 1.3 (tomada de la ref. 20).

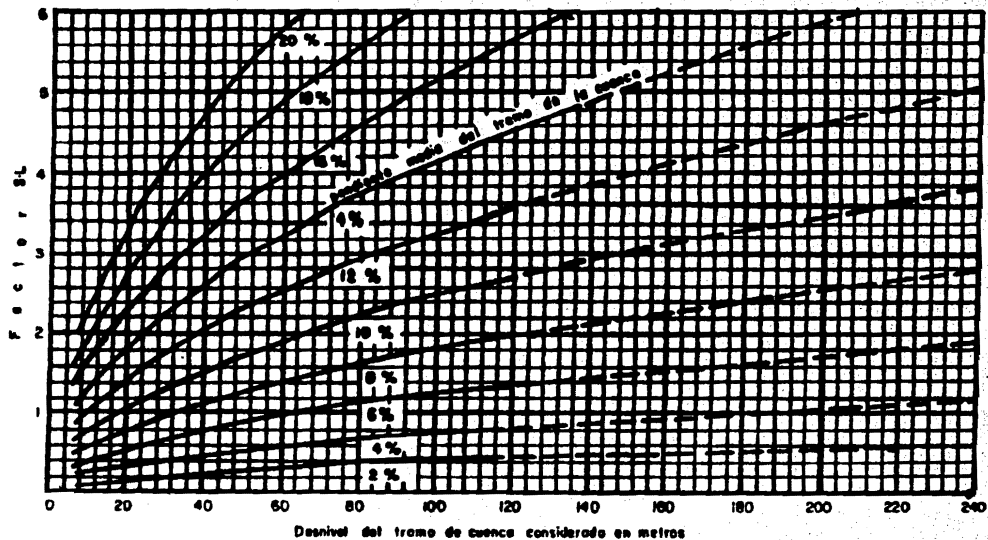


Fig. 1.1 Factor S L para la F.U.P.S. (ec. 1.3)

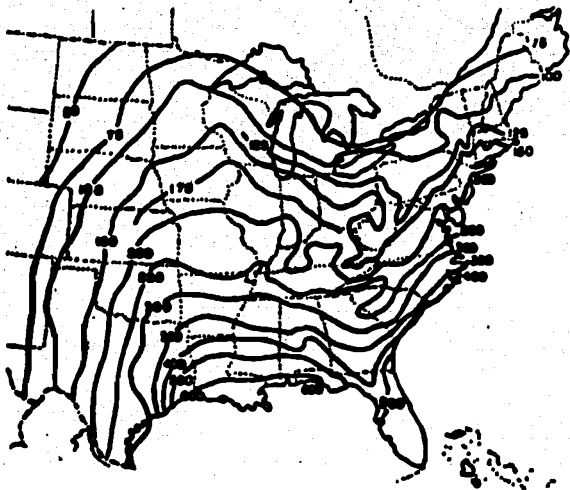


Fig. 1.2 Factor R para la P.U.P.S. (ec. 1.3) (zona oriental de los E.U.A.).

2. DESCRIPCION DEL MODELO DE STANFORD

Excepto en los casos que se señalan explícitamente, el modelo desarrollado en este capítulo y el siguiente es el mismo que el de la ref. 3. Las diferencias principales están en lo referente al cálculo del flujo superficial (apéndice A) y en el programa de cómputo (apéndice B), éstas últimas debidas solamente a la diferencia de lenguajes de computadora y de sistemas de unidades.

2.1 Proceso de erosión en una cuenca

En el proceso de erosión en cuencas se distinguen dos fases fundamentales: "erosión laminar" y "erosión de canales". La erosión laminar consiste en la remoción más o menos uniforme de partículas de suelo de la superficie del terreno sin que se provoque por ello el desarrollo de cauces bien defini-

dos, y dentro de ella se incluyen aquellos pequeños canales que se forman al comenzar a concentrarse el flujo superficial, pero que desaparecen entre dos tormentas sucesivas.- La erosión de canales, por el contrario, es el desprendimiento de partículas sólidas del suelo causado por flujos concentrados en canales bien definidos; dentro de esta clasificación se incluye la erosión tanto del fondo de los canales como de sus márgenes o taludes, además de la resultante de la formación de regueros y cárcavas. La importancia de una respecto a la otra dependerá, en todo caso, de las características de escurrimiento de la cuenca. Debido a lo extremadamente complejo del fenómeno, algunos de los procesos que lo componen se simplifican bastante en el modelo. Así por ejemplo, el proceso de erosión de regueros, proceso que pareciera ser debido más bien a la erosión laminar, se combina con el de cárcavas, que es evidentemente de canales*. Las funciones que componen el modelo se apoyan en lo posible en la teoría y datos experimentales, pero son esencialmente empíricos y fueron obtenidas por medio de procedimientos de "prueba y error".

En los incisos 2.1.1 y 2.1.2 se discutirán respectivamente los procesos de erosión laminar y de canales, tanto en

* La formación de un reguero puede entenderse como un paso preliminar a la formación de una cárcava; sin embargo, y por el contrario a lo que sucede con una cárcava, un reguero es susceptible de desaparecer.

su forma física como la manera en que se representan en el modelo. En el inciso 2.1.3 se hará una breve discusión del proceso de transporte de sedimentos.

2.1.1 Erosión laminar

La erosión laminar se ha reportado (ref. 8) como la principal fuente de producción de sedimentos, aunque tal importancia en gran medida depende de las características geológicas, topográficas y de vegetación de la cuenca. Generalmente --- (ref. 3), el material fino proviene de esta fase. La erosión laminar es el producto del salpicamiento del suelo y del movimiento del suelo salpicado por efecto del flujo superficial* (fig. 2.1), y en teoría, el salpicamiento del suelo es función de la energía cinética de las gotas de lluvia, y ésta, a su vez, de la velocidad y diámetro de las mismas (ec. 1.1); --- como ya se mencionó (parágrafo 1.2.1), éstos parámetros son --- sumamente difíciles de valuar, por lo que Wischmeier y Smith (ref. 6, 9) llegaron a determinar el producto EI_{30} como el mejor índice de pérdida de suelo por tormenta, en el cual E es la energía de la tormenta (ft-tons/acre-in), dada como

* "Flujo Superficial" es aquella parte del volumen de agua llovida que escurre sobre el terreno después de que el suelo se satura y que aún no ha pasado a formar parte de una corriente bien definida.

$$E = k_2 + k_3 \log I$$

y: k_2, k_3 = constantes experimentales

I = Intensidad de la tormenta

I_{30} = intensidad máxima en 30 min (Ln/hr)

El producto $E I_{30}$ fue después utilizado en la FUPS (ec.-- 1.3) como $R = \Sigma E I_{30} / 100$. De lo anterior se desprende entonces que el salpicamiento del suelo, en el fondo, se relaciona con la intensidad de la lluvia. El modelo hace uso de esta conclusión y calcula la cantidad horaria de suelo salpicado mediante la relación*:

$$RER = KRER \cdot HPP(t)^{JRER} \quad (2.1)$$

donde:

RER = cantidad horaria de suelo salpicado, tons.

HPP(t) = precipitación durante la hora t , pulgadas (ver subcapítulo 3.1 para unidades).

KRER = parámetro que varía con el tipo de suelo y con la cobertura vegetal.

JRER = exponente.

* En lo que sigue de este capítulo y parte de los siguientes, se utilizará la misma notación que en el programa de cómputo, para evitar confusiones.

El exponente JRER tiene un valor aproximado de 3 (ref.- 3). La determinación del parámetro KRER se debe hacer, en tanto no se hayan realizado pruebas del modelo suficientes para poder relacionarlo con el tipo de suelo y vegetación, mediante algunas corridas de prueba, como se describirá en el subcapítulo 3.2.

Una vez que el suelo ha sido salpicado, y si el flujo superficial aún no está ocurriendo en ese instante, todas las partículas son redepositadas. Cuando el suelo se satura y comienza el flujo superficial, solamente una parte relativamente gruesa de esas partículas se redepositan, mientras que las demás son arrastradas. La cantidad de sólidos arrastrados por este proceso depende de la cantidad de flujo superficial y de las características del material y del terreno, todas ellas representadas en el modelo por un sólo parámetro, denominado KSER. De esta manera, la cantidad horaria de material arrastrado se calcula con la siguiente relación:

$$SER = KSER \cdot SRER (t-1) \cdot OVQ (t)^{JSER} \quad (2.2)$$

donde:

SER = cantidad horaria de suelo arrastrado por flujo superficial (tons).

OVQ(t) = flujo superficial durante la hora t (pulgadas) (ver inciso 3.1 para unidades).

$SRER(t-1)$ = cantidad de partículas finas depositadas o almacenadas al final de la hora $t-1$ (residuo de salpicamiento), en tons.

$$= SRER(0) + \sum_{t=0}^{t=t-1} (RER_{OVQ}(t) - SER)$$

$SRER(0)$ = cantidad de partículas finas desprendidas y acumuladas en el terreno previamente a la -- temporada de lluvias (tons).

$JSER$ = exponente.

El valor de $JSER$ es del orden de 2.5 y el de $SRER(0)$ podría despreciarse. $OVQ(t)$ se puede determinar a partir del -- modelo de cuencas de Stanford (ref. 10) o con el método propuesto en el apéndice A del presente trabajo, que es tal vez -- menos aproximado pero más rápido y sencillo.

El modelo también toma en cuenta la acumulación de polvo o material fino en calles, caminos, techos y rocas que es lavado por la lluvia. Por conveniencia, se incluyen en este -- concepto las partículas que son salpicadas directamente a las corrientes. La cantidad horaria de sólidos producida por el lavado de superficies impermeables se calcula con la expresión

$$EIM \cdot KIMP \cdot RER$$

(2.3)

donde:

EIM = cantidad horaria de sedimentos producida en superficies impermeables (tons.).

$KIMP$ = constante que representa la relación de superficies impermeables que contribuyen a este proceso al área total de la cuenca.

El valor de $KIMP$ en la ecuación anterior es normalmente una pequeña fracción del área total de la cuenca, y sus efectos en el arrastre de lavado (inciso 2.1.3.1) son pequeños.

La cantidad total de partículas finas que se transportan a las corrientes por el escurrimiento superficial en la hora t , $WLA(t)$, es entonces:

$$WLA(t) = RER + SER + EIM \quad (2.4)$$

donde:

$RER+SER$ = cantidad de finos producida por flujo superficial.

EIM = cantidad de finos proveniente de áreas impermeables.

La forma en que se transporta $WLA(t)$ una vez que ha llegado a las corrientes se discutirá en el inciso 2.1.3.1.

2.1.2 Erosión de canales

En las partes más escarpadas de la cuenca, donde la cubierta vegetal es escasa o no existe, en áreas de material no cohesivo, y con frecuencia bajo condiciones severas de escurrimiento, las fuerzas erosivas de las incipientes concentraciones de flujo superficial son mayores que la resistencia al arrastre del suelo, y entonces aparece la erosión de canales. Esta erosión tiende a ser mayor en las partes donde las pendientes y la facilidad del suelo a erosionarse son mayores, y donde la topografía permite mayores concentraciones de flujo. Se forman de esta manera regueros que tienden a aumentar de tamaño hasta convertirse en cárcavas. Los factores topográficos y geográficos antes citados se representan en el modelo por medio de un parámetro llamado KGER. Así, la cantidad horaria de material transportado a las corrientes principales proveniente de regueros y cárcavas se calcula como

$$GER = KGER \cdot OVQ (t)^{JGER} \quad (2.5)$$

donde:

GER = cantidad horaria de sedimento proveniente de regueros y cárcavas.

JGER = exponente cuyo valor varía entre 1.5 y 2.5 --- (ref. 3).

Las componentes del arrastre total producidas directamente en las corrientes principales serán analizadas en el párrafo 2.1.3.2, por estar relacionadas con el proceso de escurrimientos.

2.1.3 Proceso de transporte de los sedimentos

Se han distinguido (ref. 3, 12) dos formas básicas de arrastre de sedimentos en las corrientes: el arrastre en el fondo y el arrastre en suspensión. El primero consiste en que el material relativamente grueso se mueve rodando, deslizando o saltando a lo largo del fondo de la corriente, y el segundo en que las fuerzas producidas por la turbulencia del flujo obligan a las partículas relativamente finas a permanecer en el seno del líquido, evitando que se sedimenten. El material en suspensión se distribuye más o menos uniformemente en cualquier sección transversal del río, cosa que no sucede con el de fondo. Se ha observado sin embargo (ref. 11), que no existe una frontera bien definida entre ambos tipos de arrastre, pues la porción más gruesa del material en suspensión tiene algunas características de material de arrastre en el fondo en lo que a tamaño y relación con el gasto líquido se refiere, lo que no ocurre con la porción fina. En efecto, las partículas más gruesas que cierto límite (que varía de acuerdo con algunas características de la cuenca y-

de la corriente*, ver ref. 11) se mueven en el río en cantidades que varían en función del gasto líquido, mientras que las finas no tienen relación con él en lo que a cantidad se refiere, pues dicha cantidad depende más bien de otros parámetros, como la intensidad de la lluvia, escurrimiento superficial, tipo de cubierta vegetal y métodos de barbechado, -- por ejemplo; en lo que las partículas finas ($WLA(t)$, inciso-2.1.3.1) sí tienen relación con el gasto líquido (y más que con el gasto, con las velocidades) es en lo que se refiere a tiempos de llegada o de concentración (fig. 3.13). Por todo lo anterior, Einstein y otros (ref. 11) propusieron la adopción de las siguientes definiciones:

- a) Arrastre de material de fondo es aquella parte del ---- arrastre total, compuesta de partículas mayores que --- cierto límite, moviéndose ya sea en suspensión o en el fondo, pero que existan en el fondo del canal en cantidades significativas y cuyo monto pueda ser definido en términos del gasto líquido.
- b) Arrastre de lavado es aquella parte del arrastre total, compuesta de las partículas más finas que el límite mencionado, que no se encuentra en cantidades significativas en el fondo del canal, que se mueve en suspensión -

* De no tener datos precisos, tal límite puede tomarse como 0.062 mm.

prácticamente continua y cuya cantidad no tiene relación con el gasto líquido sino más bien con las características climatológicas, hidrológicas y geográficas de la cuenca.

Básicamente, la concepción de las dos definiciones anteriores se deriva del hecho de que una partícula puede fácilmente estar siendo transportada en suspensión y seguir siendo considerada como material de fondo, pero no a la inversa. En adelante, se considerará que el material de lavado ($WLA(t)$, ec. 2.4) recorre totalmente el sistema de drenaje de la cuenca en un sólo evento de escurrimiento, mientras que el de fondo solamente puede moverse una distancia relativamente corta en dicho evento.

El modelo adopta los conceptos de arrastre de material de fondo y arrastre de lavado arriba discutidos, e introduce además una nueva componente del arrastre total: el "interload", que tiene características comunes al arrastre de lavado y al de material de fondo; se aproxima al arrastre de lavado en lo que a clasificación de tamaño se refiere, pero la forma en que se transporta en el río como función del gasto líquido se asemeja a la del arrastre de fondo. A esta clasificación pertenecen las partículas sustancialmente más finas que el 95% del material que forma parte del cauce, en peso. La suma de las tres componentes (lavado, material de fondo e interload) constituye el arrastre total del material que se

produce en la cuenca. La figura 2.1 muestra el proceso de erosión y sedimentación como es concebido por el modelo.

2.1.3.1 Arrastre de lavado

Una vez que $WLA(t)$ (carga de lavado, ec. 2.4) entra en una corriente, se mantiene en suspensión constante y se transporta a la velocidad media del agua; por tanto, puede calcularse un "sedimentograma" de $WLA(t)$ al final del sistema de drenaje de la cuenca con técnicas de tránsito similares a las que se usan para hidrogramas. El modelo adopta el método tiempo-área de Clark (ref. 13) para transformar las cantidades horarias de $WLA(t)$ producidas en toda la superficie de la cuenca en un sedimentograma a la salida del sistema, transitando dichas cantidades por las corrientes mediante el método de Muskingum (ref. 13). El método de Clark consiste en dividir a la cuenca en diferentes zonas con líneas que representan igual tiempo de salida (isócronas). Con esto se construye un "diagrama tiempo-área" o "histograma de traslación", dibujando el valor del área entre isócronas contra el tiempo. Este diagrama se convierte entonces en un "histograma unitario de traslación", asignando al área total de la cuenca el valor de la unidad (ver apéndice B). Las ordenadas horarias del histograma unitario de traslación se llamarán, en adelante, "elementos de traslación". Cuando se construye el diagrama tiempo-área, se supone que todas las

partes de la cuenca tienen la misma contribución de carga de lavado. En caso contrario, las ordenadas del diagrama pueden cambiarse como sea apropiado. En el apéndice B se presenta una descripción más completa del método.

2.1.3.2 Interload y material de fondo

La composición granulométrica de GER (ec. 2.5) puede variar ampliamente, y su modo de transporte por las corrientes puede ser tanto en suspensión como en el fondo. GER se identifica por su semejanza con el material que forma el cauce de las corrientes en lo que se refiere a su granulometría. La porción de GER similar al interload se denota como $DIMIN(t)$, y la semejante al material de fondo como $DBMIN(t)$. Las proporciones correspondientes se calculan como sigue:

$$DIMIN(t) = KFG \cdot \int_{dLa} GER \quad [2.6]$$

$$DBMIN(t) = (1 - KFG) \cdot \int_{dLa} GER \quad [2.7]$$

donde $0 < KFG < 1$

De acuerdo con las definiciones de interload y de material de fondo, tanto $DIMIN(t)$ como $DBMIN(t)$ pueden ser arrastrados por la corriente en suspensión y/o en el fondo. En el caso de $DIMIN(t)$, la cantidad de interload depositada o -

que forma parte del fondo de las corrientes del sistema es pequeña; por lo tanto, un exceso en el número de partículas que se depositen provoca un incremento en el almacenamiento de ellas y con ello un incremento en la cantidad de partículas susceptibles a ser arrastradas desde el fondo. Bajo -- condiciones de equilibrio, cuando el depósito y el arrastre de fondo están balanceados, la cantidad de $DBMIN(t)$ en suspensión está en función de la que permanece en el fondo. -- Por el contrario, en el caso de $DBMIN(t)$, en vista de que -- su cantidad en el fondo se supone muy grande, no es afectado por excesos en depósito o en arrastre, y la cantidad en movimiento es independiente de la almacenada.

Los factores que afectan al equilibrio de las cantidades de material en suspensión, comunes a interload y material de fondo, son la capacidad de arrastre del flujo y las velocidades de caída de las partículas. El primero se considera en el modelo como una simple función exponencial del gasto medio (ver subcapítulo 2.2), mientras que el segundo se toma en cuenta por medio de los parámetros KIL y KBL de las siguientes dos expresiones:

$$DIL(t) = KIL \cdot SIM(t) \cdot DRQ(t)^{JIL} \quad (2.8)$$

donde

$DIL(t)$ = cantidad diaria de interload suspendido (tons)

K_{TL} = coeficiente que varía principalmente con la --
temperatura del agua.

$SIM(t)$ = cantidad de interload almacenada al principio-
del día t (residuo de interload) (tons).

$DRQ(t)$ = flujo total diario durante el día t (ft^3/seg , -
ver subcapítulo 3.1 para unidades).

J_{IL} = exponente.

$$y \quad DBL(t) = K_{BL} \cdot DRQ(t)^{J_{BL}} \quad (2.9)$$

donde

$DBL(t)$ = cantidad diaria de material de fondo suspendi-
do (tons).

K_{BL} = coeficiente que varía principalmente con la ---
temperatura del agua.

J_{BL} = exponente.

K_{BL} variará menos que K_{TL} con la temperatura del agua, -
pues el primero se asocia con partículas más gruesas.

Para resolver la ec. 2.8, $SIM(t)$ debe conocerse de ante
mano. Despreciando la cantidad de interload que se transpor-
ta en la corriente como arrastre de fondo, $DIL(t)$ puede ex--
presarse como:

$$DIL(t) = SIM(t-1) - SIM(t) + DIMIN(t) \quad (2.10)$$

Sustituyendo la ec. 2.10 en la ec. 2.8:

$$SIM(t) = \frac{SIM(t-1) + DIMIN(t)}{1 + KIL \cdot DRQ(t)}^{JIL} \quad (2.11)$$

Conocidos $SIM(0)$ y KIL , con la ec. 2.6 y con registros diarios de escurrimiento, puede calcularse la cantidad diaria de interload que sale del sistema, $DIL(t)$. Si $SIM(0)$ no se conoce, debe suponerse. La forma de determinar KIL se discutirá en el subcapítulo 3.2.

De la misma manera, despreciando la parte de material de fondo que se transporta como arrastre en el fondo, la fluctuación en el almacenamiento del material de fondo en la corriente puede encontrarse con la expresión

$$BWRES(t) = BWRES(t-1) + DBMIN(t) - DBL(t) \quad (2.12)$$

$BWRES(0)$ puede suponerse arbitrariamente en una primera aproximación.

2.2 Limitaciones del modelo

2.2.1 Limitaciones en cuanto a características de la cuenca

Para la selección de cuencas apropiadas para la operación del modelo deben observarse, además de lo relativo a la existencia de datos (parágrafo 2.2.2) las siguientes restricciones:

a) Tamaño de la cuenca.

La superficie de la cuenca debe ser menor a unos 1200 - Km². Esta restricción puede evitarse subdividiendo a la --- cuenca mayor en subcuencas y estudiando cada una por separado, en el caso de que cada subcuenca cumpla con todos los requisitos para la operación del modelo, especialmente en lo - que se refiere a datos (parágrafo 2.2.2).

b) Alteraciones humanas.

La cuenca debe estar libre de alteraciones importantes- hechas por la mano del hombre en lo que toca a su sistema na tural de escurrimientos, como presas con capacidad de regula ción no despreciable, sistemas de riego con alguna importan- cia o grandes áreas urbanas. Asimismo, la cuenca debe refle jar condiciones naturales de suelo y cobertura vegetal, al - menos en su mayor parte.

c) La cuenca debe contar con una corriente principal de tipo perenne y un tiempo de vaciado no despreciable. La primera restricción se debe a que, si la corriente es efímera, -- una gran cantidad de carga de lavado se deposita en el lecho del río cuando el flujo en éste se reduce o bien desaparece totalmente a causa de la infiltración. La segunda restricción proviene del hecho de que, si la cuenca tiene tiempos de vaciado despreciable, es muy difícil encontrar una relación definida entre material de fondo y gasto líquido, relación que será necesaria para la determinación de algunos parámetros (parágrafo 3.2.1).

2.2.2 Limitaciones en cuanto a disponibilidad y confiabilidad de datos.

Definitivamente, la limitación más seria que tiene el modelo es la referente a los datos, no sólo por su escasez, -- sino también por su poca confiabilidad. Como puede deducirse de lo expuesto anteriormente en el presente capítulo y como se verá más claramente en el capítulo 3, son necesarios tres grupos básicos de datos para la operación del modelo: -- precipitación, escurrimientos totales y sólidos. A continuación se explican las limitaciones que la calidad de estos datos introducen al modelo.

2.2.2.1 Precipitación

La mayor parte de los estudios referentes a cuencas son de tipo hidrológico, y casi todos los estudios hidrológicos adoptan como parámetro de entrada a la precipitación, ya que puede concebirse como la primera fase del ciclo hidrológico. Debido a ello, la precipitación juega un papel sumamente importante en una gran cantidad de estudios científicos y tecnológicos, y de la precisión lograda en su determinación dependerá en mucho el éxito en tales estudios. Por eso es fundamental el hecho de poder determinar con mucha exactitud -- una lámina de precipitación que represente fielmente las condiciones medias de un evento de lluvia cualquiera. Así, los métodos más utilizados para la determinación de la precipitación promedio (método de los polígonos de Thiessen y método de las isoyetas) adolecen del grave defecto de no considerar los factores topográficos cuando se usan indiscriminadamente.

En el modelo (ec. 2.1) se utilizan datos horarios de -- precipitación media, para lo cual es necesario que exista al menos una estación pluviográfica dentro de la cuenca y dos o más estaciones pluviométricas convenientemente distribuidas en la misma. El programa de cómputo del modelo (cap. 3 y -- apéndice C) contiene un ciclo de ajuste de lluvia media que proporciona tres opciones para la determinación de la misma:

a) Una parte del programa modificable para cada caso especial de distribución de precipitación. Esta parte se usa --- cuando se cuenta con toda la información arriba descrita (al menos una estación pluviográfica y dos o más pluviográficas), además de una forma de valuar la distribución de la precipitación en la cuenca.

b) Calculando la lluvia media por el método de los polígonos de Thiessen. Se usa cuando la topografía no afecta significativamente a la distribución de precipitación.

c) Por medio de una sola estación pluviográfica. Esta se usa cuando no existe ninguna otra estación, ni siquiera pluviométrica, asignando simplemente un coeficiente de peso a la lámina medida en la estación.

Un aspecto que remarca la importancia de contar con datos precisos de precipitación horaria es el de que se ideó un método para el cálculo del flujo superficial (apéndice A) dentro del programa, para evitar tenerlo como dato de entrada, como lo propone el modelo original (ref. 3). Dicho método toma como dato básico a la lluvia, y el flujo superficial resultante es el que se usa en las ecs. 2.2 y 2.5.

2.2.2.2 Ecurrimientos totales

Los gastos medios diarios medidos que se utilizan en las ecs. 2.8 y 2.9 no representan una limitación grave cuando la estación hidrométrica de la cuenca está dotada de un limnógrafo y una sección de la corriente cuya curva elevaciones-gastos esté bien definida. Por otra parte, el modelo se mejoraría notablemente si dentro del mismo se incluyera un método para valuar los gastos mencionados, ya que esto requeriría menor cantidad de información (cap. 4). La determinación de este método podría conformar un trabajo similar al presente, -- por lo que no se intentó hacerlo, para no caer en complicaciones que van más allá de el objetivo de este trabajo.

2.2.2.3 Sólidos totales

De los tres grupos básicos de datos bajo análisis en este parágrafo, es éste el que presenta más problemas en cuanto a existencia y confiabilidad (subcapítulo 1.2). El modelo, -- tal como se describe en este trabajo, está diseñado para representar matemáticamente un fenómeno que ya se ha registrado, es decir, para simular sólo el sedimento medido, de tal manera que si los datos son erróneos, los resultados del modelo lo serán en mayor medida, si se toman en cuenta las deficiencias inherentes al modelo en sí mismo (cap. 4). Cabe comentar que esta limitación no es exclusiva de este modelo, --

pues en cualquier estudio que se realice debe contarse con un marco de referencia, el cual usualmente está constituido por las mediciones. En el capítulo 4 se darán algunas ideas que pueden ulteriormente hacer que el modelo se mejore en este aspecto.

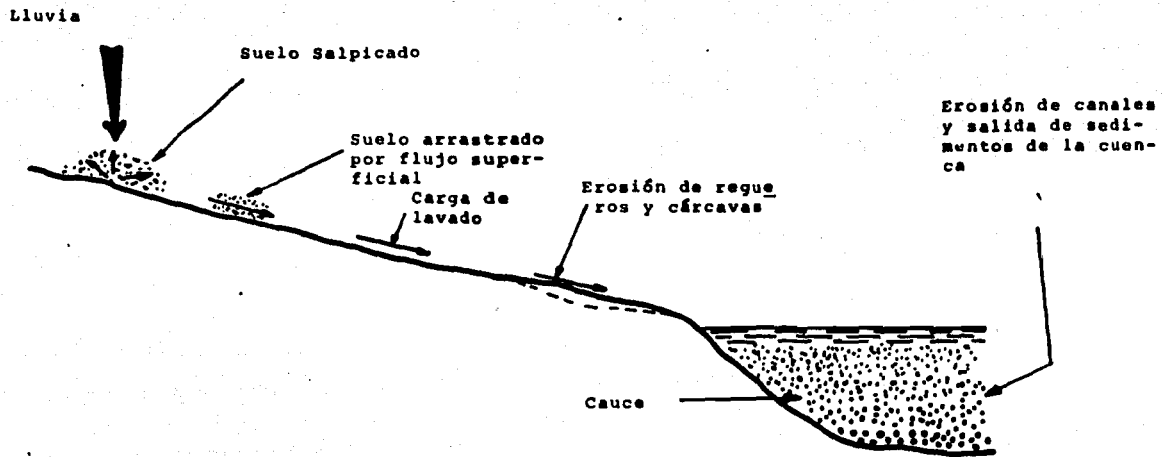


Fig. 2.1 Proceso de producción de sedimentos

3. PROGRAMA DE COMPUTO. APLICACION DEL MODELO

3.1 Descripción del programa

El programa para operar el modelo está escrito en FORTRAN y ha sido hecho para una computadora Burroughs 6700. - Tanto la lectura de datos como los resultados son en sistema decimal, aunque internamente trabaja con sistema inglés. Consta de un ciclo anual principal, un ciclo mensual de erosión superficial, un ciclo mensual de corrientes y los ciclos diarios y horarios asociados a ellos (fig. 3.1). En el apéndice C se presenta un listado del programa. El ciclo mensual de erosión superficial se compone de dos partes principales:

1) Ciclo de ajuste de la lluvia.

En este ciclo se leen los datos de altura de lámina - llovida por hora registrados en una estación pluviográfica y por día en tantas estaciones pluviométricas como se de-- see utilizar para el ajuste de la lámina media. Este ajuste se hace en una parte del programa que debe modificarse-- para cada caso especial de distribución de precipitación,-- de acuerdo con las condiciones topográficas de la cuenca y con la distribución de las estaciones en la misma.

Si se desea, esta forma de calcular la lluvia media - puede cambiarse por la simple asignación de un coeficiente de peso relativo a cada estación, así se trate de una plu-- viográfica solamente. Finalmente, se calculan Índices de Precipitación Antecedente (API) e Índices de Infiltración-- (FI) que se utilizan en el ciclo de erosión superficial pa-- ra el cálculo del flujo superficial (Apéndice A).

2) Ciclo de erosión superficial.

Con los datos obtenidos del ciclo anterior (precipita-- ción media horaria, API y FI) se procede a calcular el flu-- jo superficial ($OVQ(t)$) y con esto, se calculan los apor-- tes de sedimentos que tienen como origen a la erosión su-- perficial (ecs. 2.1, 2.2 y 2.3) para obtener la carga de - lavado ($WLA(t)$, ec. 2.4). Luego se transita esta carga de

lavado (Apéndice B) y se obtienen cantidades diarias y mensuales.

El ciclo mensual de corrientes contiene un ciclo diario anidado en el que se calcula la producción de material de fondo ($DBL(t)$), así como el interload ($DIL(t)$). En la figura 3.2 aparece un diagrama de flujo del programa.

3.1.1 Ingresos

Los datos necesarios para la operación del programa son los siguientes:

- 1) Un grupo de constantes propias de la cuenca que representan la calibración del modelo (subcapítulo 3.2). - Este grupo de constantes son leídas antes del inicio del ciclo anual principal.
- 2) Gasto medio diario.
- 3) Precipitación diaria medida en tantas estaciones como se desee utilizar en el cálculo de la lámina de lluvia media.
- 4) Precipitación horaria en la estación pluviográfica.

TABLA 3.1 DATOS DE INGRESO

| Nombre de la variable* | Tipo I--entera F--flotante | Observaciones |
|------------------------|----------------------------------|---|
| NDH()** | I | Número de días de cada año comenzando por junio |
| YRS | I | Número de años a correr |
| MOS() | I | Número de meses por año |
| AREA | F | Area de la cuenca (Km ²) |
| NAC | I | Número de elementos en el histograma de traslación (Apéndice B) |
| C2 | F | Constante de tránsito en la ecuación de Muskingum (Apéndice B) |
| AC() | F | Valores de los elementos en el histograma de traslación (Apéndice B) |
| ACR1 | F | Ordenada al origen inferior |
| BCR | F | Pendiente |
| ACR2 | F | Ordenada al origen superior |
| | | } constantes obtenidas de una gráfica sedimento-escurrimiento (sub-cap.3.2) |
| SIM() | F | Cantidad inicial de interload almacenado en la corriente, en tons (ec. 2.8, 2.10 y 2.11). |

* Cada apartado representa una tarjeta en el orden de lectura.

** Si la variable está seguida de un paréntesis, significa que es un arreglo.

| Nombre de la variable | Tipo I-entera F-flotante | Observaciones |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| KGER | F | Constante de erosión de regueros y cárcavas (ec. 2.5) |
| JGER | F | Exponente de erosión de regueros y cárcavas (ec. 2.5) |
| KRER | F | Constante de suelo salpicado (ec. 2.1) |
| JRER | F | Exponente de suelo salpicado (ec. 2.1) |
| KSER | F | Constante de suelo arrastrado por flujo superficial (ec. 2.2) |
| JSER | F | Exponente de suelo arrastrado por flujo superficial (ec. 2.2) |
| KIMP | F | Relación de superficies impermeables al área total de la cuenca (ec. 2.3) |
| SREZ | F | SRER(0), cantidad inicial de partículas finas desprendidas y acumuladas en el terreno, tons (ec. 2.2) |
| NAPIFI | I | Número de rectas en la gráfica $API-FI + 1$ (Apéndice A) |
| FIL | F | Valor de FI para la última recta (Apéndice A) |
| PAPI () | F | Valores de API en la gráfica (Apéndice A) |
| PFI () | F | Valores correspondientes de FI (Apéndice A) |

A PARTIR DE

ESTA PAGINA

**FALLA
DE
ORIGEN**

| Nombre de la variable | Tipo I-entera F-flotante | Observaciones |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| VVI | I | Año que está corriendo |
| DRQ() | F | Gasto medio diario en m ³ /seg (una tarjeta por semana) (ecs. 2.8, 2.9 y 2.11) |
| STT | I | Número de identificación de estación con pluviógrafo (estación base) |
| VR | I | Año que está corriendo |
| MO(?) | I | Mes que está corriendo |
| MSG | F | Coficiente de peso relativo que se asigna a la estación base. |
| DPP() | F | Precipitación diaria en el mes MO (?) en la estación base (3 tarjetas) en mm. |
| NEST | I | Número de estaciones que se consideran en el cálculo de la lluvia <u>me</u> día. |
| IEST | I | Número de identificación de la estación. |
| PPD() | F | Precipitación diaria en la estación IEST(3 tarjetas) en mm |
| ST | I | Número de identificación de la estación base. |
| VR | I | Año que corre |
| MO[2] | I | Mes que corre |

| Nombre de la variable | Tipo I-entera F-flotante | Observaciones |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| DAY | I | Día que corre |
| CN | I | Parte del día (1 ó 2) |
| HPP() | F | Precipitación horaria (12 por tarjeta), en mm |

En la tabla 3.1 se presentan todos los datos que requiere el programa. En el apéndice D se presenta un formato de datos tal como entran a la computadora.

3.2 Calibración del modelo

Para la calibración del modelo es necesario valuar 16 constantes* que se dividen en 4 grupos de acuerdo a la fuente de que se obtengan:

1. De datos históricos
2. De características de la cuenca
3. Por procedimientos de prueba y error, con valores bien acotados
4. Por procedimientos de prueba y error, con valores no acotados.

En los siguientes 4 párrafos se discute con el mayor detalle posible la forma de valuación de cada constante.

* Las referentes al cálculo del flujo superficial se consideran aparte, en el apéndice A.

3.2.1 Constantes que se obtienen por medio de datos históricos.

a) ACRJ y SCR.

Estas dos constantes pueden ser determinadas mediante el trazo de una gráfica bilogarítmica de gasto medio diario registrado (DRQ, en m^3/seg) contra carga de sólidos diaria medida (DRI, en tons) (fig. 3.3). Esta gráfica debe ser construída de manera que esté basada en suficientes puntos para poder encontrar una relación bien definida. - La posición exacta de la línea puede determinarse tomando en cuenta las siguientes consideraciones: Si inicialmente se desprecian el interload y las variaciones de KSL (constante de material de fondo en suspensión), entonces, de acuerdo con la ec. 2.9, una línea recta en la gráfica representará la carga de sólidos proveniente del fondo del río y las desviaciones a la derecha representarán carga de lavado. Por otra parte, de acuerdo con el parágrafo 2.1.3, la carga de lavado recorre todo el sistema de drenaje de la cuenca en un sólo evento de escurrimiento; por tanto -- (fig. 3.13), conocida la hora del día en que se hacen las mediciones de sedimentos, pueden seleccionarse algunos puntos al final de las curvas de vaciado de otros tantos hidrogramas aislados, de los que puede decirse que están compuestos principalmente de material de fondo y que la carga de lavado que incluyen es despreciable. Estos puntos, lle

vados a una gráfica como la de la figura 3.3, definirán la línea recta arriba mencionada. La pendiente de esta línea es el valor de SCR y su ordenada al origen el de ACR! (tabla 3.1). Estas dos constantes, junto con algunas otras - pertenecientes al grupo 4, son utilizadas posteriormente - en el cálculo de los coeficientes y exponentes de las ecs. 2.8, 2.9 y 2.11 (parágrafo 3.2.4).

b) Constantes para el cálculo del flujo superficial.

En vista de que el cálculo del flujo superficial constituye un tema relativamente fuera del enfoque de este capítulo, se describe un método para dicho cálculo en el --- apéndice A, el cual puede consultarse para conocer la manera de determinar las constantes de que hace uso.

3.2.2 Constantes que se obtienen de las características - de la cuenca

Este grupo de constantes es obviamente el más sencillo de valuar, e incluye:

a) AREA

Es, simplemente, el área de la cuenca en Km^2 .

b) NAC , $C2$ y AC ().

Representan respectivamente los valores del número de elementos en el histograma de traslación, la constante de tránsito en la ecuación de Muskingum y los valores de los elementos del mencionado histograma de traslación. Con la finalidad de dar mayor objetividad y continuidad al presente trabajo, se ha puesto por separado el método utilizado para el tránsito de la carga de lavado, en el apéndice B, donde se explica con detalle la forma de obtener estas --- constantes.

c) $KIMP$

$KIMP$ es la relación que guardan las superficies impermeables al área total de la cuenca (ec. 2.3). La precisión de su valor no es significativa, pues el aporte de sedimentos provenientes de esta fuente es sumamente pequeño, por lo que basta una estimación gruesa de la extensión de las superficies impermeables. Usualmente, $KIMP$ no sobrepasa el valor de 0.02.

3.2.3 Constantes que se validan por procedimientos de prueba y error, pero que tienen valores bien acotados.

Aquí se agrupan aquellas constantes cuyo valor es muy cercano a cierto número, y cuya exacta determinación sirve

más bien para refinar los resultados. Estas constantes y sus valores aproximados son las siguientes:

| Constante | Ecuación en que se usa | Valor aproximado |
|-----------|------------------------|------------------|
| JGER | 2.5 | 1.5 a 2.5 |
| JRER | 2.1 | 3.0 |
| JSER | 2.2 | 2.5 |

3.2.4 Constantes que se determinan por procedimientos de prueba y error.

Dentro del formato de resultados del programa (apéndice E) se incluye un resumen mensual que proporciona las -- cantidades de material producidas de acuerdo a su tipo y a su origen; éste resumen es de gran utilidad para la valoración de las constantes pertenecientes al presente grupo.

En general, unas cuantas tormentas (las más intensas y de mayor duración) producen la mayor cantidad de sedimento en un mes, por lo que es conveniente comenzar la calibración del modelo analizando las dos o tres tormentas con mayor duración o intensidad de cada mes. Un dato especial mente útil es la hora del día en que se realiza la medición de sedimentos; si aquella coincide con el pico del hi

drograma o está cercana a él, la cantidad de carga de lavado en la muestra de concentración será muy significativa, - en tanto que si la medición se hace cuando la curva de vaciado está avanzada, o bien fuera del hidrograma, la carga de material de fondo pasa a ser más importante (fig. 3.13); debe tenerse en mente, sin embargo, que esta consideración mucho depende de las características particulares de la vegetación, geología y, sobre todo, topografía de la cuenca, - pues si se trata de una zona montañosa, el arrastre de fondo es preponderante, mientras que si la zona bajo estudio es de planicie, el material de lavado cobra mayor significación.

Con las consideraciones anteriores es posible formarse una idea gruesa de los valores relativos de KRER y KSER --- (erosión laminar, ecs. 2.1 y 2.2) con respecto a KGER (erosión de regueros y cárcavas, ec. 2.5) mediante algunas corridas de prueba; los valores de 5000, 50 y 1000 respectivamente son convenientes para iniciar la calibración en condiciones medias, aunque su variación puede ser relativamente grande.

Aceptando que los valores definitivos de KRER, KSER y KGER girarán en torno a los obtenidos en la primera aproximación arriba descrita, puede pasarse a una segunda fase en la calibración, que consiste en comparar la aportación a la

carga de lavado del suelo salpicado con la correspondiente al levantado (ecs. 2.1 y 2.2). En general, el más significativo es el suelo salpicado. $KSER$ (constante de suelo levantado, ec. 2.2) puede afectar en gran medida a la cantidad de carga de lavado cuando $SRER (t-1)$ (residuo de salpicamiento, ec. 2.2) es grande. Esto sucede cuando ha transcurrido un período relativamente largo en que la saturación del suelo por efecto de la lluvia no ha dado lugar al flujo superficial. De la misma manera, si $BWRES (t)$ (residuo de material de fondo, ec. 2.12) resulta muy pequeño, será necesario incrementar $KGER$ (ec. 2.5), y viceversa.

Se mencionó ya (parágrafo 2.1.3) que el modelo introduce una nueva componente del arrastre total, llamada interload, que es similar a la carga de lavado en cuanto a su clasificación granulométrica, pero que se transporta en el río en función del gasto líquido. Por ello, la línea que se traza en la gráfica de gasto líquido contra carga de sólidos (parágrafo 3.2.1) representa la suma de material de fondo e interload (fig. 3.4). La parte del interload proveniente de regueros y cárcavas se simula mediante la ec. 2.6, y la producida en los canales propiamente dichos por medio de la ec. 2.8, mientras que el material de fondo se representa con las ecs. 2.7 y 2.9, la primera para regueros y cárcavas y la segunda para canales. En las ecuaciones mencionadas intervienen las constantes KFG , KIL y KBL que

se calculan internamente en el programa. Su forma de valuación se basa en el siguiente criterio (ver fig. 3.4):

1. Se supone que el residuo de interload, $SIM(t)$, fluctúa en torno a un valor medio, $SIM(\bar{t})$.

2. Entonces, de la ec. 2.8:

$$DIL(\bar{t}) = KIL \cdot SIM(\bar{t}) \cdot DRQ(t)^{JIL} \quad (3.1)$$

3. De la ec. 2.9, aplicando logaritmos

$$\log DIL(t) = \log KBL + JBL \log DRQ(t);$$

$$\log DRQ(t) = \frac{1}{JBL} \log DIL(t) - \frac{1}{JBL} \log KBL;$$

y de la fig. 3.4:

$$JBL = \frac{1}{BCR} \quad (3.2a)$$

Aplicando antilogaritmos y reorganizando términos:

$$KBL = 10^{(-JBL \cdot ACR2)} = 10^{(-ACR2)JBL};$$

por tanto,

$$KBL = \left(\frac{1}{10^{ACR2}} \right)^{JBL} \quad (3.3)$$

De manera semejante

$$JIL = \frac{1}{BCR} \quad (3.2b)$$

Con referencia a la misma figura

$$\text{Log DRQ } (t) = BCR \text{ Log } [DIL (\bar{X}) + DBL (t)] + ACR1$$

$$\text{Log } [DIL (\bar{X}) + DBL (t)] = \frac{1}{BCR} \text{ Log DRQ } (t) - \frac{1}{BCR} \text{ ACR1}$$

Usando las ecs. 3.2a y 3.2b y aplicando antilogaritmos:

$$DIL (\bar{X}) + DBL (t) = DRQ (t)^{JBL} (10^{(-ACR1)})^{JBL}$$

$$DIL (\bar{X}) + DBL (t) = \left(\frac{1}{10^{ACR1}} \right)^{JBL} DRQ (t)^{JBL} \quad (3.4)$$

4. Por otro lado, de la ec. 3.1 y suponiendo que $SIM (\bar{X}) \neq SIM (0)$:

$$KIL \cdot DRQ (t)^{JIL} = \frac{1}{SIM(0)} \cdot DIL (\bar{X}) \quad (3.5)$$

De la ec. 3.4:

$$DIL(\bar{x}) = \left(\frac{1}{10^{ACR1}}\right)^{JBL} \cdot DRQ(t)^{JBL} - \left(\frac{1}{10^{ACR2}}\right)^{JBL} \cdot DRQ(t)^{JBL}$$

5. Finalmente, sustituyendo la ecuación anterior en la ec. 3.5 y usando las ecs. 3.2a y 3.2b:

$$KIL = \frac{1}{SIM(0)} \left[\left(\frac{1}{10^{ACR1}}\right)^{JBL} - \left(\frac{1}{10^{ACR2}}\right)^{JBL} \right] \quad (3.6)$$

En esta forma, con las ecs. 3.2, 3.3 y 3.6 es posible calcular JBL, JIL, KBL y KIL en el programa. De las ecs. 3.3 y 3.6 se ve que es necesario determinar las constantes SIM(0) y ACR2; esta determinación se hace mediante corridas de prueba. Para ello es conveniente buscar primero un valor de ACR2 que arroje resultados razonables de DBL(t) (material de fondo en suspensión, ec. 2.9) con relación a los obtenidos para WLA(t), para lo que puede ser extremadamente útil una curva granulométrica de algunas de las muestras tomadas en el río. De no tenerlas, como usualmente sucede, la comparación debe hacerse a juicio, tomando en cuenta las consideraciones hechas en el capítulo 2, referentes a la influencia que ejercen los factores topográficos, geológicos y geográficos en el tipo de sedimentos que produce la cuenca. Fijo ACR2, es más sencillo valuar SIM(0), comparando -

el interload resultante con las otras dos componentes.

6. En vista de que el proceso de erosión de regueros y --
cárcavas es fuente de producción tanto de material de fondo
como de interload, el coeficiente KFG de la ec. 2.6 debe es-
tar en proporción directa al cociente de las cantidades de
interload y material de fondo que salen del sistema de dre-
nage en un período determinado. Entonces

$$KFG = \frac{DIL (\pm)}{DBI (\pm)} = \frac{KIL \cdot SIM (0)}{KBI} \quad (3.7)$$

3.3 Aplicación del modelo. Cuenca del río Usila

El río Usila es afluente del río Santo Domingo, que a-
su vez descarga sus aguas al río Papaloapan (fig. 3.5). La
subcuenca considerada en este ejemplo es la asociada a la -
estación hidrométrica La Estrella (fig. 3.6), y el río Usi-
la drena hasta este punto un área de 472 Km².

La cuenca cuenta (fig. 3.6) con un sólo pluviógrafo, -
situado en la estación La Estrella, cuya información fue --
usada para valuar la distribución de la precipitación en el
tiempo, y con cuatro pluviómetros instalados en las estacio-
nes Usila, San Lucas, Teponaxtla y La Estrella, que sirvie-
ron para estimar las láminas medias de lluvia.

En vista de que la información en este sitio es satisfactoriamente completa, se hizo un estudio (ref. 14, 15) de distribución de precipitación en la cuenca, con el que se obtuvo el siguiente procedimiento para la estimación de la lluvia media diaria:

Sea U el promedio de las alturas de precipitación diaria total registradas en Usila y San Lucas, E la medida en la Estrella, T la observada en Teponaxtla y P la que se presenta en el parteaguas en el extremo superior de la cuenca, calculada con la ecuación (ref. 14, 15):

$$P = \text{máx} \begin{cases} 3U - 2E \\ T \end{cases}$$

la lluvia media diaria se calcula entonces con las expresiones (refs. 14, 15):

$$\bar{U} = 1/3 (E + T + U) \quad \text{si } U > E$$

$$\bar{U} = 1/2 (E + P) \quad \text{si } U < E$$

y la lluvia media horaria es, aceptando que se distribuye en el tiempo de la misma manera que en la estación La Estrella:

$$\bar{U}_k = \frac{\bar{U}}{E} E_k \quad (3.8)$$

donde E_h es la altura de precipitación registrada en el pluviógrafo de La Estrella en la hora h .

La lluvia media horaria calculada mediante la ec. 3.8 - fue la que se usó como NPP (\bar{x}) en la ec. 2.1.

El gasto medio diario medido en la estación La Estrella se obtuvo directamente de la ref. 16 y se aplicó a las ecs. 2.8, 2.9 y 2.11, en tanto que el flujo superficial, necesario para las ecs. 2.2 y 2.5, se calculó como se describe en el apéndice A.

Debido a las costumbres de medición, se consideró que los días empiezan a las ocho horas, en el manejo de todos los datos.

La gráfica bilogarítmica de gasto medio diario medido - contra carga total de sólidos diaria medida que se menciona en el párrafo 3.2.1 se presenta en la fig. 3.3. Los valores de ACR1 y SCR resultaron ser de 0.10 y 0.82, respectivamente, y los correspondientes a los demás parámetros aparecen en el apéndice E. Las corridas de prueba se manejaron en la forma descrita en el subcapítulo 3.2 ; las observaciones más importantes hechas durante dichas corridas fueron las siguientes:

a) Las variaciones de ACR2 son poco significativas desde el punto de vista de la cantidad total de sedimentos, ya que las disminuciones en las cantidades de material de fondo (D81) compensan aproximadamente a los aumentos en interload (D11) cuando ACR2 crece, y viceversa; por ello, el valor de este parámetro se usó para fijar, a juicio, las cantidades relativas de material de fondo e interload, estimando que dicho valor es de 0.25.

b) Las variaciones de KSER (ec. 2.2) afectan poco a la cantidad de material de lavado aún cuando sean relativamente grandes, pues solamente tienen ingerencia en los sedimentos producidos por el flujo superficial, mismo que es pequeño comparado con la lluvia, si la comparación se hace con base en lapsos grandes.

c) KRER (ec. 2.1) afecta tanto al material salpicado como al arrastrado por el flujo superficial, ya que éste parámetro en cierta forma determina la cantidad disponible de material que puede ser arrastrado; por tanto, sus variaciones son sumamente significativas tanto para la carga de lavado como para la carga total.

La simulación se hizo para los meses lluviosos (junio a octubre) de los años de 1967 y 1968.

En la simulación se buscó la mejor aproximación posible a los datos medidos diarios, haciendo un poco de lado a los mensuales, pues los reportes de mediciones consignan con frecuencia como "inapreciable" a la cantidad de material sólido diaria, lo que hace desconfiar de las sumas mensuales reportadas.

Las figs. 3.7, 3.8 y 3.9 presentan los resultados diarios obtenidos para otras tantas corridas de prueba, que fueron seleccionadas por su claridad. Como estas figuras no son lo suficientemente explícitas, se hizo un análisis de regresión para cada corrida, ajustando rectas por separado para 1967, 1968 y ambos, que se muestran en las figs. 3.10, 3.11 y 3.12. La fig. 3.14 muestra la comparación de resultados mensuales con las cantidades de sólidos medidas. En las figs. 3.7 a 3.12 puede observarse lo siguiente:

Corrida No. 1. (figs. 3.7 y 3.10)

Los resultados tienden a estar a la izquierda de la línea de ecuación $y = x$ (que representa resultados perfectos); sin embargo, la recta de regresión, de ecuación $y = 230.88 + 0.946 x$ se aproxima bastante a la $y = x$ y tiene un coeficiente de correlación de 0.754, aceptable para este tipo de ajustes.

Corrida No. 2. (figs: 3.8 y 3.11)

En esta corrida se aumentó KSER de 30.0 a 60.0 y KRER de 400.0 a 1000.0. Se nota de inmediato que los resultados acusan mayor dispersión y que los puntos con mayor carga de lavado (señalados en la fig. 3.8) se alejan considerablemente de la recta $y = x$. Las rectas de regresión correspondientes son muy similares entre sí, pero todas tienen pendientes bastantes inferiores a 1.0 y coeficientes de correlación sumamente bajos.

Corrida No. 3. (figs. 3.9 y 3.12)

Se asignó a KRER un valor de 600, intermedio a los que tenía en las dos primeras corridas, y se dejó el mismo valor de KSER que tenía en la corrida No. 2. Aquí se observa claramente la gran influencia que tiene KRER, pues los puntos tienen mucho menor dispersión que en la corrida No. 2 (fig. 3.9), y las rectas de regresión se aproximan bastante más a la de 45° , aunque los coeficientes de correlación son menores a los de la corrida No. 1, y las pendientes se alejan más de la unidad.

Por todo lo anterior, se seleccionó la corrida No. 1, como la que mejor se ajustaba a los datos disponibles, y las constantes usadas en ella se consideraron como las representativas de la cuenca. Una imagen completa de los re

ultados se presenta en el apéndice E.

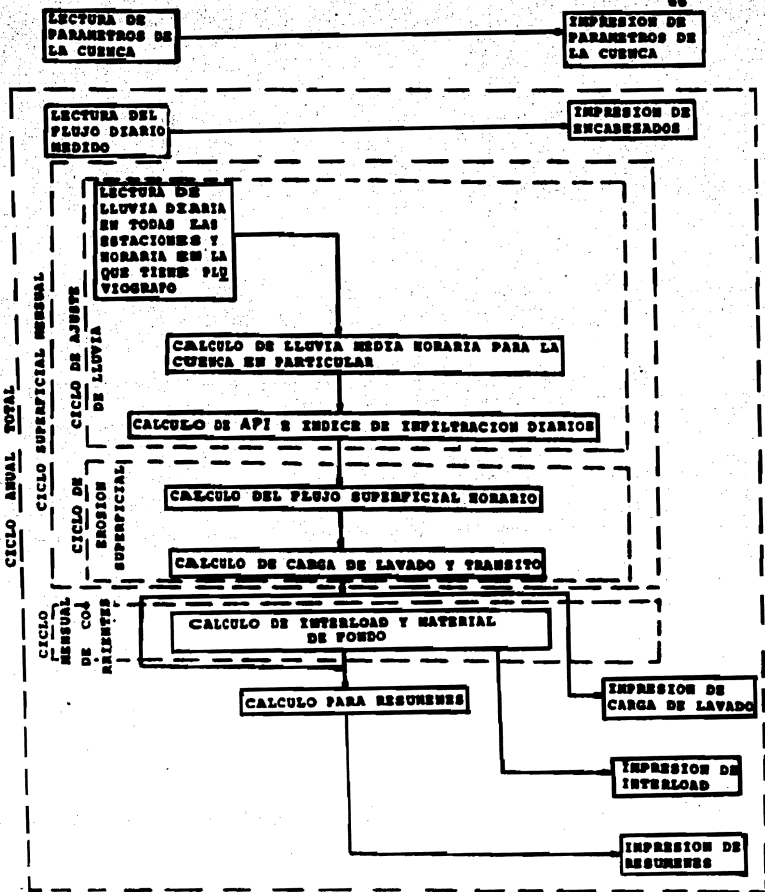


Fig. 3.1

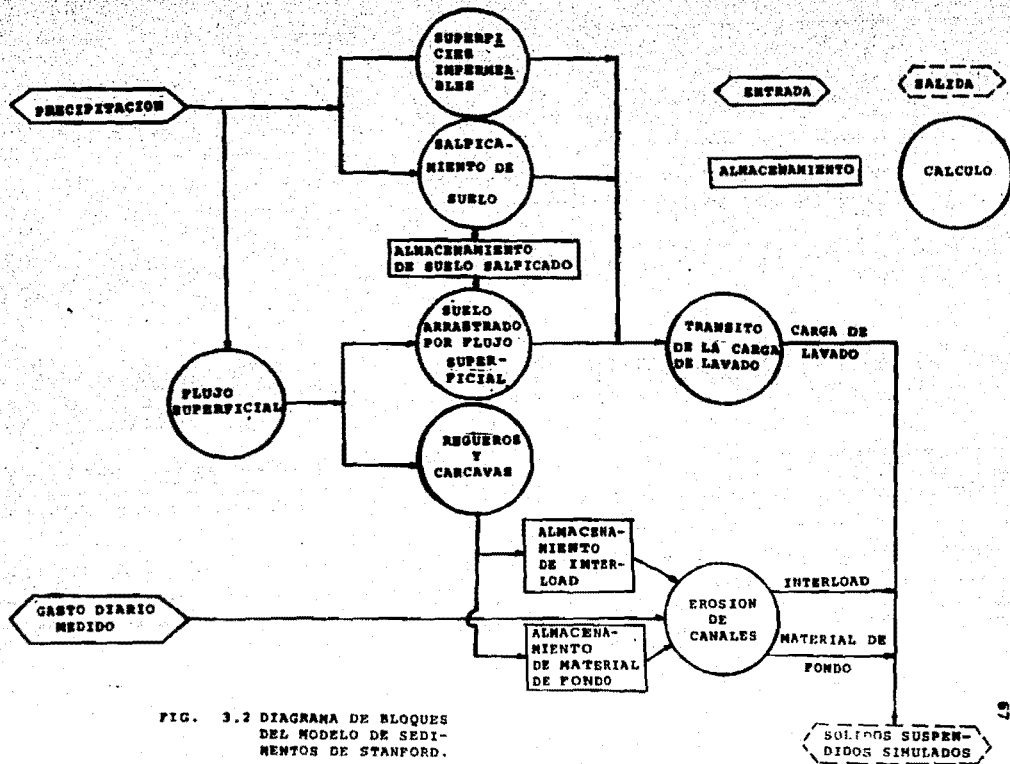


FIG. 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL MODELO DE SEDIMENTOS DE STANFORD.

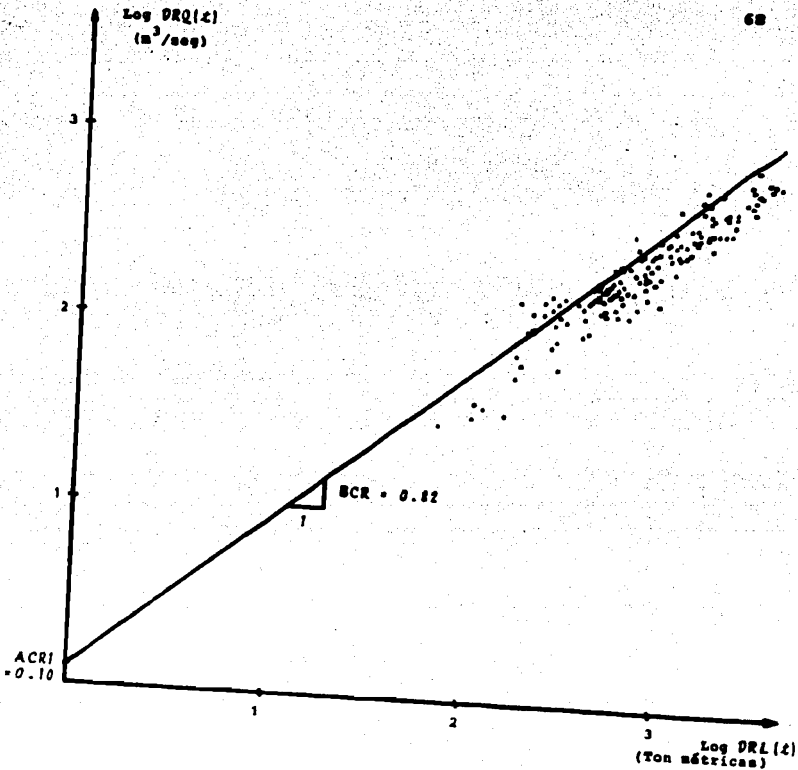


Fig. 3.3 Gráfica bilogarítmica de gasto medio diario registrado vs. carga de sólidos diaria medida, cuenca del Río Usila.

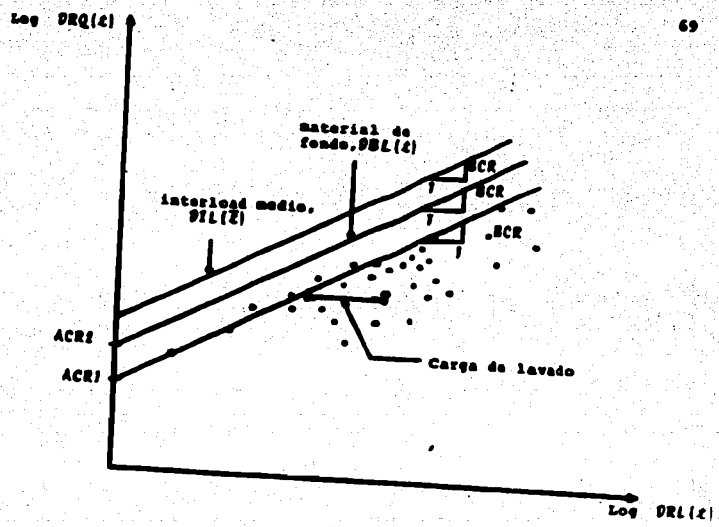


Fig. 3.4 Relación entre interload, material de fondo y carga de lavado.

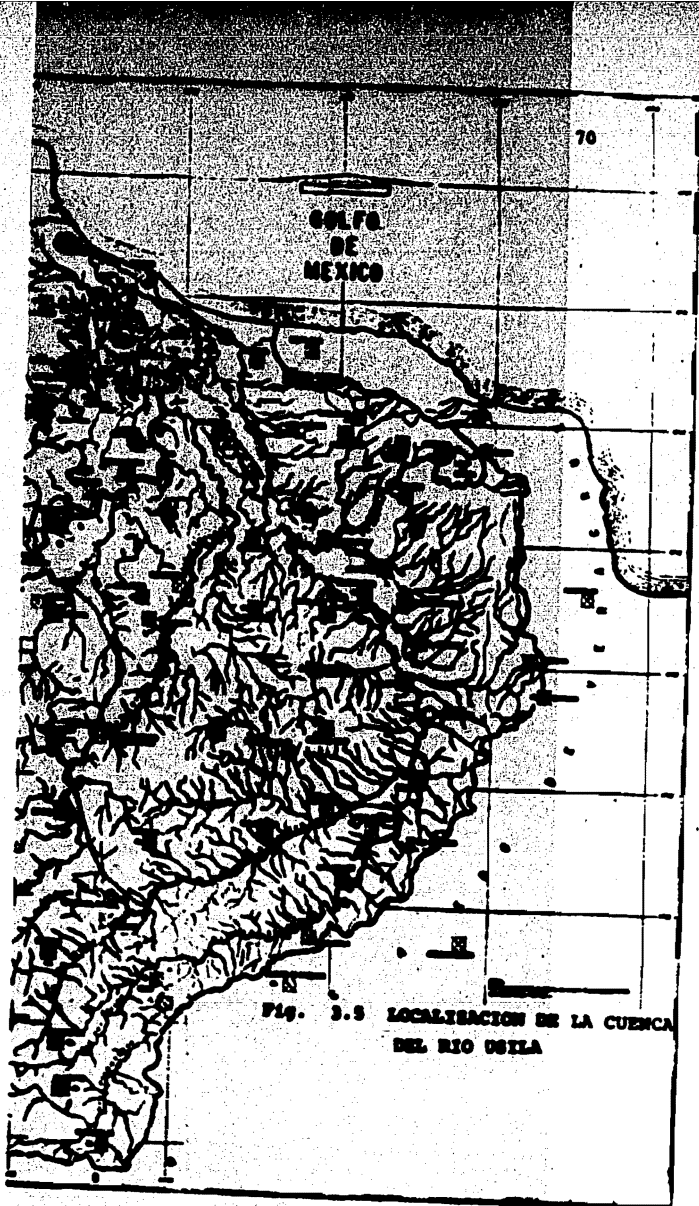


Fig. 3.5 LOCALIZACION DE LA CUENCA DEL RIO USTILA

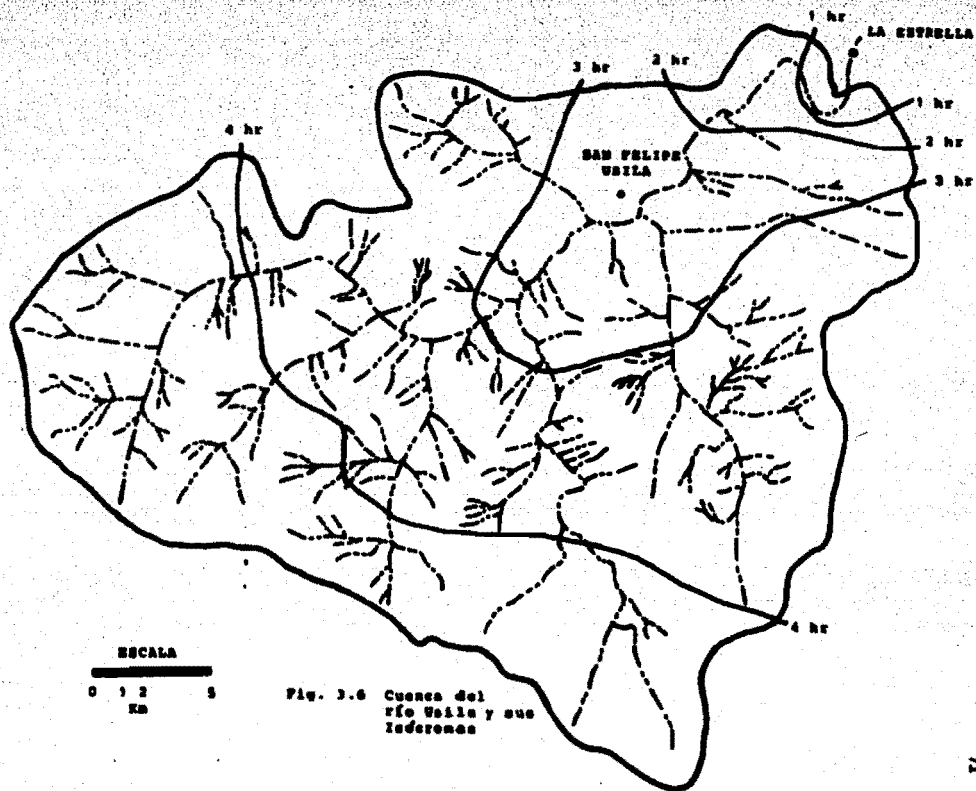
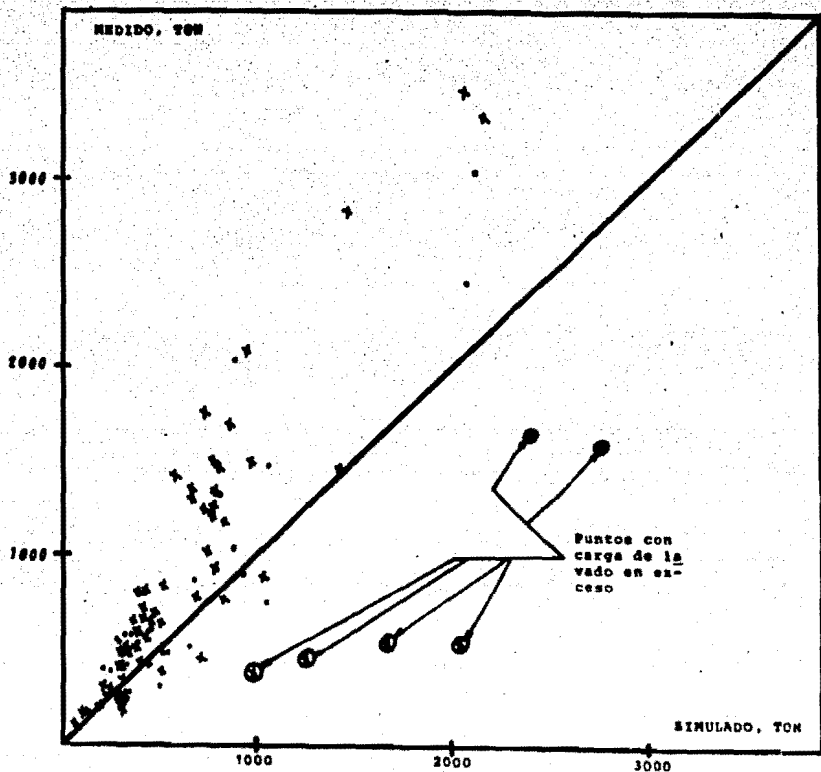


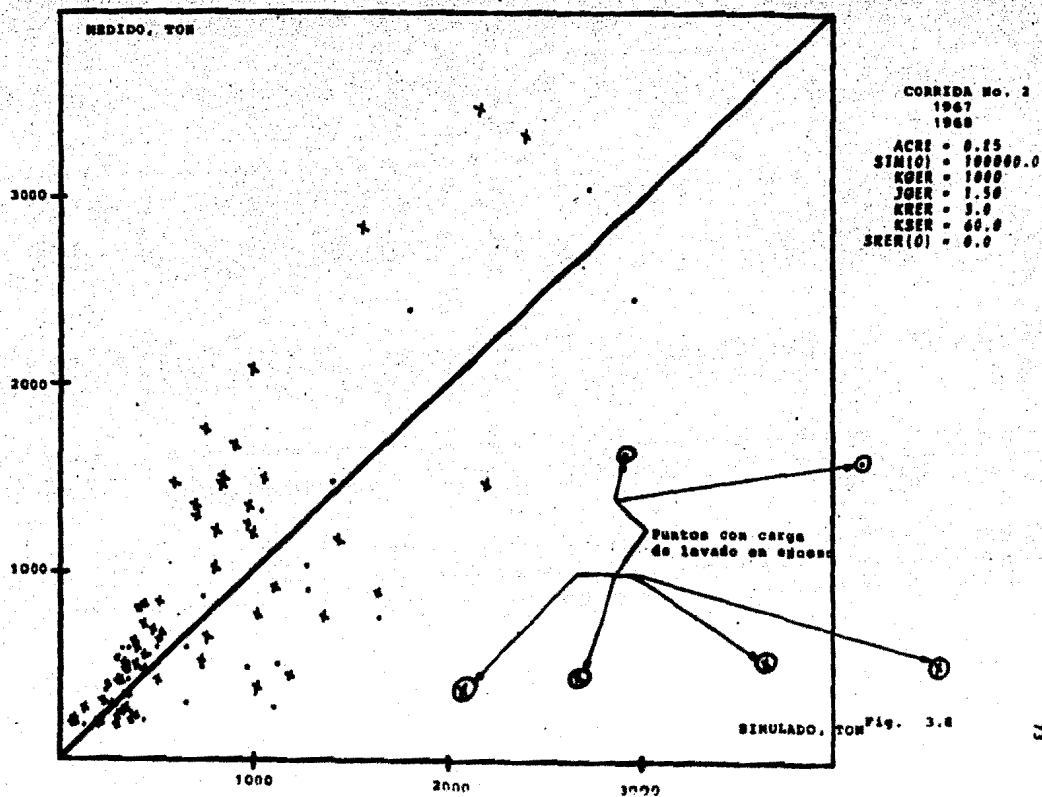
Fig. 3.6 Cuenca del río Uvita y sus Iudermanos

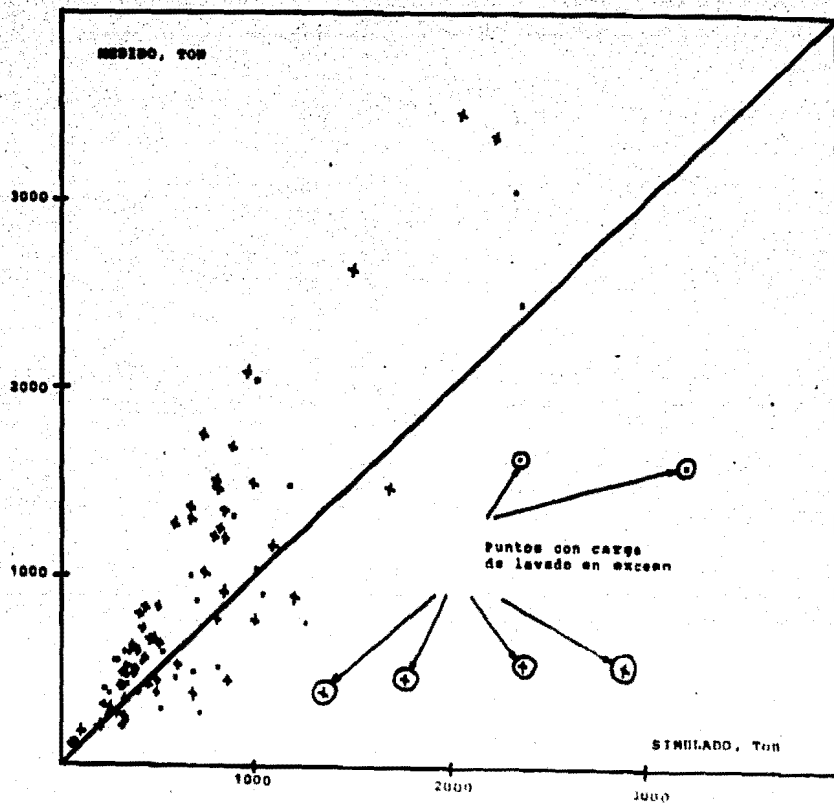


CORRIDA No. 1
1967
1968

ACRZ = 0.25
SIM(0) = 10000.0
KGER = 1000
JGER = 1.50
KRER = 400
JRER = 3.0
KSER = 30.0
JSER = 2.5
SRER(0) = 0.0

Fig. 3.7





CORRIDA No. 3
 1967
 1968

ACRS = 0.25
 SIM(O) = 100000
 KOER = 1000
 JOER = 1.50
 KRER = 400
 JREr = 3.00
 KSER = 40.0
 JSER = 1.50
 SRER(O) = 0.00

Fig. 3.9

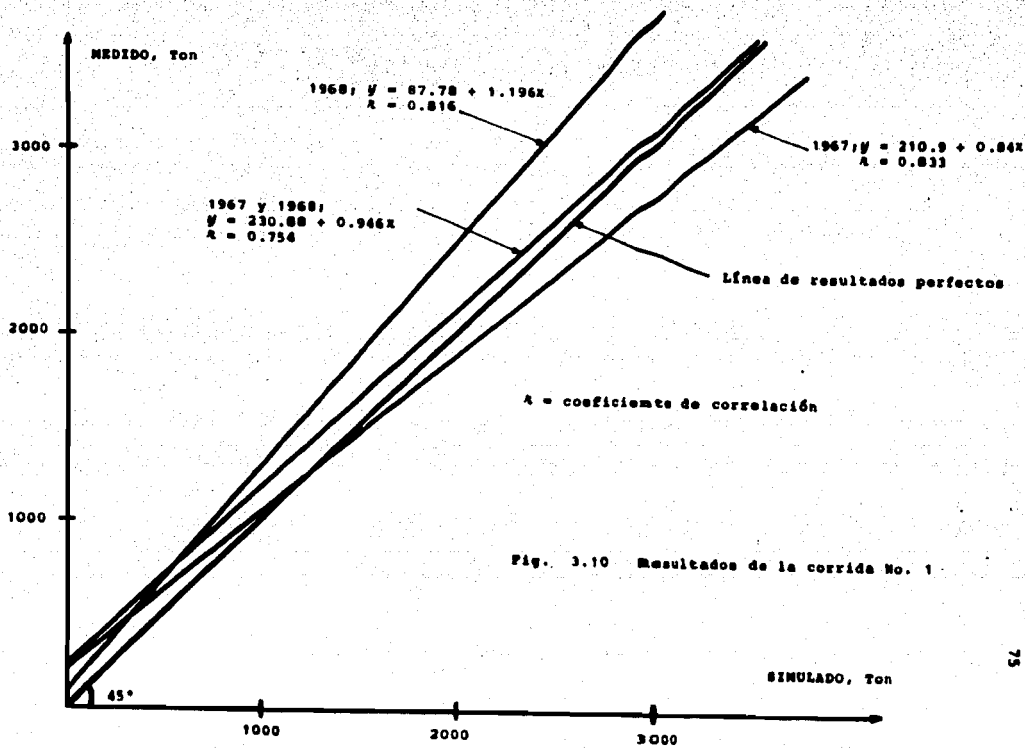


Fig. 3.10 Resultados de la corrida No. 1

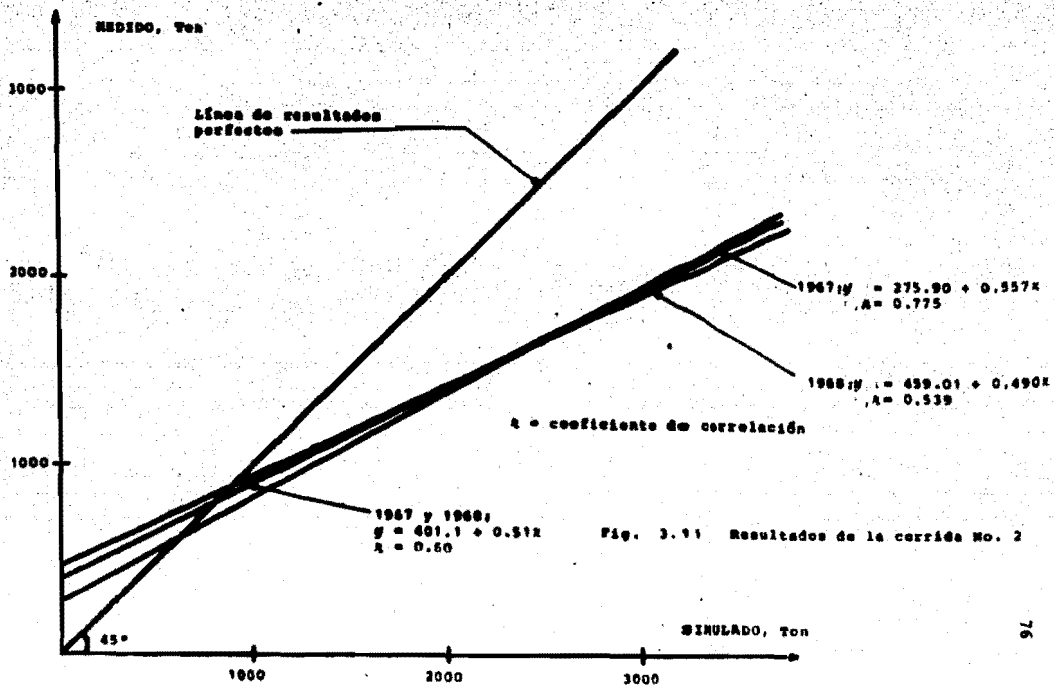


Fig. 3.11 Resultados de la corrida No. 2

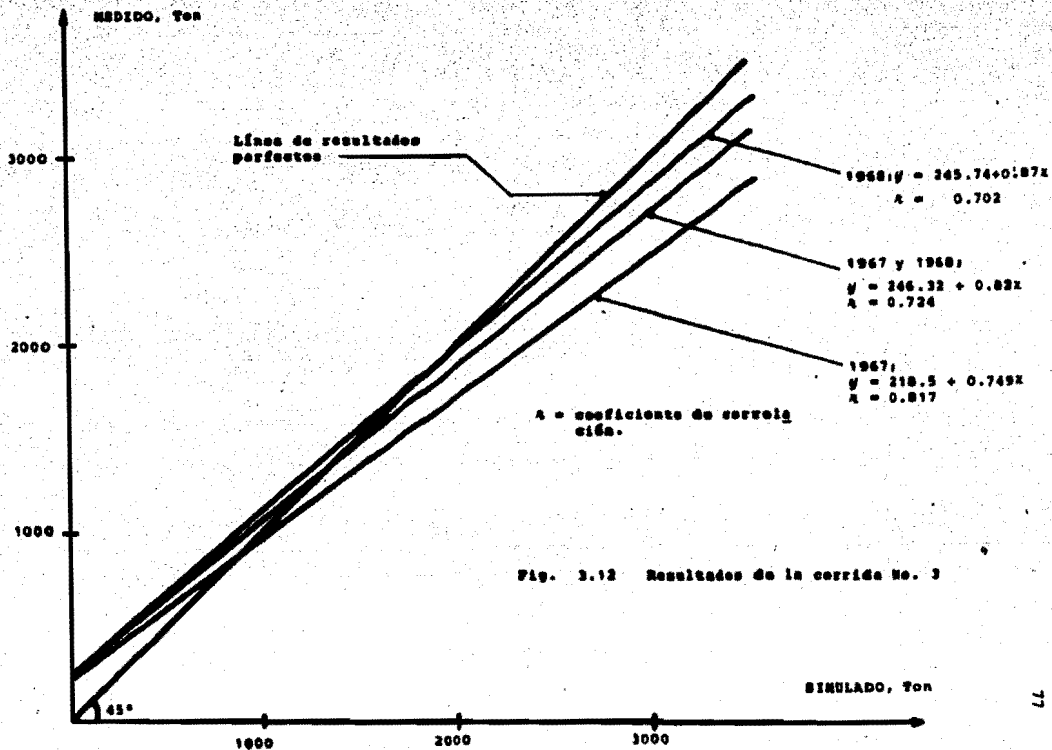


Fig. 3.12 Resultados de la corrida No. 3

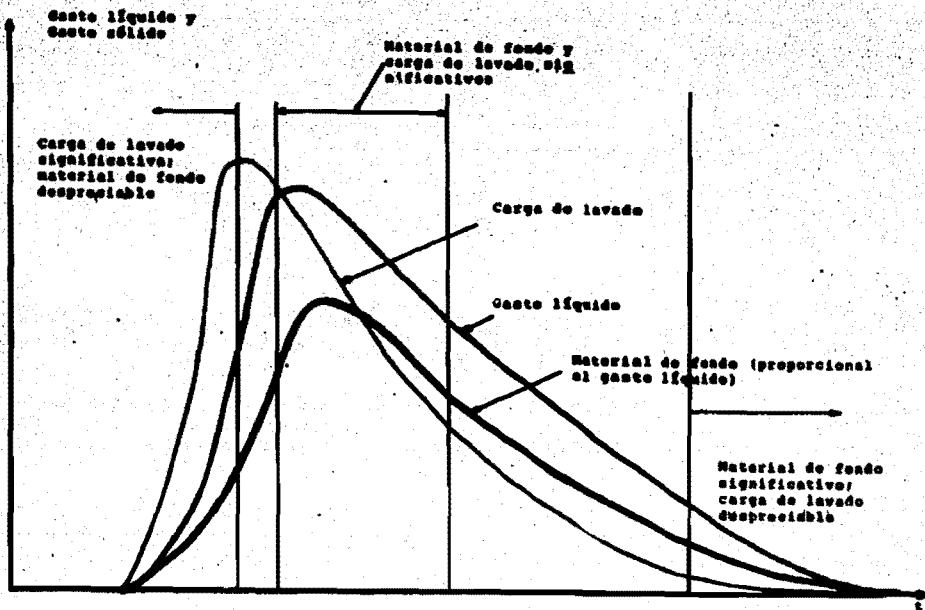


Fig. 3.13 Cantidades relativas de material de fondo y carga de lavado
 producidas durante un hidrograma aislado.

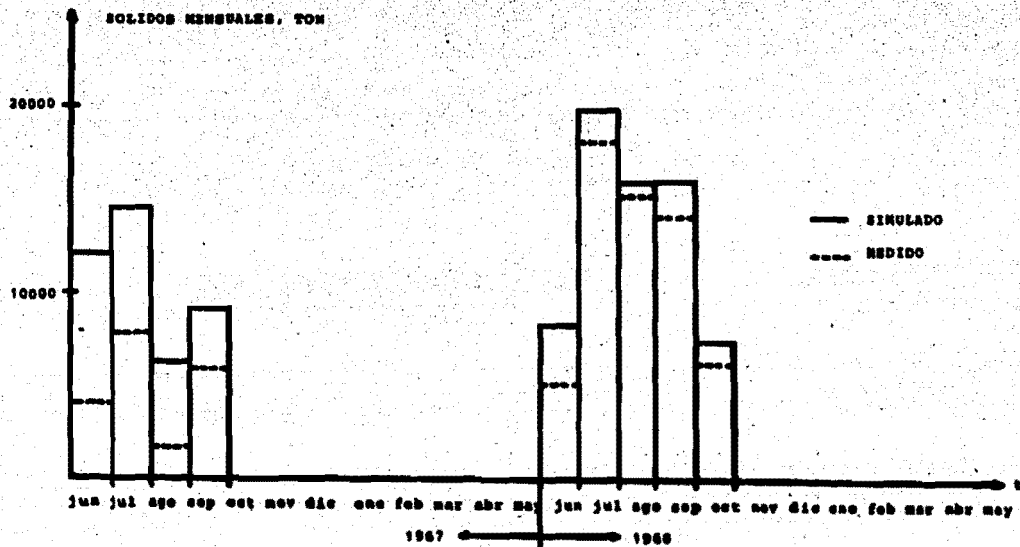


Fig. 2.14 Resultados mensuales, corrida No. 1

4. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En el capítulo 1 se hizo una breve introducción al problema de la erosión hídrica, se analizaron en forma sucinta los desarrollos que hasta el momento se han logrado en cuanto a la comprensión del fenómeno y se plantearon los objetivos de este trabajo. El capítulo 2 describe las bases en las que se apoya el modelo y propone las fórmulas para simular cada una de las fases de la producción de sedimentos que se utilizan en él. En el capítulo 3 se describió un programa de cómputo del modelo en FORTRAN, por ser el lenguaje de mayor uso en la ingeniería mexicana, se proporcionaron criterios generales para la calibración del modelo y se presentó un ejemplo para una cuenca del país.

Hasta el momento, los esfuerzos que se han hecho en hidráulica fluvial en este renglón se han enfocado hacia la ca

pacidad de transporte de los ríos en lo que se refiere al material de su propio cauce y por tanto a los cambios que sufre en sus características hidráulicas merced a la erosión del fondo y/o taludes y a la sedimentación; sin embargo, se han hecho a un lado, tanto en hidráulica fluvial como en hidrología, los dos extremos del proceso, constituidos, por -- una parte, por la producción de finos fuera de las corrientes por efecto de la lluvia y por la otra, por el depósito en embalses de los sólidos producidos tanto dentro como fuera de los cauces.

El modelo de Stanford para la simulación de la producción de sedimentos constituye un intento para llenar el hueco que existe en la hidrología, hidráulica fluvial y ciencias afines respecto a las posibilidades de simular con técnicas de "caja blanca" (es decir, en cada una de sus fases) el proceso de producción de sedimentos en cuencas (ref. 5).

El aspecto más relevante del modelo es el de la simulación horaria de la carga de lavado, ya que, como se mencionó antes, los criterios actuales de la hidráulica fluvial solamente determinan el arrastre de material de fondo, sea transportado en el fondo o en suspensión, mientras que la capacidad de las corrientes es casi siempre suficiente para transportar toda la carga de lavado que les sea aportada por el flujo superficial.

Un uso inmediato que puede tener el modelo es el didáctico: para lograr un mejor entendimiento de las diferentes fases que intervienen en el fenómeno y para ayudar a allanar el camino en investigaciones futuras al respecto.

Para fines de diseño, el modelo tal y como está concebido en este trabajo puede utilizarse en la determinación de datos faltantes en las estaciones aforadoras.

Por lo demás, a lo largo del trabajo se ha insistido en el hecho de que la calibración del modelo se basa en las cantidades de sólidos medidas en las estaciones hidrométricas, lo que implica que la exactitud de los resultados dependa en mucho de la exactitud de los datos, lo que vale también en lo que se refiere a la lluvia y a los escurrimientos. Teniendo esto en mente, podría pensarse en una gran cantidad de mejoras que pueden introducirse al modelo con el objeto de ampliar su aplicabilidad y facilitar su uso. Algunas de ellas son las siguientes:

- a) Construir, dentro del propio modelo, los hidrogramas correspondientes a las tormentas de entrada, partiendo de los valores del flujo superficial previamente generados mediante el método propuesto en el apéndice A o cualquier otro (por ejemplo, mediante el modelo de cuencas de Stanford, ref. 10); si esto se logra, el único dato-

de entrada sería la lluvia.

- b) Incluir en el modelo a los sólidos no medidos, simulando el arrastre y depósito de sedimentos en el cauce de los ríos, mediante algún procedimiento de la hidráulica fluvial que se ajuste a las características de las corrientes.
- c) Después de realizar pruebas sucesivas del modelo en cuencas con características diferentes, establecer relaciones funcionales entre dichas características y los parámetros de calibración (parágrafo 3.2.4); de esta manera, los inconvenientes derivados de la calibración -- principalmente debidos a la necesidad de hacer corridas de prueba -- se reducirían notablemente, gracias a lo cual el modelo podría usarse más directamente, y su rango de aplicabilidad se extendería hasta las cuencas sin estaciones aforadoras de sólidos. Por ejemplo, el valor de KRER (coeficiente de salpicamiento de suelo, ec. 2.1) está relacionado con el tipo de suelo (si es cohesivo o granular y a algún diámetro representativo en el segundo caso) y con la cobertura vegetal (el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo es mayor cuanto menos cobertura vegetal exista); KSER (coeficiente de suelo arrastrado por flujo superficial, ec. 2.2) se relaciona con la granulometría del material y con la topo--

grafía y geología del terreno; finalmente, KGER (coeficiente de erosión de regueras y cárcavas, ec. 2.5) está en función de la topografía, de las prácticas de detención de erosión y del tipo de vegetación.

Con algunas de las mejoras mencionadas, el modelo podría utilizarse para, a partir de "lluvias de diseño", determinar con mucha mayor precisión que la que se tiene hasta el momento, los volúmenes de azolves que se depositarían en un embalse; otro uso podría ser el de cuantificar las variaciones en la producción de sedimentos derivadas de cambios importantes en las condiciones físicas de la cuenca, como pueden ser la tala, los cambios de cultivos o la introducción de prácticas de detención de erosión; otro más, ya fuera de la ingeniería civil, sería el de valuar, al menos cualitativamente, los volúmenes de sólidos que se depositan en llanuras de inundación y que afectan a la calidad de la tierra para la agricultura.

De los resultados obtenidos de la prueba del modelo en la cuenca del río Usila (cap. 3) puede concluirse lo siguiente:

- 1) La simulación fue bastante satisfactoria para las aportaciones diarias de sedimentos, para los dos años bajo análisis.

- 2) La simulación mensual fue menos satisfactoria que la -- diaria en 1967, debido principalmente a que en la compa -- ración de las cantidades simuladas con las medidas se -- tomaron más en cuenta los datos diarios que las sumas -- mensuales, ya que los reportes consignan con mucha fre -- cuencia a la concentración como "inapreciable".

- 3) En 1968, año más lluvioso, las simulaciones diarias y -- mensuales son ambas igualmente satisfactorias. En la -- publicación original del modelo (ref. 3) se observa tam -- bién que la simulación es mejor cuanto más lluvioso ha -- ya sido el año bajo prueba. Esto cobra importancia si -- se toma en cuenta que un alto porcentaje del aporte de -- sedimentos se produce con unas cuantas lluvias en un -- año, o bien en unos cuantos años si el análisis es en -- lapsos grandes. De aquí la posibilidad de simular con -- bastante precisión el aporte de sedimentos a un vaso a -- partir de "lluvias de diseño", mencionada anteriormente.

- 4) El método propuesto en el apéndice A para la valuación -- del flujo superficial es suficientemente exacto para -- los fines del modelo. Su aplicación, además, es razona -- blemente rápida y sencilla, ya que requiere de un míni -- mo de datos.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

El Ing. Carlos Cruickshak V. hizo la revisión crítica del manuscrito.

Al Ing. Oscar A. Fuentes Mariles por su apoyo y amistad.

A los Ings. Ramón Domínguez M., Moisés Berezowski V. y Jesús Magallanes P. por su interés y colaboración.

Mi muy profundo agradecimiento al Ing. Jesús Gracia Sánchez por su gran apoyo y sus invaluable consejos, sin los que no hubiera sido posible la consumación de este trabajo.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Kilink, Mustafa y Richardson, Everett V.
"Mechanics of Soil Erosion from Overland Flow Generated by Simulated Rainfall",
Colorado State Univ., Hydr. Papers,
Fort Collins, Colorado, 1973.
2. Gracia S. Jesús, Magallanes, P.J. y Aparicio M.F.J.
"Arrastre de Suelos por Lluvia",
Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM,
México, D.F., 1977.
3. Negev, M.
"A Sediment Model on a Digital Computer";
Technical Report No. 76,
Dept. of Civ. Eng., Stanford University, California, 1967.
4. Dragoun, F.J.
"Rainfall Energy as Related to Sediment Yield";
Journal of Geophysical Research, Vol. 67, No. 4,
Abril 1962, pp. 1495-1504.
5. Gregory, K.J. y Walling, D.E.
"Drainage Basin Form and Process, A Geomorphological Approach";
Edward Arnold, 1973.
6. Wischmeier, W. y Smith, D.D.
"A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-loss Equation",
Soil Sci. Soc. Proc., 1969.

7. **Naza, J.A., Camargo, J.E., García F.M., Magallanes, J. y Mejía, R.**
"Evaluación de los Métodos para determinar la Cantidad de Azolve en las Presas, Cap. 4";
Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F., 1976.
8. **Roehl, J.W.**
"Erosion and its Control on Agricultural Lands";
Proceedings, Federal Interagency, Sedimentation Conference, U.S. Dept. of Agric. Misc. Public. No. 970, 1963, pp. 18-22.
9. **Wischmeier, W, y Smith, D.D.**
"Rainfall Energy and its Relationship to Soil loss",
Trans. Am. Geoph. Union, 1958, Vol. 39, Pt. 2, pp. 205-291.
10. **Crawford, N. y Linsley, R.K.**
"Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV",
Technical Report No. 39, Dept. of Civ. Eng., Stanford University, Julio 1966.
11. **Einstein, H.A., Anderson, A.G.,**
"A Distinction Between Bed Load and Suspended load in Natural Streams",
Trans. Am. Geop. Un., 1940, pp. 628-633.
12. **Comisión Federal de Electricidad,**
"Manual de Diseño de Obras Civiles",
Secc. E, Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, México, 1970.

13. Wilson, E.M.,
"Engineering Hydrology",
The Mac Millan Press LTD, London, 1974.
14. Barradas, B. José Luis,
"Métodos de Predicción de Avenidas. Aplicación de un
Modelo en la Predicción de Avenidas",
Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM,
México, 1978.
15. Domínguez, M., Quans, Legaria, G., Barradas, J.L., Alva
rez, A.,
"Aplicación de los Sistemas de Informática a la Previ-
sión de Hidrogramas",
Informe del Instituto de Ingeniería a la S.A.R.H., UNAM
México, 1977.
16. Comisión del Papaloapan, S.R.H.
"Boletín Hidrométrico";
Años: 1958, 1959, 1967, 1968.
17. Linsley, Kohler, Paulhus.,
"Hydrology for Engineers",
Mc. Graw Hill, Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan, 1975.
18. Hathaway, G.A.,
"Design of drainage facilities",
Trans. ASCE, Vol. 110, 1945 (citado por ref. 19).
19. Hjelmfelt, A.T., Jr., Cassidy, J.J.,
"Hydrology for Engineers and Planners",
Iowa State University Press, Iowa, USA, 1975.
20. Magallanes, P., J.,
"Pérdida de Suelo en Cuencas. Aplicación a la Meseta

Central",
 Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM,
 México, 1977.

A P E N D I C E A

CÁLCULO DEL FLUJO SUPERFICIAL

En el capítulo de sedimentos de la Universidad de Stanford original (ref. 3) se propone el uso del modelo hidrológico desarrollado en la ref. 10 para el cálculo del flujo superficial. Dicho modelo hidrológico es considerado por varios autores (ref. 5, 17) entre otros, como una buena alternativa para el análisis de los diferentes procesos hidrológicos que dan lugar a las características de un río, entre ellos el caudal superficial.

Aun sabiendo, al momento de usar este modelo para obtener generalmente los caudales superficiales de flujo superficial, que el uso de los eqs. 2.4 y 2.5, implica valores más constantes, usualmente entre 0.1 y 0.2, para K que las del caso de estudio de sedimentación.

Central",
Tesis Profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM,
México, 1977.

A P E N D I C E A
CALCULO DEL FLUJO SUPERFICIAL

En el modelo de sedimentos de la Universidad de Stanford original (ref. 3) se propone el uso del modelo hidrológico desarrollado en la ref. 10 para el cálculo del flujo superficial. Dicho modelo hidrológico es considerado por varios -- autores (ref. 5, 17 entre otros) como una buena alternativa -- para el análisis de los diferentes procesos hidrológicos que dan lugar a los escurrimientos de un río, entre ellos el del flujo superficial.

Sin embargo, el intentar usar este modelo para obtener únicamente las cantidades horarias de flujo superficial, que se usan en las ecs. 2.2 y 2.5, implica valuar más constantes, hacer más corridas de prueba, etc. que las del propio modelo de sedimentos.

Para hacer más trabajable y accesible el modelo, se buscó y se ideó un método más sencillo para valuar el flujo superficial horario, mismo que se describe en el presente apéndice.

El método se basa en la relación que se ha encontrado (ref. 14, 15) entre el Índice de Precipitación Antecedente (API) y el Índice de Infiltración (FI). API se calcula mediante la ecuación recursiva

$$API(DIA) = 0.85 * API(DIA-1) + PPDNE(DIA) \quad (A.1)$$

donde:

API(DIA) = Índice de precipitación antecedente al final del día DIA.

PPDNE(DIA) = Altura de precipitación media en el día DIA.

El índice de infiltración que utiliza el método puede ser el calculado comúnmente (ref. 13, 17) asociando simplemente la lámina de agua escurrida por efecto de una tormenta con la lámina llovida.

El método consiste entonces en (ver fig. A.1):

- 1) Seleccionar, para la cuenca, de seis a ocho tormentas cuyo hidrograma esté bien definido y, preferentemente,-

aislado.

- 2) Calcular la lluvia media en la cuenca, tratando de que sea lo más representativa posible, es decir, tomando en cuenta la situación de las estaciones pluviométricas y pluviográficas, las características topográficas de la cuenca, etc.
- 3) Calcular el índice de precipitación antecedente (API) - al final de cada día correspondiente a cada tormenta seccionada, mediante la ec. A.1.
- 4) Calcular el índice de infiltración medio para cada tormenta bajo análisis.
- 5) Graficar los puntos correspondientes obtenidos de los pasos 3 y 4 (API y FI) y trazar la curva de mejor ajuste.
- 6) Ajustar la curva resultante a varias rectas (unas 4 ó 5 son suficientes). Si n es el número de rectas en que se dividió la curva, el valor de la constante $NAPIFI$ -- que entra como dato al programa (cap. 3) será el de $n+1$. Los valores de $PAPI(L)$ y $PFI(L)$ (cap. 3) son los correspondientes a los puntos extremos de las rectas antes -- mencionadas, tomadas de derecha a izquierda. La recta-

del extremo derecho de la gráfica debe ser paralela al eje de API (esto significa que, a partir de un cierto valor de API, FI se vuelve constante. Al menos para el caso estudiado, esto se nota bastante bien). El valor que toma FI en esta recta será el de FII utilizado en el programa.

- 7) Calcular el índice de precipitación antecedente al principio del día DIA para el que se quiere valuar el flujo superficial mediante la ecuación

$$APIIN (DIA) = 0.85 (API (DIA-1)) \quad (A.2)$$

así como para el final del día mediante la ecuación A.1.

- 8) Dividir el intervalo resultante entre API(DIA) y APIIN(DIA) en tantas partes iguales como horas haya durado la tormenta.
- 9) Calcular, para cada parte en las que se dividió el intervalo, el índice de infiltración, FIT(HORA) con las ecuaciones de las rectas determinadas en el paso 6).
- 10) El flujo superficial en la hora HORA será entonces

$$OVQ (HORA) = HPP (HORA) - FIT (HORA) \quad (A.3)$$

donde HPP [HORA] es la lluvia media horaria expresada - en lámina.

Las figs. A.2 a A.5 muestran los resultados del cálculo del flujo superficial mediante este método para algunas tormentas registradas en 1967 y 1968 en la cuenca del río Usi-- la. Nótese que en casi todas las tormentas (seleccionadas - al azar) el hidrograma comienza a levantarse en la primera - hora en que ocurre el flujo superficial; que el índice de in filtración -una vez que ha comenzado el flujo superficial- - es muy similar para todas las horas de la tormenta, aunque - no es constante; y que en muchos casos existen alturas de -- precipitación horaria anteriores a la primera ocurrencia del flujo superficial que son sensiblemente mayores que el índice de infiltración medio de la tormenta, todo lo cual con--- cuerda satisfactoriamente con la teoría establecida al res-- pecto (ref. 13, 14, 15).

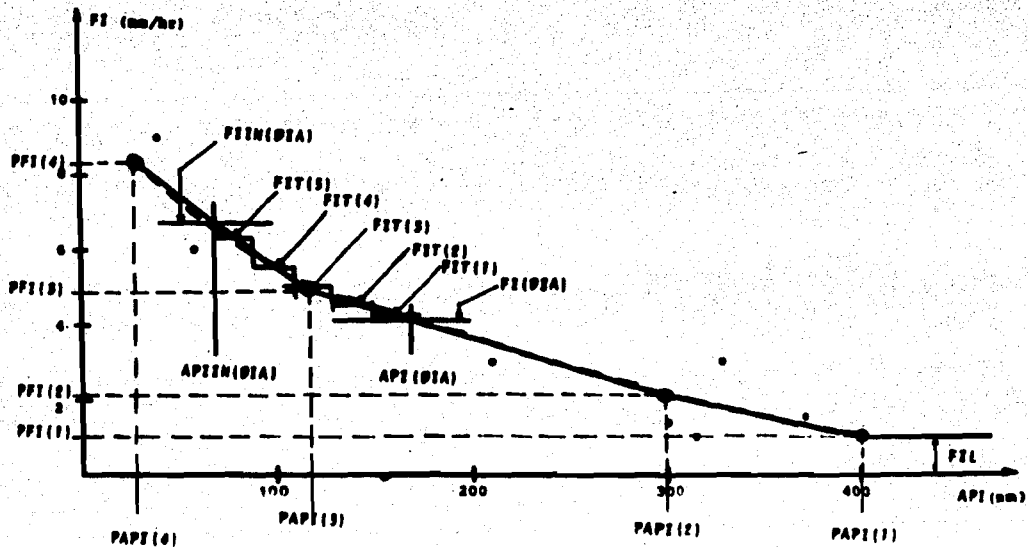
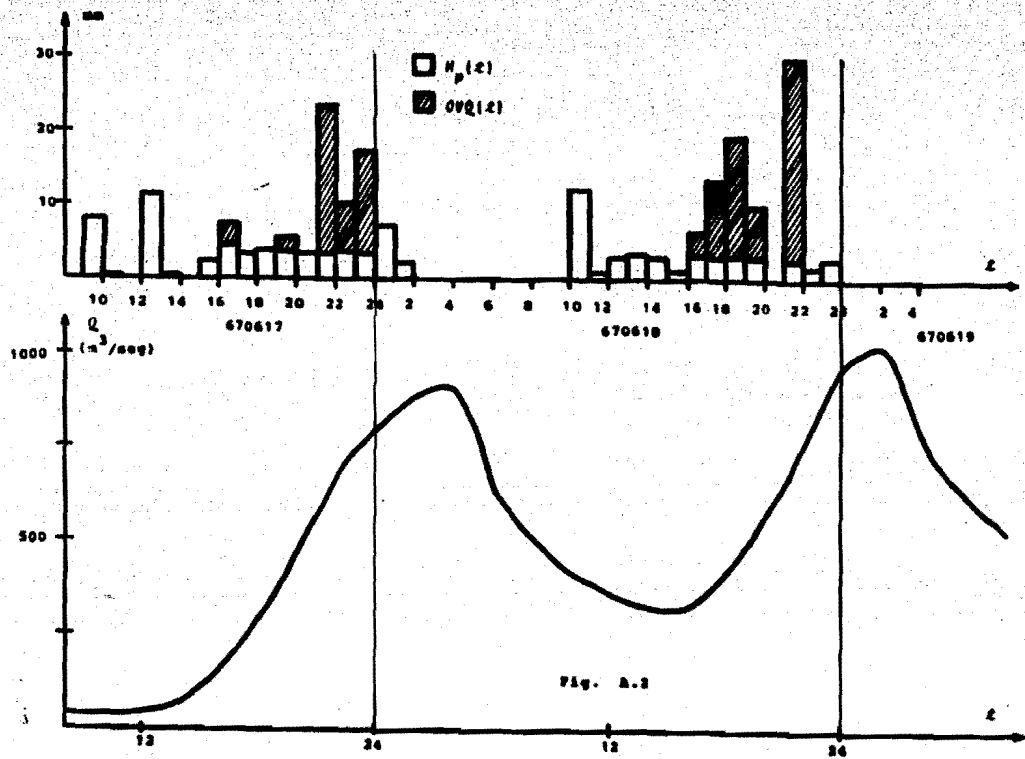


Fig. A.1 Representación gráfica del método para el cálculo del flujo superficial.



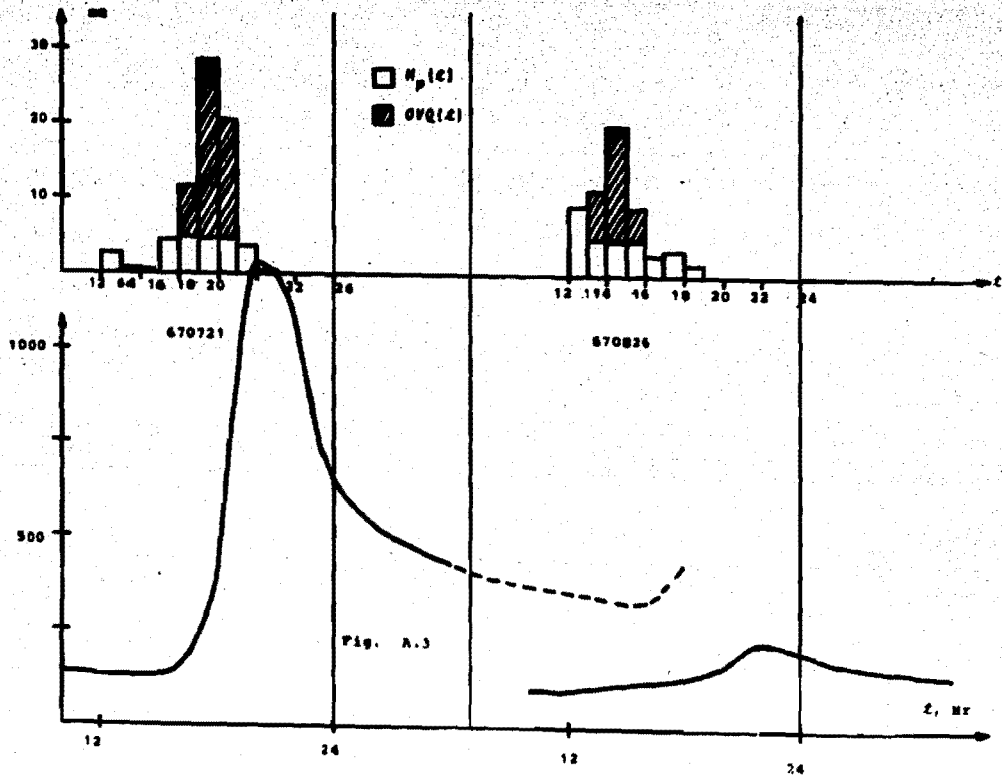


Fig. A.3

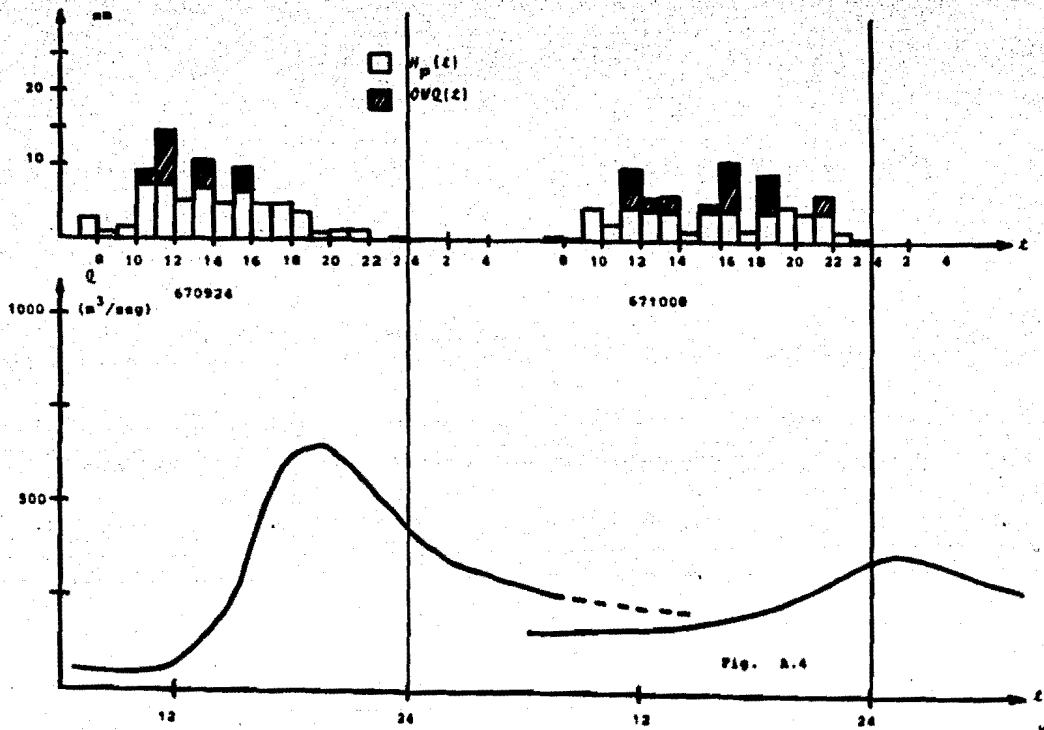


Fig. A.4

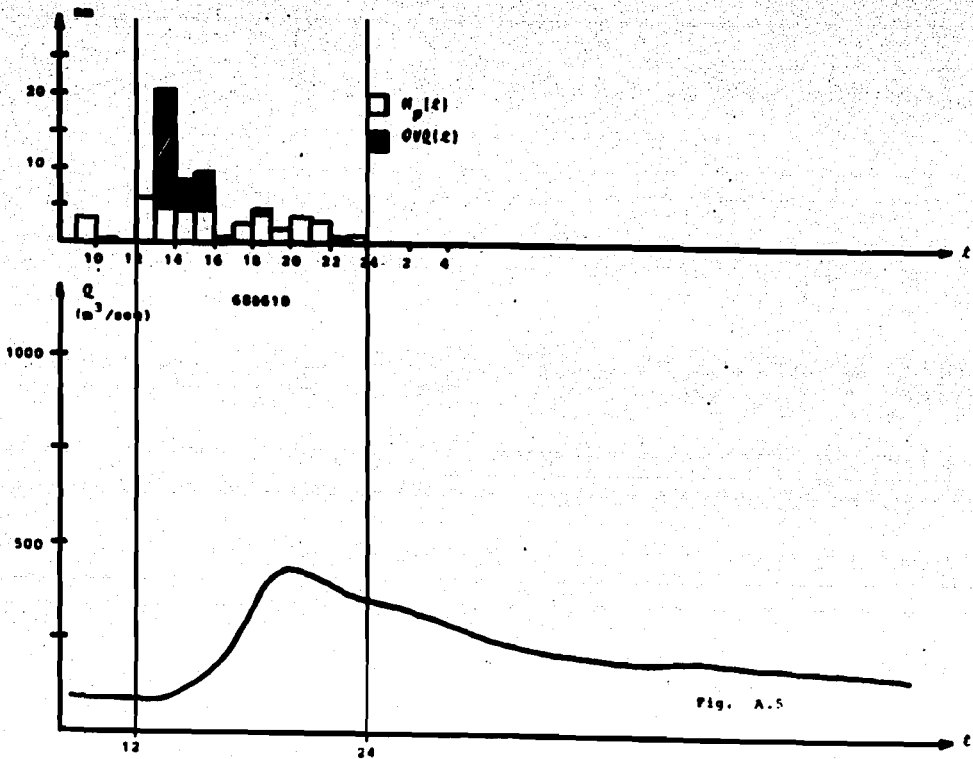


Fig. A.5

A P E N D I C E B

TRANSITO DE LA CARGA DE LAVADO

Como se discutió en el párrafo 2.1.3.1, $WLA(t)$ (carga de lavado, ec. 2.4) se mantiene en suspensión continua desde el sitio en que se produce hasta el punto de salida del sistema de drenaje bajo consideración, transportándose a la velocidad media de la corriente toda vez que está en cualquier cauce definido. Gracias a ello, puede calcularse un sedimentograma de salida de la carga de lavado con técnicas de tránsito similares a las que se utilizan en el caso de hidrogramas. La técnica usada en el modelo se basa en la ecuación de Muskingum y utiliza el método de Clark para determinar la relación tiempo área para valuar las ordenadas de entrada. Por razones de claridad, se expondrá en primer lugar la teoría general de tránsito que adopta el mo

dado, con la notación común, y posteriormente se acondicionarán los conceptos y ecuaciones resultantes para ser usados en la carga de lavado, con la notación que se ha convenido a lo largo de este trabajo.

8.1 Teoría general

La teoría general aquí expuesta se obtuvo de la ref. 13.

La conocida ecuación de Muskingum propone que el almacenamiento S de agua en un tramo de río durante su tránsito hacia la salida de la cuenca se exprese en términos de las entradas al tramo (I) y de las salidas del mismo (O) en la forma

$$S = K [x I + (1 - x) O] \quad (8.1)$$

donde:

- x = coeficiente adimensional para el tramo considerado
- K = constante de almacenamiento (con dimensión de tiempo) calculada a partir de hidrogramas observados.

En intervalos discretos, la ec. B.1 puede escribirse-

como:

$$S_2 - S_1 = K [x (I_2 - I_1) + (1-x) (D_2 - D_1)] \quad (8.2)$$

donde los subíndices 1 y 2 denotan valores al principio y - al final del tiempo t , respectivamente.

Por otra parte, la ecuación de continuidad en el tramo es

$$I = D + \frac{dS}{dt} \quad (8.3)$$

donde:

$\frac{dS}{dt}$ cambio en el almacenamiento en el tramo con respecto al tiempo

y, para intervalos t discretos,

$$S_2 - S_1 = \frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{D_1 + D_2}{2} t \quad (8.4)$$

Igualando los lados derechos de las ecs. B.2 y B.4, - y haciendo simplificaciones algebraicas puede obtenerse que

$$D_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 D_1 \quad (8.5)$$

donde:

$$C_0 = - \frac{K x - 0.5 t}{K - Kx + 0.5 t} \quad (B.5a)$$

$$C_1 = \frac{K x + 0.5 t}{K - Kx + 0.5 t} \quad (B.5b)$$

$$C_2 = \frac{K - Kx - 0.5 t}{K - Kx + 0.5 t} \quad (B.5c)$$

y t = período de tiempo en la discretización

Considérese a una cuenca como una serie de subáreas, cada una de las cuales, bajo el efecto de un aguacero súbito, aporta agua al sistema de canales de drenaje que tiene cierta capacidad de almacenamiento. Si se dibuja un hidrograma unitario instantáneo, éste puede dividirse en dos partes, la primera representando la entrada brusca de volúmenes llovidos, y la segunda la salida paulatina del agua almacenada en el sistema de corrientes. La línea divisoria puede tomarse como una vertical trazada por el punto de inflexión de la curva de recesión del hidrograma (fig B.2).

Suponiendo ahora que la descarga Q de la cuenca es directamente proporcional al almacenamiento S :

$$S = K Q \quad (B.6)$$

es decir, con $x = 0$ y Q en lugar de D en la ec. B.1, y, de

la ec. B.3:

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (B.7)$$

Derivando la ec. B.6 con respecto a t y haciendo uso de la ec. B.7:

$$K \frac{dQ}{dt} = I - Q \quad (B.8)$$

Resolviendo para Q y usando la condición inicial $Q = 0$ para $t = 0$ se obtiene

$$Q = I (1 - e^{-t/K}) \quad (B.9)$$

La ecuación de la curva de recesión del hidrograma, tomada a partir del punto de inflexión (tiempo T) puede escribirse en términos del gasto Q_T en T (fig B.2) transformando la ec. B.9 en

$$Q_t = Q_T e^{-(t - T)/K} \quad (B.10)$$

El coeficiente K debe obtenerse a partir de un hidrograma observado en la cuenca, como el mostrado en la fig. -- B.2, tomando un valor de t en el punto de inflexión y otra una unidad de tiempo después. El hidrograma que se use debe haber sido consecuencia de un período de lluvia aislado y ra

razonablemente corto, por ejemplo de 1 ó 2 horas.

Así, $Q_1 = Q_T$ y $Q_2 = Q_T e^{-(t-T)/K}$, con lo que el área sombreada A en la fig B.2 es

$$A = \int_{t=T}^{t=T+1} -k Q_T e^{-(t-T)/K} d(t-T) \quad (B.11)$$

de donde puede demostrarse que

$$K = \frac{A}{Q_1 - Q_2} \quad (B.12)$$

Además, de la ec. B.6 ($x = 0$), las ecs. B.5a, B.5b, y B.5c resultan respectivamente

$$C_0 = \frac{0.5 t}{K + 0.5 t} \quad (B.5d)$$

$$C_1 = \frac{0.5 t}{K + 0.5 t} \quad (B.5e)$$

$$C_2 = \frac{K - 0.5 t}{K + 0.5 t} \quad (B.5f)$$

Es decir,

$$C_0 = C_1 = \frac{1 - C_2}{2} \quad (B.13)$$

y la ec. B.5 se transforma entonces en

$$Q_2 = \frac{1 - C_2}{2} I_2 + \frac{1 - C_2}{2} I_1 + C_2 Q_1 \quad (8.14)$$

donde, nuevamente, los subíndices 1 y 2 denotan valores en la hora anterior y la presente, respectivamente.

El valor de I de la ec. 8.14 puede valuarse de la siguiente manera:

Dividiendo a la cuenca en áreas de igual tiempo de -- llegada por medio de isócronas. Las isócronas pueden trazarse usando alguna de las fórmulas empíricas existentes para valuar tiempos de concentración, entre las cuales figura la de Mathaway (ref 18), que, transformada para usarse en sistema decimal, es la siguiente:

$$t_c = \left(\frac{2186.67 n L}{\sqrt{S}} \right)^{0.467} \quad (8.15)$$

donde:

- t_c = tiempo de recorrido o de concentración (min)
- n = coeficiente de rugosidad de Manning
- L = longitud de recorrido (Km)
- S = pendiente media del tramo de río considerado.

Una vez trazadas las isócronas que dividen a la cuenca en áreas de igual tiempo de recorrido (fig 3.6) y asig--

nando al área total de la cuenca el valor de la unidad, puede construirse un "histograma unitario de traslación" (fig. B.1), cuyas ordenadas sean los cocientes de cada área de igual tiempo de recorrido al área total de la cuenca, y el eje de las abscisas sea el tiempo. Llamando H_i a la ordenada del histograma en el tiempo i y h_{p_k} al volumen de precipitación registrado en la hora k , y considerando además una precipitación representativa de cada subárea, las entradas I al sistema serán

$$I = \sum_{i=1}^t [(h_{p_{t-i+1}}) (H_i)] \quad (B.16)$$

B.2 Aplicación a la carga de lavado

El modelo utiliza la misma suposición hecha para el planteo de la ec. B.6, de tal manera que la ec. B.13 es, en la notación del programa de computadora

$$CO = C1 = \frac{1 - C2}{2} \quad (B.17)$$

h_{p_k} (ec. B.16) equivale ahora al aporte de carga de lavado, es decir, $WLA(k)$, calculado con la ec. 2.4, y las ordenadas del histograma unitario de traslación, denominadas "elementos de traslación" H_i , son en este caso $AC(NNA)$, por lo que la ec. B.16 se transforma en (fig. B.3):

$$SUM (2) = SUM (2) + AC (NNA) \cdot WLA (ND + 1 - NNA) \quad (B.18)$$

donde:

$SUM (2)$ = ordenada del histograma de carga de lavado en la presente hora.

ND = hora del día

Si las ordenadas del sedimentograma de salida de carga de lavado se denotan como $WLS (1 \text{ ó } 2)$ según que se trate de la hora anterior o de la presente, la ecuación B.14 toma la forma

$$WLS (2) = \frac{1 - C2}{2} \cdot SUM (2) + \frac{1 - C2}{2} \cdot SUM (1) + C2 \cdot WLS (1) \quad (B.19)$$

donde:

$SUM (1)$ = ordenada del histograma de carga de lavado en la hora anterior.

B.3 Procedimiento

El procedimiento más recomendable para usar esta técnica para el modelo es el siguiente:

- 1) Dividir el área de la cuenca en varias zonas por medio

de isócronas. Como todos los cálculos en el modelo son hora rios, las isócronas deben estar espaciadas en intervalos de una hora. Para el cálculo de los tiempos de recorrido puede usarse la ec. B.15 o alguna similar. En la fig. 3.6 están dibujadas las isócronas para el ejemplo del capítulo 3 (cuenca del río Usila), para el que se usó $n = 0.08$.

2) Construir un histograma unitario de traslación con intervalos de una hora. Si la distribución de la lluvia no es uniforme en toda la cuenca, los elementos de traslación deben distorsionarse de acuerdo a las proporciones de precipitación en cada subárea. Los elementos de traslación obtenidos se denotan como AC (NNA) (ec. B.18 y tabla 3.1). En la cuenca del río Usila se consideró distribución uniforme de precipitación, y el histograma unitario de traslación resultó como el que aparece en la fig. B.1.

3) Determinar el coeficiente de almacenamiento K por medio de un hidrograma observado, en la forma descrita en el inciso B.1. La fig. B.2 presenta un hidrograma observado en la cuenca del río Usila, así como el cálculo del coeficiente K , que resultó ser de 6.9 hr.

4) Con $f = 1$ y el valor de K , calcular la constante C_2 de la ecuación de Muskingum, mediante la ec. B.5f. Para el ejemplo del río Usila

$$Cf = \frac{K - 0.5}{K + 0.5} = 0.865$$

Cf así calculada entra como dato al programa de cómputo (tabla 3.1).

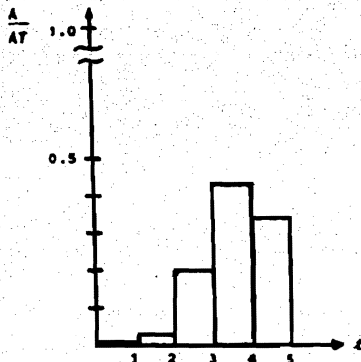


Fig. B.1 Histograma unitario de traslación, cuenca del río Uailla

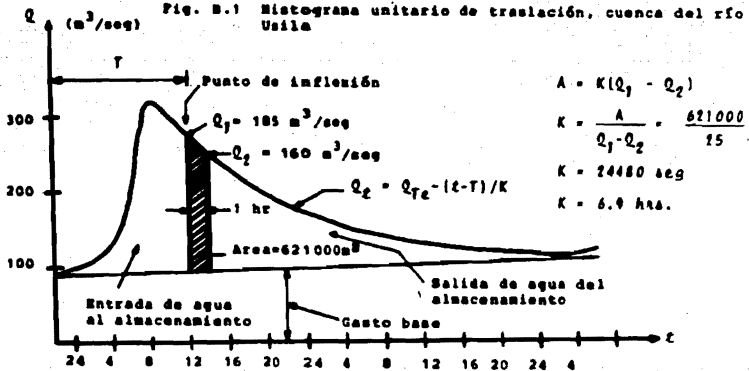
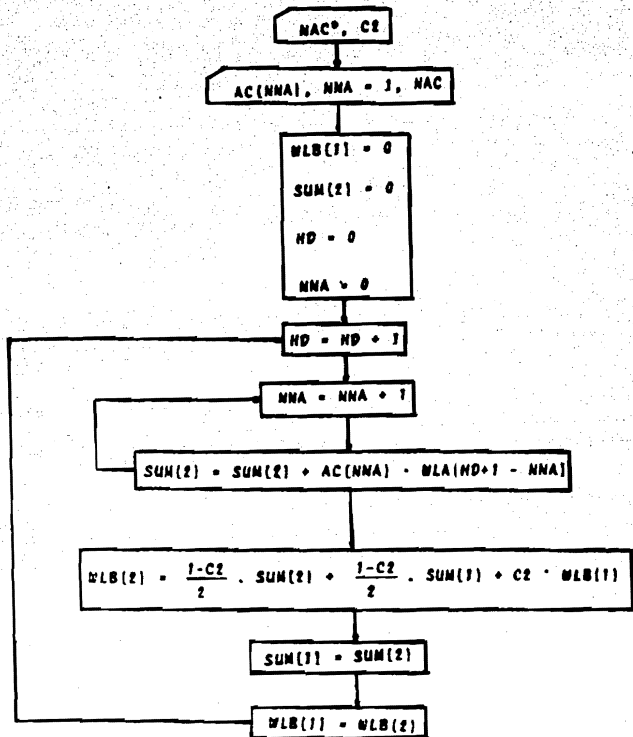


Fig. B.2 Determinación de K (ec. B.2)



* NAC = Número de elementos de traslación

Fig. B.3 Diagrama de bloques del tránsito de la carga de lavado.

A P E N D I C E C**PROGRAMA DE COMPUTO**

0000
0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060

SECRET PREP

[REDACTED]

LECTURA DE PARAMETROS DE LA CUENCA

READ (2, 40) (CEN(PES), PEGUN, 23)
READ (2, 322) (CEN(TVP), TVPS, VRS)
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

07
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99

***** TERMINA CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION *****

100 ***** COMIENZA CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION *****

CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 100 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 100

150 CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 150 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 150

200 CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 200 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 200

250 CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 250 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 250

300 CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 300 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 300

350 CONTINUE
CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION
DO 350 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 350

TERMINA CALCULO DE LA UNIDAD DE INFILTRACION.

***** TERMINA EL CICLO DE AJUSTE DE LA UNIDAD DE INFILTRACION *****
***** COMIENZA EL CICLO DE EPONOSI SUPERFICIAL *****

DO 335 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
240 CONTINUE
GO TO 335

***** COMIENZA CALCULO DEL FLUJO SUPERFICIAL *****

300 CONTINUE
DO 300 I (I) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(1) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
A(2) = ((A(1) - A(2)) / (A(1) - A(2))) * (A(1) - A(2)) / ((A(1) - A(2)) * A(1)) * (A(1) - A(2))
CONTINUE
GO TO 300
240 CONTINUE
300 CONTINUE
500 CONTINUE

07
01
02
03
04
05
06
07
08
09
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99

45000
45001
45002
45003
45004
45005
45006
45007
45008
45009
45010
45011
45012
45013
45014
45015
45016
45017
45018
45019
45020
45021
45022
45023
45024
45025
45026
45027
45028
45029
45030
45031
45032
45033
45034
45035
45036
45037
45038
45039
45040
45041
45042
45043
45044
45045
45046
45047
45048
45049
45050
45051
45052
45053
45054
45055
45056
45057
45058
45059
45060
45061
45062
45063
45064
45065
45066
45067
45068
45069
45070
45071
45072
45073
45074
45075
45076
45077
45078
45079
45080
45081
45082
45083
45084
45085
45086
45087
45088
45089
45090
45091
45092
45093
45094
45095
45096
45097
45098
45099
45100

NUM(2)=0
NO=110
EPOSION POR DESPRENDIMIENTO (RATTI SPLASH)
REP=KREP+HPP(HD) **JER
IF (NO.GT.1) GO TO 292
SREPR=1+PCER+PCR
GO TO 292
292 SREPR(HD)=SREPR(HD)+PCER
EPOSION EN APAS IMPLANTABLES
294 EIM=KIMPAPER
EPOSION POR FLUJO SUPERFICIAL (OVERLAND FLOW EROSION)
IF (OVO(HD).EQ.0) GO TO 310
DESPRENDIMIENTO POR FLUJO SUPERFICIAL (OVERLAND FLOW PICKUP)
IF (NO.GT.1) GO TO 296
SREPR=1+PCER+OVR(HD) **JER
IF (SEN.GT.SREPR) SREPR=SEN
GO TO 296
296 SREPR=1+PCER+OVR(HD) **JER
IF (SEN.GT.SREPR(HD-1)) SREPR=SEN
EROSION DE ARROYOS Y RIACHUELOS (RILL AND GULLY EROSION)
298 REP=KGER+OVO(HD) **JER
MLA(HD)=SREPR*REP
IF (NO.GT.1) GO TO 302
SREPR(HD)=SREPR(HD-1)
GO TO 302
302 SREPR(HD)=SREPR(HD-1)
304 SREPR(HD)=SREPR(HD-1)
GO TO 310
310 MLA(HD)=EIM
SREPR=0
REP=0
320 RUM=OSUM+RFR*0.07
SUN=OSUN+SRP*0.07
OSUN=OSUN+RFR*0.07
YUN=YUN+RFR*0.07
RUM=SUM+HPP(HD)*2.4
OSUN=OSUN+OVO(HD)*2.4
TRANSITO DE LA CARGA DE LAVADO (ROCK WASH LOAD)
325 DO 135 N=1, NAC
IF (NO=1) N=1
IF (NO=2) N=2
IF (NO=3) N=3
330 SUM(2)=SUM(2)+AC(INA)+MLA(HD-1)*A
335 CONTINUE
MLA(2)=RUM(2)+C1*SUM(1)+C2*MLB(1)
MLB(2)=SUN(2)
SUM(2)=SUM(2)
IF (MLA(2).LT.0.1) MLB(2)=0.0

45101
45102
45103
45104
45105
45106
45107
45108
45109
45110
45111
45112
45113
45114
45115
45116
45117
45118
45119
45120
45121
45122
45123
45124
45125
45126
45127
45128
45129
45130
45131
45132
45133
45134
45135
45136
45137
45138
45139
45140
45141
45142
45143
45144
45145
45146
45147
45148
45149
45150
45151
45152
45153
45154
45155
45156
45157
45158
45159
45160
45161
45162
45163
45164
45165
45166
45167
45168
45169
45170
45171
45172
45173
45174
45175
45176
45177
45178
45179
45180
45181
45182
45183
45184
45185
45186
45187
45188
45189
45190
45191
45192
45193
45194
45195
45196
45197
45198
45199
45200

71000
71001
71002
71003
71004
71005
71006
71007
71008
71009
71010
71011
71012
71013
71014
71015
71016
71017
71018
71019
71020
71021
71022
71023
71024
71025
71026
71027
71028
71029
71030
71031
71032
71033
71034
71035
71036
71037
71038
71039
71040
71041
71042
71043
71044
71045
71046
71047
71048
71049
71050
71051
71052
71053
71054
71055
71056
71057
71058
71059
71060
71061
71062
71063
71064
71065
71066
71067
71068
71069
71070
71071
71072
71073
71074
71075
71076
71077
71078
71079
71080
71081
71082
71083
71084
71085
71086
71087
71088
71089
71090
71091
71092
71093
71094
71095
71096
71097
71098
71099
71100

390 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)
410 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)
420 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)
430 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)
450 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)
460 DDW (DDW) DDW (DDW) DDW (DDW)

TERMINA LA IMPRESION ANUAL
TERMINA EL CICLO ANUAL TOTAL

90 FORIAT (1,1,1,1)
100 FORIAT (1,1,1,1)
200 FORIAT (1,1,1,1)
300 FORIAT (1,1,1,1)
400 FORIAT (1,1,1,1)
500 FORIAT (1,1,1,1)
600 FORIAT (1,1,1,1)
700 FORIAT (1,1,1,1)
800 FORIAT (1,1,1,1)
900 FORIAT (1,1,1,1)
1000 FORIAT (1,1,1,1)
1100 FORIAT (1,1,1,1)
1200 FORIAT (1,1,1,1)
1300 FORIAT (1,1,1,1)
1400 FORIAT (1,1,1,1)
1500 FORIAT (1,1,1,1)
1600 FORIAT (1,1,1,1)
1700 FORIAT (1,1,1,1)
1800 FORIAT (1,1,1,1)
1900 FORIAT (1,1,1,1)
2000 FORIAT (1,1,1,1)

71101
71102
71103
71104
71105
71106
71107
71108
71109
71110
71111
71112
71113
71114
71115
71116
71117
71118
71119
71120
71121
71122
71123
71124
71125
71126
71127
71128
71129
71130
71131
71132
71133
71134
71135
71136
71137
71138
71139
71140
71141
71142
71143
71144
71145
71146
71147
71148
71149
71150
71151
71152
71153
71154
71155
71156
71157
71158
71159
71160
71161
71162
71163
71164
71165
71166
71167
71168
71169
71170
71171
71172
71173
71174
71175
71176
71177
71178
71179
71180
71181
71182
71183
71184
71185
71186
71187
71188
71189
71190
71191
71192
71193
71194
71195
71196
71197
71198
71199
71200

A P E N D I C E D

FORMATO DE DATOS

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

1. The following information is being furnished to you for your information only. It is not intended to constitute an offer of insurance or any other financial product. The information is provided for your general information only and should not be relied upon as a basis for any investment decision. The information is provided for your general information only and should not be relied upon as a basis for any investment decision.

| Account No. | Product | Balance | Interest | Rate | Term | Notes |
|-------------|--------------|----------|----------|-------|------------|-------|
| 1001 | Checking | 100.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1002 | Savings | 500.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1003 | Money Market | 1000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1004 | CD | 2000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1005 | IRA | 5000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1006 | 401(k) | 10000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1007 | 529 Plan | 2000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1008 | Ugma | 1000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1009 | Trust | 5000.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |
| 1010 | Other | 100.00 | 0.00 | 0.00% | 12/31/2023 | |

| Year | Area | Value | Percentage | Change | Notes |
|------|------|-------|------------|--------|-------|
| 1960 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1961 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1962 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1963 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1964 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1965 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1966 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1967 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1968 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1969 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1970 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1971 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1972 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1973 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1974 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1975 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1976 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1977 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1978 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1979 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1980 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1981 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1982 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1983 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1984 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1985 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1986 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1987 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1988 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1989 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1990 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1991 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1992 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1993 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1994 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1995 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1996 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1997 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1998 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1999 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2000 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2001 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2002 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2003 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2004 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2005 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2006 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2007 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2008 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2009 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2010 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2011 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2012 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2013 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2014 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2015 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2016 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2017 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2018 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2019 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2020 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2021 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2022 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2023 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2024 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2025 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2026 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2027 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2028 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2029 | ... | ... | ... | ... | ... |
| 2030 | ... | ... | ... | ... | ... |

The following table shows the percentage change in the number of persons employed in the manufacturing industries in the United States from 1960 to 2030. The data is based on the 1960 Census of Manufacturing Industries and the 1970 Census of Manufacturing Industries. The percentages are calculated on the basis of the 1960 Census of Manufacturing Industries. The data is based on the 1960 Census of Manufacturing Industries and the 1970 Census of Manufacturing Industries. The percentages are calculated on the basis of the 1960 Census of Manufacturing Industries.

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 |
| 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 | 31 |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 | 37 |
| 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 | 38 |
| 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 |
| 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 | 42 |
| 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 | 43 |
| 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 |
| 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |

1. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

2. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

3. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

4. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

5. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

6. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

7. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

8. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

9. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

10. This document contains information that is classified as CONFIDENTIAL. It is to be controlled and disseminated only to those individuals who have been granted access to this information.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 |

A P E N D I C E E

RESULTADOS DE LA
CORRIDA No. 1

CUENCA DEL RIO UGILA, PARAMETROS DE LA CUENCA

ELEMENTOS DE TRANSFERENCIA: 0.01 0.02 0.20 0.03 0.30
APEN 700.00 CPO 0.0000 ACP 10 1.01 DCR 0.02 ACP 10 1.76 SIM(0) 100000.00 KCP 1000.00 JCP 1.0
KPC 400.00 JCP 3.0 KSE 30.0 JSE 2.5 KIP 0.010 KOP(0) 0.0

CUERCA DEL PISO MUELA) APRIL 1967

CARGA DE LAVADO (WASH LOAD) DIARIO EN TONS

MES 6 CARGA DE LAVADO (WASH LOAD)

| | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|------|
| 0.0 | 45.6 | 113.5 | 323.7 | 70.7 | 4.5 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 |
| 0.0 | 240.6 | 267.0 | 073.0 | 1000.1 | 253.0 | 00.0 |
| 5.0 | 0.3 | 10.2 | 1.2 | 0.0 | 1.0 | 1.2 |
| 0.1 | 100.7 | | | | | |

MES 7 CARGA DE LAVADO (WASH LOAD)

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| 100.2 | 0.0 | 1.0 | 3.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 |
| 202.7 | 070.0 | 29.1 | 1.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |
| 45.3 | 00.0 | 103.0 | 200.0 | 13.0 | 00.0 | 100.2 |
| 001.3 | 000.2 | 00.7 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 07.0 | 00.0 | | | | |

MES 8 CARGA DE LAVADO (WASH LOAD)

| | | | | | | |
|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 4.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 0.7 | 00.1 |
| 00.0 | 50.0 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 10.7 | 21.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 100.3 | 310.2 | 313.0 | 100.2 | 20.3 |
| 2.0 | 2.0 | 4.5 | | | | |

MES 9 CARGA DE LAVADO (WASH LOAD)

| | | | | | | |
|-------|------|-----|-----|------|-------|-------|
| 12.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 13.7 | 100.0 | 200.3 |
| 153.0 | 17.2 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 20.0 |
| 30.1 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |

| | | | | | | | |
|---|------|------|-------|------|-------|-------|------|
| | 0,0 | 0,0 | 120,0 | 75,0 | 4,0 | 52,0 | 41,5 |
| | 2,5 | 0,0 | | | | | |
| MES 10 CARGA DE LAVADO (WASH LOAD) | | | | | | | |
| | 0,0 | 0,0 | 2,5 | 19,5 | 250,5 | 100,7 | 15,5 |
| | 23,1 | 48,9 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

INTERCAMBIO (INTERLOAD) DIARIO EN TONS

MES 6 INTERCAMBIO (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| 0,5 | 4,2 | 32,2 | 27,0 | 16,0 | 13,0 | 11,7 | 10,7 | 20,3 | 9,0 | 9,0 | 0,0 | 17,3 | 19,0 | 11,5 |
| 10,0 | 47,0 | 610,0 | 723,5 | 200,0 | 100,0 | 110,0 | 900,0 | 100,0 | 90,1 | 100,0 | 85,1 | 70,1 | 60,0 | 50,7 |

MES 7 INTERCAMBIO (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 00,3 | 50,0 | 04,0 | 04,3 | 07,0 | 03,3 | 20,7 | 70,0 | 200,0 | 100,5 | 77,5 | 20,7 | 70,0 | 00,1 | 50,0 |
| 93,5 | 07,0 | 120,0 | 70,0 | 57,0 | 130,5 | 090,5 | 070,0 | 300,0 | 210,3 | 100,0 | 117,0 | 40,0 | 70,0 | 01,1 |
| 03,7 | | | | | | | | | | | | | | |

MES 8 INTERCAMBIO (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 51,2 | 49,0 | 00,7 | 39,1 | 20,3 | 37,1 | 20,3 | 30,0 | 20,0 | 29,0 | 20,5 | 32,0 | 32,7 | 51,3 | 30,0 |
| 30,0 | 00,7 | 33,2 | 37,0 | 02,1 | 01,0 | 20,7 | 30,0 | 33,0 | 70,3 | 00,7 | 120,0 | 00,0 | 02,0 | 00,7 |
| 01,0 | | | | | | | | | | | | | | |

MES 9 INTERCAMBIO (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 107,7 | 133,0 | 97,2 | 70,3 | 04,0 | 70,3 | 220,5 | 100,0 | 90,0 | 00,7 | 70,0 | 07,3 | 97,7 | 53,2 | 55,5 |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|

MEB 0 INTERCAMBIA (INTERCAMBIA)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

MEB 1 INTERCAMBIA (INTERCAMBIA)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

RESUMEN MENSUAL

JUN JUL ABO SEP OCT NOV DIC ENE FEB MAR APR MAY ANUAL

ENTRADAS

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-----|
| LLUVIA | 306.30 | 441.34 | 300.02 | 320.92 | 200.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1971.22 | 1.4 |
| FLUJO SUP. | 201.170 | 107.909 | 12.707 | 07.737 | 00.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 011.990 | 00 |

DIVISION POR TIPO DE CAPSA

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|-------|
| 0 DE LAV | 3010. | 3071. | 1100. | 1070. | 534. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0000. | 11710 |
| INTERCAMBIA | 3000. | 4177. | 1700. | 2075. | 2020. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 10020. | 10010 |
| N. FONDO | 5201. | 7370. | 3170. | 5230. | 0072. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 25750. | 11710 |

DIVISION POR OPCION DE COBISION

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|----|--------|------|
| GALPESIA | 2261. | 2120. | 412. | 652. | 519. | 0. | 04 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0720. | 1145 |
| LEVANTAR | 1638. | 645. | 254. | 172. | 13. | 0. | 04 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 2700. | 1048 |
| SUPR IMP | 30. | 28. | 12. | 10. | 9. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 90. | 1048 |
| GARCASAR | 5400. | 4377. | 2033. | 1711. | 1433. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 15010. | 1148 |

CAPSA TOTAL DIARIA EN TONS METRICAS

| DIA | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY |
|-----|--------|--------|-------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 23.0 | 581.2 | 263.0 | 1021.5 | 324.3 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 60.2 | 149.7 | 110.3 | 304.0 | 140.3 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 102.0 | 112.0 | 103.3 | 208.7 | 120.3 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 530.0 | 141.1 | 00.3 | 190.1 | 211.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 103.0 | 103.7 | 00.3 | 170.3 | 1000.3 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | 37.0 | 100.2 | 00.0 | 301.2 | 010.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 20.0 | 00.0 | 00.3 | 000.1 | 330.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 20.0 | 002.0 | 102.0 | 510.1 | 303.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 25.0 | 1055.0 | 100.5 | 271.1 | 001.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 20.3 | 300.3 | 05.0 | 207.5 | 307.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 22.3 | 170.0 | 00.0 | 105.0 | 230.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12 | 21.0 | 201.6 | 02.5 | 172.0 | 202.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 13 | 25.0 | 107.0 | 03.1 | 151.0 | 201.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14 | 32.5 | 105.6 | 130.4 | 107.2 | 170.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 15 | 20.1 | 170.0 | 00.5 | 170.0 | 170.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 16 | 252.0 | 100.0 | 77.4 | 123.0 | 101.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 17 | 301.0 | 200.0 | 170.0 | 110.3 | 200.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 2005.0 | 503.1 | 103.7 | 101.0 | 222.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19 | 2750.3 | 108.7 | 07.2 | 00.0 | 100.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|-------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 20 | 929.9 | 207.0 | 150.2 | 88.9 | 140.9 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 21 | 479.0 | 250.0 | 100.0 | 62.5 | 132.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22 | 390.0 | 700.0 | 120.1 | 60.5 | 117.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 23 | 360.1 | 7115.0 | 99.1 | 97.7 | 107.4 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 24 | 292.5 | 943.0 | 230.4 | 240.0 | 97.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | 235.2 | 947.0 | 475.0 | 900.1 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 26 | 265.0 | 371.0 | 535.1 | 315.7 | 87.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 27 | 213.0 | 271.2 | 451.4 | 275.9 | 79.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 28 | 190.7 | 210.0 | 340.2 | 440.3 | 77.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 29 | 100.0 | 170.5 | 213.0 | 200.9 | 71.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 30 | 327.7 | 212.0 | 245.9 | 200.0 | 60.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 31 | | 230.0 | 212.0 | | 170.3 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 |

027525 12015.0 10547.0 4190.0 9120.2 0070.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
 ANUAL
 00000031 7010

CUENCA DEL RIO ABILA AÑO 1968

CARGA DE LAVADO (MASH LOAD) DIARIO (MTRTOD)

ME8 6 CARGA DE LAVADO (MASH LOAD)

| | | | | | | |
|------|-------|-----|-------|-------|--------|------|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 2.3 | 0.0 |
| 0.0 | 10.0 | 2.1 | 367.3 | 130.3 | 1070.0 | 77.0 |
| 75.7 | 0.1 | 1.3 | 0.0 | 3.3 | 120.0 | 75.2 |
| 10.0 | 229.2 | | | | | |

ME8 7 CARGA DE LAVADO (MASH LOAD)

| | | | | | | |
|------|--------|-------|------|------|-------|-------|
| 54.5 | 103.3 | 20.5 | 1.3 | 91.0 | 107.0 | 10.7 |
| 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 17.3 | 19.0 | 20.3 | 33.1 | 1.7 | 0.0 | 0.3 |
| 70.0 | 105.1 | 0.9 | 0.0 | 71.1 | 000.0 | 175.0 |
| 22.3 | 1300.0 | 003.2 | | | | |

ME8 8 CARGA DE LAVADO (MASH LOAD)

| | | | | | | |
|-------|-------|------|-----|-----|-----|-------|
| 04.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 533.7 | 304.3 | 20.0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | 200.0 |
| 72.4 | 300.0 | 01.0 | 2.3 | 0.1 | 7.0 | 01.0 |
| 0.0 | 0.3 | 0.0 | | | | 0.0 |

ME8 9 CARGA DE LAVADO (MASH LOAD)

| | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 003.3 | 770.7 | 37.0 | 10.0 |
| 43.3 | 117.0 | 150.0 | 09.0 | 100.2 | 373.0 | 273.0 |
| 23.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
| | 0,0 | 0,0 | 1,7 | 02,4 | 2,6 | 0,0 | 0,0 |
| | 0,0 | 0,0 | | | | | |
| MES 10 CARGA DE LAVADO (MASH LOAD) | | | | | | | |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | 0,0 | 0,1 | 3,4 | 2,0 | 11,0 | 21,5 | 4,3 |
| | 3,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 3,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 1,0 |
| | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | | | |

INTERCARGA (INTERLOAD) DIARIO EN TONS

MES 6 INTERCARGA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 12,0 | 17,1 | 11,7 | 11,0 | 11,0 | 10,0 | 10,0 | 10,2 | 9,0 | 10,2 | 12,0 | 10,3 | 21,0 | 22,0 | 14,0 |
| 30,3 | 140,0 | 67,3 | 253,0 | 131,0 | 100,3 | 00,5 | 70,1 | 75,0 | 00,1 | 39,2 | 00,7 | 45,6 | 47,3 | 00,7 |

MES 7 INTERCARGA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|------|------|-------|
| 77,3 | 170,0 | 102,0 | 61,0 | 02,0 | 229,7 | 205,0 | 170,0 | 157,0 | 00,0 | 02,7 | 70,0 | 71,0 | 57,7 | 30,0 |
| 00,0 | 110,0 | 71,3 | 61,0 | 50,0 | 00,3 | 131,0 | 102,0 | 07,3 | 70,0 | 00,0 | 1070,3 | 71,2 | 20,0 | 102,0 |

MES 8 INTERCARGA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 130,3 | 101,7 | 00,6 | 00,1 | 00,0 | 101,0 | 105,0 | 107,3 | 02,7 | 71,1 | 07,0 | 50,1 | 00,0 | 10,0 | 200,0 |
| 00,0 | 00,0 | 73,0 | 10,7 | 72,0 | 300,0 | 000,3 | 300,2 | 200,0 | 103,1 | 130,2 | 200,0 | 100,0 | 113,1 | 00,0 |

MES 9 INTERCARGA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 03,3 | 53,3 | 40,0 | 07,0 | 04,1 | 100,0 | 233,0 | 201,2 | 70,0 | 000,0 | 300,0 | 200,3 | 71,0 | 170,0 | 100,1 |
|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|

MEZ 4 INTERCAPSA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

MEZ 5 INTERCAPSA (INTERLOAD)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 0,0 | | | | | | | | | | | | | | |

REVENUE MONTHLY

| | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | ANUAL | |
|----------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|----|
| ENTRADAS | | | | | | | | | | | | | | |
| LLUVIA | 450,20 | 417,00 | 460,31 | 470,17 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2237,07 | MM |
| PLUJA MW | 47,327 | 520,000 | 50,300 | 111,700 | 4,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 517,000 | MM |

REVENUE POR TIPO DE CARGA

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|----|----|----|----|--------|------|
| 0 DE LAV | 3600. | 4210. | 2110. | 2005. | 00. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 10750. | 1100 |
| INTERCAPSA | 1370. | 1203. | 4477. | 4210. | 2003. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 17012. | 1100 |
| M. PUNDO | 2000. | 1000. | 410. | 0000. | 0017. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 36300. | 1100 |

REVENUE POR TIPO DE EMISION

| | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | |
|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| BALPITAR | 902. | 1720. | 1904. | 1659. | 21. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 5091, 1968 |
| LEVANTAR | 2761. | 2447. | 607. | 1619. | 19. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 7003, 1968 |
| BAPO JIP | 36. | 03. | 33. | 14. | 2. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 120, 1968 |
| CARCAYAR | 2320. | 4700. | 7204. | 2540. | 31. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 0. | 11003, 1968 |

CARGA TOTAL DIARIA EN TONS METRICAS

| DTA | JUN | JUL | AUG | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY |
|-----|-------|-------|--------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 32.7 | 457.6 | 167.0 | 354.6 | 209.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 31.9 | 627.4 | 279.0 | 148.4 | 129.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 34.0 | 292.7 | 239.7 | 229.0 | 110.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 70.4 | 216.7 | 200.0 | 647.0 | 100.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 70.4 | 200.0 | 210.0 | 044.1 | 113.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 6 | 20.0 | 770.3 | 304.9 | 291.0 | 124.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 27.4 | 216.2 | 209.1 | 609.2 | 102.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | 70.0 | 070.0 | 293.1 | 640.0 | 109.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 9 | 75.0 | 312.0 | 273.0 | 750.0 | 95.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 10 | 27.0 | 750.3 | 194.0 | 2000.2 | 100.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 31.0 | 223.4 | 170.1 | 071.0 | 227.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 12 | 40.0 | 103.1 | 127.1 | 741.1 | 210.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 13 | 57.0 | 101.2 | 127.0 | 034.0 | 090.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 14 | 60.1 | 170.1 | 700.0 | 049.2 | 021.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 15 | 02.0 | 100.7 | 1033.0 | 173.2 | 202.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 16 | 100.1 | 177.0 | 700.0 | 202.0 | 021.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 17 | 202.0 | 217.0 | 201.0 | 200.0 | 207.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 510.3 | 270.0 | 291.3 | 201.0 | 221.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19 | 700.0 | 102.0 | 100.0 | 209.1 | 102.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 22 | 2041.3 | 134.3 | 100.4 | 260.6 | 195.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 21 | 900.0 | 113.6 | 900.0 | 217.0 | 169.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 22 | 262.0 | 472.1 | 1007.7 | 100.2 | 100.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 23 | 200.0 | 539.5 | 7072.6 | 250.7 | 142.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 24 | 190.2 | 243.0 | 708.2 | 309.5 | 130.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 25 | 127.0 | 190.2 | 510.2 | 390.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 26 | 100.7 | 205.0 | 307.2 | 273.7 | 200.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 27 | 235.2 | 3063.4 | 737.1 | 363.3 | 147.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 28 | 100.0 | 7150.3 | 420.0 | 101.0 | 122.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 29 | 130.1 | 770.0 | 315.3 | 105.7 | 115.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 30 | 455.0 | 1075.3 | 250.9 | 157.7 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 31 | | 1251.7 | 270.0 | | 90.0 | | | | | | | |

SINTEZIS
ANUAL

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0255.5 | 10770.0 | 15700.6 | 15041.9 | 7350.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
|--------|---------|---------|---------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

00950,00 TUNE