



SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA
INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA



INTENSIDADES MAXIMAS Y EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DOMINICANA

Información y Procedimientos

DTA – DT – 39
IICA – A/D-46/82

Departamento de Tierras y Aguas, SURENA
Convenio IICA – INDRHI
Santo Domingo, D. N.
Diciembre de 1982

1.847
HI
DT-39
46

ICA - 1.848
INDRHI
DTA - DT-39
AID - 46
1982

INDIA
PUNJAB
SIRSA

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

INTENSIDADES MAXIMAS Y EROSIVIDAD
DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DOMINICANA

Información y Procedimientos

DTA - DT - 39

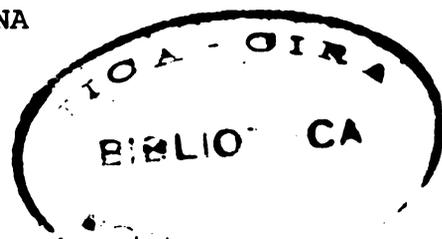
IICA - A/D-46/82

Departamento de Tierras y Aguas, SURENA

Convenio IICA - INDRHI

Santo Domingo, D.N.

Diciembre de 1982



CC
22DA
A

PROLOGO A ESTA EDICION

Este documento reemplaza el DT-50 del mismo nombre editado en Febrero de 1978. En esa oportunidad la edición consistió de 500 ejemplares que se distribuyeron entre los diversos organismos públicos y personas interesadas del sector público y privado. Existe actualmente mayor demanda por este tipo de información la que se pretende satisfacer con la presente edición de 1000 ejemplares.

El documento fué dirigido originalmente para usuarios del sector agropecuario en el diseño de pequeñas estructuras para el control y conducción del escurrimiento de lluvias y para la planificación del uso de las tierras donde se desea reducir el riesgo de erosión por las lluvias. Otros usuarios también lo han encontrado útil para el diseño de estructuras similares en aplicaciones viales y urbanas.

En esta oportunidad se presenta la información de lluvias procesada hasta 1980 y, en adición, como Anexos, los procedimientos utilizados y una metodología convencional para estimar la escurrimiento de diseño de pequeñas estructuras en base a la información de intensidades de lluvias contenida en el documento.

Esta edición se debe al esfuerzo de sus autores, al apoyo de las autoridades de sus respectivas instituciones, del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INDRHI) mediante el Convenio IICA-INDRHI.

Dr. Héctor Morales Jara, Director
Oficina del IICA en la República
Dominicana.

Ing. Miguel Gómez, Director
Departamento de Tierras y Aguas.

Santo Domingo, D.N.
Diciembre de 1982.

PARTICIPANTES

- Dr. Manuel Paulet, Especialista en Manejo y Conservación de Tierras y Aguas del IICA, supervisión y redacción.
- Ing. Ernesto Reyna, Especialista del Departamento de Tierras y Aguas, interpretación y análisis estadístico.
- Sr. Carlos Fábregas, Analista del Departamento de Tierras y Aguas, procesamiento de datos.
- Sr. Carlos Mercedes, Departamento de Inventario y Evaluación de Recursos Naturales, dibujos.
- Sra. Marisol Fernández de García, Secretaria Bilingüe del IICA, mecanografiado.

COLABORADORES

El personal de la División de Hidrología del INDRHI y de la División de Agroclimatología del Departamento de Meteorología por el aporte de los datos meteorológicos y, el personal del Departamento de Estadísticas y Cómputos de la SEA.

PROLOGO A LA EDICION DE 1978

Este trabajo se inició en Marzo de 1976 como parte de las actividades de la División de Conservación de Suelos y del IICA mediante el Convenio IICA-SEA-FEDA. Hasta fines de 1977 se habían analizado 315 años de registro distribuidos en 32 estaciones meteorológicas, habiéndose llenado aproximadamente 4000 hojas de registro de datos, 23 cajas de tarjetas IBM y varios kilos de hojas de impresión.

La erosión desde el punto de vista agrícola, es un fenómeno de arrastre originado principalmente por factores climáticos.

Aquí exclusivamente veremos el arrastre causado por las lluvias y más que nada el peligro potencial que éste representa, no sólo a nuestros suelos y producción agrícola, sino a nuestros embalses, lagos y lagunas, a los cuales va a caer este sedimento acumulándose y reduciendo considerablemente la vida útil de estos depósitos.

En este documento se presentan gráficos y cifras sobre las intensidades máximas y la capacidad erosiva de las lluvias sin pretender reflejar toda la información que es posible obtener de los análisis realizados, ya que el propósito del mismo es guiar actividades de conservación de suelos en terrenos relativamente pequeños. La información básica se continuará procesando para actualizar posteriormente este documento y para servir a diferentes usuarios que la requieran.

Aunque durante el período 1976-77 han habido cambios en los organismos involucrados, se desea dejar constancia del apoyo consistente con que ha contado este trabajo en forma continua. Así, se desea mencionar la cooperación del Ing. Luis Cruz, Jefe de la División de Hidrología e Ingeniero Félix Michelli, Jefe de la Sección de Hidroclimatología del INDRHI, Ing. Fernando Ferreira, Director del Departamento de Suelos hasta diciembre de 1976; Ing. Angel Félix Deñó, Jefe de la División de Agroclimatología del Departamento de Meteorología e Ing. Miguel Gómez Muñoz, Encargado de la División de Conservación de Suelos, Departamento de Suelos. Igualmente, se desea dejar constancia de la continua colaboración del IICA que hizo posible este trabajo no obstante que su compromiso contractual de asesoría con respecto al mismo, terminó en agosto de 1977, y a la Señora Josefina de Lorenzo quien mecanografió los originales del presente documento.

San Cristóbal, R. D.
Febrero de 1978.

Ing. Gustavo Tirado, Director
Departamento de Suelos.

PARTICIPANTES DE LA EDICION DE 1978

Convenio IICA-SEA-FEDA

Dr. Manuel Paulet Iturri, IICA, Asesor en Conservación de Suelos.

SEIECA, Departamento de Suelos

Ing. Miguel Gómez, Jefe de la División de Conservación de Suelos, Coordinación y Apoyo.

Ing. Ernesto Reyna, División de Conservación de Suelos, Análisis Estadísticos de resultados.

Sr. Carlos Fábregas, División de Conservación de Suelos, Interpretación de bandas del pluviógrafo.

Sr. Carlos Mercedes, Dibujante.

SRN, Departamento de Meteorología

Ing. José Francisco Febrillé, División Agroclimatología, Supervisión del trabajo en Santo Domingo -INDRHI-.

Otros Colaboradores

Por períodos han colaborado en la realización de este trabajo: Ing. Eugenio Contreras, DCS, agosto de 1976, Análisis Estadísticos; Señores Víctor Alba, José Duquela, Rafael Plácido y Alfredo Natalio, Departamento de Meteorología, 1976, Interpretación bandas; Víctor Arbelo, Gregorio Rivas y personal de perforación del Centro de Cómputos de la SEA; Agrón. Quintino Santana, DCS, Análisis varios.

LISTA DE CONTENIDO

	<u>Páginas</u>
1.0 INTRODUCCION	1
2.0 ANTECEDENTES	2
2.1 Conceptos Generales	2
2.2 Las Intensidades y la Erosión	4
2.2.1 Utilidad del Indice de Erosión de las Lluvias	6
2.3 Las Intensidades Máximas de las Lluvias	8
3.0 PROCEDIMIENTO	10
3.1 Información Básica Utilizada	10
3.2 Organización y Métodos	11
3.2.1 Estimado de R por Correlación	12
4.0 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LLUVIAS	13
4.1 Las Intensidades de las Lluvias en la República Dominicana.	13
4.1.1 Cómo se Usan los Gráficos de Intensidades	14
4.1.2 Duraciones Menores de 60 Minutos	14
4.2 La Capacidad Erosiva de las Lluvias de la República Dominicana.	15
4.2.1 Cómo se Obtiene la Información de Capacidad Erosiva de las Lluvias.	16
5.0 COMENTARIOS SOBRE LA AGRESIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DOMINICANA.	16
5.1 Apreciación Regional de las Intensidades y el Indice de Erosión.	16
5.1.1 Relación con las Características de Cada Lugar	19

	<u>Páginas</u>
5.2 Variabilidad de R	21
5.3 Errores y Limitaciones de este Trabajo	22
REFERENCIAS	24
CUADROS	26-34
FIGURAS	35-83
ANEXO A	
Procedimiento para la Obtención de las Intensidades Máximas de las Lluvias y de su Energía Erosiva.	A-1 a A-13
ANEXO B	
Procedimiento para el Análisis de Probabilidades y Obtención de la Relación Intensidad Máxima Vs. Duración de las Lluvias.	B-1 a B-14
ANEXO C	
Procedimiento para Estimar la Escorrentía de Diseño.	C-1 a C-23

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro No.</u>		<u>Páginas</u>
1	Estaciones Analizadas con Información Pluviométrica y Resultados Obtenidos de R e Imax 60.	26
2	Estaciones Pluviométricas para las cuales se estimó el Valor de R por Medio de Correlaciones	30
3	Algunos Valores de R en Distintas Partes del Mundo.	34

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>		
1	Factores para Hallar la Intensidad Máxima para Duraciones Menores de 60 Minutos.	35
<u>Figuras sobre las Frecuencias de Intensidades Máximas y Relación Intensidad-Duración.</u>		
2	Estación El Partido (0103)	36
3	Estación de Jarabacoa (0401)	37
4	Estación de Tavera (0402)	38
5	Estación de San José de las Matas (0403)	39
6	Estación de Santiago (0404)	40
7	Estación de Mao-Valverde (0406)	41
8	Estación La Antona (0408)	42
9	Estación de El Río (0409)	43
10	Estación de Manabao (0410)	44
11	Estación de Matagrande (0411)	45
12	Estación de Magua (0412)	46
13	Estación de Santo Domingo (0486)	47

<u>Figura No.</u>		<u>Páginas</u>
14	Estación de San Fco. de Macorís	48
15	Estación de Juma-Bonao	49
16	Estación de Limón del Yuna	50
17	Estación Los Quemados	51
18	Estación Hatillo-Yuna	52
19	Estación de Higüey	53
20	Estación El Seybo	54
21	Estación de Nizao	55
22	Estación de Valdesia	56
23	Estación La Laguna	57
24	Estación Peralta	58
25	Estación de Resolí	59
26	Estación San Juan de la Maguana	60
27	Estación El Peñón	61
28	Estación La Ciénaga	62
29	Estación La Florida	63
30	Estación de Neyba	64
31	Estación de Puerto Escondido	65
32	Estación de Angostura	66
33	Estación de Matayaya	67

Figuras sobre la Distribución Porcentual del Índice de Erosión.

34	Estación El Partido	68
35	Estación de Jarabacoa	
36	Estación de Tavera	69
37	Estación San José de las Matas	
38	Estación de Santiago	70
39	Estación Valerde Mao	
40	Estación La Antona	71
41	Estación El Río	

<u>Figura No.</u>		<u>Páginas</u>
42	Estación de Manabao (0410)	72
43	Estación Matagrande (0411)	
44	Estación de Magua (0412)	73
45	Estación de Santo Domingo (0486)	
46	Estación San Foo. de Macorís (1801)	74
47	Estación de Juma-Bonao (1802)	
48	Estación Limón del Yuna (1803)	75
49	Estación Los Quemados (1804)	
50	Estación Hatillo-Yuna (1806)	76
51	Estación de Higuey (2401)	
52	Estación El Seybo (3001)	77
53	Estación de Nizao (3801)	
54	Estación de Valdesia (3802)	78
55	Estación La Laguna (3804)	
56	Estación de Peralta (4601)	79
57	Estación de Resolí (4602)	
58	Estación San Juan de la Maguana (4903)	80
59	Estación El Peñón (4904)	
60	Estación La Ciénaga (4906)	81
61	Estación La Florida (4907)	
62	Estación de Neyba (5301)	82
63	Estación Puerto Escondido (5302)	
64	Estación de Angostura (5312)	83
65	Estación de Matayaya (5401)	

INTENSIDADES MAXIMAS Y EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DOMINICANA

1.0 INTRODUCCION

Con la finalidad de diseñar y construir pequeñas estructuras de control y conducción o evacuación del escurrimiento superficial, es necesario contar para el lugar específico con alguna medida de la forma como cae la lluvia en intervalos relativamente pequeños de tiempo. La intensidad de la lluvia, que generalmente se expresa en mm o cm de lluvia por hora, es una medida de ello. Además, la intensidad de la lluvia está en relación directa con la energía de la misma o su capacidad para producir erosión. El conocer la capacidad de las lluvias para producir erosión en un determinado lugar junto con otros factores como topografía y suelos, facilitan la selección de cultivos y tratamientos a la tierra cuando se tiene la intención de conseguir el uso racional de la misma.

Este documento tiene como objetivo presentar información de intensidades de las lluvias y de la capacidad de las lluvias para producir erosión en el territorio de la República Dominicana. La información debería servir principalmente: (a) para diseñar estructuras de control, conducción y/o evacuación del escurrimiento en áreas rurales y urbanas, y (b) para introducir el riesgo de erosión como elemento de juicio importante para planificar el uso de las tierras.

2.0 ANTECEDENTES

2.1 Conceptos Generales.

Las lluvias son manifestaciones de la dinámica del clima y de la influencia de variables físicas locales que originan modificaciones en la temperatura, humedad y presión de masas de aire sobre la tierra.

El tiempo es a menudo el factor que controla los problemas de prevenir la erosión, de retener la humedad necesaria, de aumentar la cantidad de agua por medio de riego y de evacuar el exceso de agua por medio del drenaje. Ya sea que exista en cantidad excesiva o que sea escasa o que esté mal distribuida, el agua es una de las mayores limitaciones para las actividades productivas y para la producción agrícola.

La existencia de vida -en cualquier forma- está supeditada a la existencia de agua, y las lluvias son la principal fuente de abastecimiento. De ahí la importancia de conocer cómo se comportan las lluvias para adecuar las actividades del hombre a este fenómeno natural.

Las lluvias en una región determinada, se distribuyen en el tiempo y en el espacio en forma variable tanto cuando se trata de una lluvia como de una secuencia de lluvias a través del año.

Indudablemente, una forma científica de estudiar las lluvias es mediante el análisis de las relaciones de causa-efecto de los factores que las afectan y que es de gran utilidad para la interpretación de los fenómenos atmosféricos y la elaboración de pronósticos del tiempo. Otra forma, es la observación de

las cantidades de la lluvia a través del tiempo, para estudiar las frecuencias de sus magnitudes y obtener conclusiones o leyes empíricas que permitan generalizar especulaciones sobre su comportamiento futuro. Con ello se buscan guías para tomar decisiones con relación al control, abastecimiento, conducción y almacenamiento de este recurso. Este trabajo se refiere a este segundo caso.

La intensidad de la lluvia tiene dos efectos principales (a) el impacto de la lluvia sobre la superficie del suelo es más fuerte por unidad de tiempo, a medida que aumenta la intensidad, (b) la intensidad de la lluvia es la principal responsable de las variaciones en el escurrimiento. Ambos efectos de la intensidad son de importancia para los procesos de formación de escorrentía y de la erosión de los suelos.

Generalmente, la principal fuente de escurrimiento -aquel que interesa controlar, conducir y almacenar- es la diferencia entre la intensidad de la lluvia y la infiltración de la superficie -ambas, con dimensiones de velocidad-.

La erosión se produce por el efecto combinado del impacto de las gotas de lluvia -que incide sobre la resistencia del suelo al desprendimiento de partículas y sobre las condiciones de infiltración del suelo-, y del escurrimiento que se concentra alcanzando volúmenes y velocidades de poder erosivo variables.

El análisis de intensidades se justifica por el efecto de la intensidad y porque dentro de una misma lluvia, de una duración determinada, la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo (concepto de intensidad), es variable.

Así por ejemplo, en una lluvia de dos horas de duración, si se observan las cantidades de agua precipitadas sobre un punto en las veinticuatro fracciones de cinco minutos, se podrá comprobar que éstas son distintas y, en general, que las magnitudes más altas se presentan en menor número de fracciones que las magnitudes más bajas. O sea, las intensidades instantáneas más altas son menos frecuentes que las menores intensidades. Debido a que, generalmente tanto las fallas de estructuras, como las situaciones en que la erosión hace mayores estragos, se presentan con las lluvias menos frecuentes y en los períodos de mayores intensidades, deseamos conocer cómo se caracterizan las intensidades de las lluvias en las diferentes regiones del país y tener alguna medida del efecto acumulativo de las mismas.

2.2 Las Intensidades y la Erosión.

En cuanto a los efectos de la intensidad, sabemos que ésta tiene relación directa con la energía -masa x velocidad²/2- ya que mayores intensidades están relacionadas con gotas más grandes y en mayor número por unidad de área -mayor masa y velocidad- que intensidades menores. De ahí su efecto directo sobre la erosión.

Existen estudios de muchos años que han servido para relacionar la intensidad de las lluvias -que se pueden medir con cierta facilidad- con la capacidad de las lluvias para producir erosión (Wischmeier, 1958 y 1959). Así, se encontró que existía correlación muy alta entre la erosión medida en parcelas bajo ciertas condiciones y por un período determinado de tiempo, y el resultado

de sumar los productos de la energía total de cada lluvia (E) por su correspondiente intensidad máxima de treinta minutos de duración (I_{30}); a este resultado, expresado como promedio de un período de varios años, se le llama índice de erosión de las lluvias R y representa la capacidad erosiva de las lluvias para el lugar en que se ha realizado el análisis.

La energía E que se menciona anteriormente, para cada lluvia^{1/} a su vez, es la suma de los incrementos de energía correspondiente a los intervalos de la lluvia en que se presentan intensidades iguales -esto se puede ver bien en una hoja de registro de un pluviógrafo-. Cada incremento de energía se calcula con la siguiente ecuación:

$$Y = 210.3 + 89 \log I$$

donde, Y es energía instantánea (Ton x m/Ha x cm de lluvia), en función de la intensidad I (cm/hora) del intervalo.^{2/} La cifra que se obtiene multiplicada por el número de cm de lluvia caídos durante el intervalo, da el incremento de energía dY. La suma de los incrementos dY da el valor E. El valor I_{30} es la intensidad durante el período de 30 minutos dentro de la lluvia, en que cayó más agua. El índice de erosión de las lluvias para un lugar R, es el promedio anual de la suma de los valores (EI), donde (EI) para cada lluvia es $EI_{30} / 100$.

^{1/} Se consideran lluvias independientes a aquellas de más de 1cm de lámina separadas por 6 horas sin lluvia, por lo menos.

^{2/} Cuando la intensidad I excede los 7.5 cm/hora, se utiliza ésta cifra, como límite para el cálculo de Y debido a que se ha encontrado que el diámetro medio de las gotas de lluvia no aumenta cuando la intensidad excede los 7.5 cm/hora (Wischmeier and Smith, 1978, p.5).

2.2.1 Utilidad del Índice de Erosión de las Lluvias.

El índice de erosión de las lluvias R es uno de los factores de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelos $A = RKLS^2C/P$, donde A es la erosión estimada en toneladas por hectárea por año en promedio, R es energía cinética por intensidad por año $(\text{Ton} \times \text{m}/\text{Ha}) \times (\text{cm}/\text{hora}) \times 10^{-2}$; K , es la erodabilidad del suelo en unidades de A por unidad del índice de erosión y varía generalmente entre 0.3 para suelos resistentes a la erosión a 0.6 para suelos susceptibles; el factor de longitud e inclinación de la pendiente LS es mayor a la unidad cuando la inclinación es mayor 9% y la longitud excede los 22m; C , es el cociente de dividir la erosión que se obtiene con una determinada condición de cobertura vegetal y manejo entre aquella que se obtiene de un suelo desnudo con labranzas a máxima pendiente; P , es el cociente de la erosión con y sin prácticas de control de la erosión. Los dos últimos factores valen uno o menos de uno.

En general, se puede apreciar que cuando se usan las tierras dejándolas al descubierto, la erosión esperada A es igual a $RKLS$ (ya que C y P valen la unidad) y que a medida que la inclinación de la pendiente aumenta sobre 9% y la longitud sobre 22m, la erosión esperada en un determinado lugar es el producto de RK por un factor creciente superior a la unidad.

En el documento de Wischmeier, W.H. and D.D. Smith (1978) se presentan procedimientos detallados para el uso de la ecuación y para encontrar los valores de los factores K , LS , C y P según las condiciones de cada lugar.

En castellano se puede encontrar alguna literatura (Paulet, 1973; Santana 1980, 1981).

La información de la capacidad erosiva de las lluvias que se requieren es el índice de erosión R y la distribución promedio mensual de las magnitudes en que se descompone el índice de erosión -que es el promedio de las sumas anuales-. Esta distribución promedio mensual, expresada en porcentajes sobre el total, sirve para ponderar el efecto del factor cultivo-manejo sobre la erosión. El factor C del cultivo o cobertura vegetal, es generalmente el más complicado de obtener ya que el grado de protección de la cobertura depende de la etapa de crecimiento (principalmente en cultivos de ciclo corto), del tipo de cultivo, de la secuencia del cultivo, de los rendimientos esperados, de la forma como se manejan los residuos de la cosecha, etc. Igualmente, las lluvias se distribuyen en forma desigual durante el año. En consecuencia, el factor C que se usa debe ser el resultado de ponderar los aspectos mencionados con la distribución en el año de la erosividad de las lluvias.

Si bien la ecuación universal es valiosa para evaluar las condiciones de los terrenos con relación al peligro de erosión actual, su contribución principal ha sido en el planeamiento del uso de las tierras agrícolas. La información en que se sustenta es el resultado de más de 20 años de investigaciones con parcelas de escurrimiento y diversos tratamientos principalmente en los Estados Unidos, aunque, actualmente se encuentran contribuciones en diversos países del mundo (incluyendo regiones tropicales) y también para áreas urbanas, forestales, caminos, rendimiento de sedimentos de las cuencas, etc. (SCSA, 1977).

Para el planeamiento, se establece un límite de tolerancia a la pérdida de suelo, generalmente hasta 10 Ton/Ha x año -menos de 1mm de espesor de suelo-, que serían el nivel de erosión al que habría que reducir el nivel actual modificando las condiciones de topografía y cobertura vegetal, y usando prácticas de control de la erosión.

El efecto relativo en la erosión de las variaciones de todos estos factores está cuantificado mediante muchos años de experiencia con parcelas de escorrentía. En consecuencia, es posible encontrar diversas alternativas de combinaciones de cultivos, secuencia de cultivos, formas de manejo y prácticas de control de la erosión, que den uso satisfactorio de la tierra, cuando se desea reducir la erosión al máximo tolerable. El programa de uso de la tierra que se elija debe ser compatible con los intereses económicos del usuario.

2.3. Las Intensidades Máximas de las Lluvias.

Como se indica anteriormente, la relación entre la intensidad y duración de la lluvia es inversa o sea, las mayores intensidades son menos frecuentes y de menor duración que intensidades de menor magnitud.

Si es de interés diseñar estructuras para conducir o controlar el agua de escurrimiento que se produce sobre un área determinada y se conoce cuánto tiempo se toman las aguas de escurrimiento, desde todos los puntos del área, en contribuir simultáneamente a la descarga -tiempo de concentración- entonces nos interesa también conocer cuál es la intensidad máxima, para una determinada probabilidad de ocurrencia, que puede mantenerse por una duración igual

al tiempo de concentración. Esta intensidad, cuando ocurra, dará la máxima descarga -escorrentía de diseño- que puede concentrarse en el punto de desague del área en cuestión, para la probabilidad de ocurrencia indicada. Si la duración de la lluvia es mayor que el tiempo de concentración, la intensidad será menor, y si la duración es menor, la intensidad de la lluvia puede ser mayor, pero no todos los puntos del área estarán contribuyendo a la descarga. En estos dos últimos casos la descarga será menor que la escorrentía de diseño.

Este es uno de los principios que se aplica para diseñar estructuras cuando las áreas de drenaje son relativamente pequeñas (menores de 1300 Ha). Para áreas grandes deben aplicarse otros métodos debido a que, a medida que aumenta el área, es menos válido el supuesto de que ocurrirá una intensidad uniforme efectiva para toda el área. Un método para estimar las descargas de áreas pequeñas, se describe en el Apéndice C,

Si se trata de áreas pequeñas (hasta 1300 Ha), generalmente es suficiente la información puntual de las intensidades: A medida que aumenta el área es necesario reducir los valores de las intensidades observadas en un punto, en una proporción que depende del área y del tipo de tormenta.

Se ha encontrado que el factor de reducción varía desde 1 hasta 0.6 en promedio, cuando el aumento del área va desde cero hasta 10,000 Km², respectivamente. El principio general es que si se trata de tormentas de corta duración la reducción con el incremento del área es mayor que si se trata de tormentas de larga duración (Wisler, C.O. and F.F. Brater, 1959 p.100). Como el propósito principal de este documento es presentar la información básica, en este caso, las frecuencias de magnitudes máximas de

intensidades, enviamos al lector a textos de referencia (Chow, Wisler and Brater, Schwab et. al, Nemeč y Linsley and Kohler), donde se explican en detalle los principios y diversos métodos de aplicación para el diseño de estructuras de conducción, control y almacenamiento de agua de escorrentía.

3.0 PROCEDIMIENTO

El trabajo consiste del análisis y procesamiento de los datos de lluvia contenidos en las bandas de los pluviógrafos instalados en el país. Los resultados presentan por cada lluvia, la duración, el total de cm precipitados, sus intensidades máximas de 15, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos de duración y, cuando la lluvia excede de 1 cm, su energía erosiva (EI). Con esta información se han obtenido para cada estación pluviográfica, gráficos de frecuencias de intensidades máximas para las duraciones indicadas, gráficos de la relación intensidad-duración y gráficos sobre la distribución porcentual del índice de erosión en el año. Además, se hicieron algunas correlaciones para completar información y poder dibujar el mapa de curvas de isoerosividad de las lluvias de la República Dominicana.

3.1 Información Básica Utilizada.

El Cuadro 1 presenta la lista de las estaciones que cuentan con pluviógrafos. Una de ellas, Santo Domingo, es operada por el Departamento de Meteorología de la SEA y el resto son operadas por el INDRHI. En total son 33 estaciones, aunque dos de ellas no se incluyen para los análisis de resultados por tener escasos datos.

Además, de las estaciones del INDRHI, se utilizaron 35 estaciones adicionales (Cuadro 2), de la red del Departamento de Meteorología^{1/}. Para estas estaciones se estimó el índice de erosión R en base a correlaciones con estaciones se estimó el índice de erosión R en base a correlaciones con estaciones cercanas que sí tenían pluviógrafo. La finalidad es aumentar la información de R para poder dibujar el mapa de curvas de isoerosividad de las lluvias.

3.2 Organización y Métodos.

El trabajo comprende dos aspectos principales (1) el procedimiento de datos, y (2) el análisis de resultados.

- (1) El procesamiento de los datos consiste de extraer la información de las bandas del pluviógrafo, su registro en formularios, la perforación y verificación de los datos en tarjetas -ahora se puede hacer usando métodos más modernos y eficientes- y, el cómputo que, en este caso, se realizó mediante una máquina IBM 370 instalada en la SEA en 1977. Este procedimiento se describe en detalle en el Apéndice A incluyendo las instrucciones para el uso del programa de cálculo escrito en FORTRAN IV.
- (2) El análisis de resultados consiste en la selección de las intensidades máximas anuales ^{2/} para cada duración -15, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos-, el análisis de frecuencias de cada serie y la representación gráfica de la relación intensidad-duración. El detalle de estos procedimientos

^{1/} El Departamento de Meteorología tenían una red de 72 estaciones meteorológicas en 1976.

^{2/} Con menos de ocho años de registro, se usaron parciales, o sea, tomando las intensidades mayores que una determinada magnitud, generalmente, la mínima de la serie anual. La teoría es que series anuales de mayor número de años incluye como máximos anuales, magnitudes inferiores a la máxima en un determinado año. O sea, la serie parcial trata de aproximarse a la serie anual de mayor número de años que incluye máximos anuales inferiores a los registrados.

se encuentra en el Apéndice B. Además, se obtienen los totales anuales y porcentajes mensuales del índice de erosión y su representación gráfica. Los totales anuales son el resultado de sumar los promedios mensuales de erosividad de las lluvias. Esto es así porque hay algunos meses de datos que faltan, o que se desechan por errores de manera que no es posible obtener coincidencia entre los promedios de las sumas anuales y las sumas de los promedios mensuales.

3.2.1 Estimado de R por Correlación.

Para elaborar el mapa de capacidad erosiva de las lluvias de todo el país -curvas de isoerosividad- fué necesario ampliar la densidad de estaciones, utilizando aquellas del Departamento de Meteorología. Las estaciones de Meteorología, salvo Santo Domingo, sólo cuentan con totalizadores diarios.

En la porción derecha del Cuadro 2 se presentan los resultados de la correlación entre los totales anuales de lluvia (CMTA) y los totales de las lluvias consideradas erosivas -1 cm o más de precipitación- (CMTE), para las estaciones con pluviógrafo que se utilizaron como estaciones X. O sea, en función de las cuales, se han estimado los valores de R para las estaciones sin pluviógrafo que se presentan en la porción izquierda del Cuadro 2 como estaciones Y. El valor CO es el promedio de la relación CMTE/CMTA. Cada valor de R estimado se ha obtenido de promediar los valores \hat{R} anuales encontrados con la relación $\hat{R} = a + b (CMTA \times CO)$, utilizando los totales anuales de lluvia de las estaciones Y como valores CMTA, y los valores CO de las estaciones X.

4.0 RESULTADOS DEL ANALISIS DE LLUVIAS

4.1 Las Intensidades de las Lluvias en la República Dominicana.

Los resultados del análisis de intensidades están graficados en las Figuras 2 a 33 ordenadas según el código de la estación, de menor a mayor. Las estaciones se encuentran ubicadas en el mapa de isoerosividad anexo con el código respectivo e indicadas por un triángulo lleno. Las coordenadas de las estaciones se encuentran en el Cuadro 1.

Por cada estación hay dos gráficos, el primero representa el análisis de frecuencias de las intensidades máximas observadas para cada duración; el segundo gráfico representa la relación intensidad-duración obtenida del primer gráfico para 2, 10 y 50 años de período de retorno: son las intensidades que corresponden a la intersección entre una línea vertical -la del período de retorno que se desea- con las curvas de frecuencias para cada duración.

4.1.1 Cómo se Usan los Gráficos de Intensidades.

El gráfico de frecuencias de intensidades máximas de cada estación indica para cada duración, las probabilidades de ocurrencia de magnitudes iguales o menores que aquella intensidad que se elija. Por ejemplo, en la Figura 2 se puede observar que hay un 95 por ciento de probabilidades de obtener magnitudes iguales o menores que 5.6 cm/hora cuando la duración es de 120 minutos. El uso principal de este gráfico -que se presenta para permitir al usuario utilizar períodos de retorno^{1/} o probabilidades diferentes-, está asociado con el del gráfico de la relación intensidad-duración, porque éste permite hallar las intensidades para duraciones distintas en formas continua.

Cada gráfico de la relación intensidad-duración presenta en el extremo superior derecho un pequeño cuadro con las intensidades halladas del gráfico anterior para dibujar esta relación. Ejemplo, la intensidad máxima de 90 minutos con un período de retorno de 50 años para la localidad de Jarabacoa, es de 4.5 cm/hora (ver las curvas de la Figura 3). Anteriormente se han citado algunas indicaciones y referencias sobre la aplicación de esta información.

4.1.2 Duraciones Menores de 60 Minutos.

El análisis de intensidades de lluvia proviene de registros realizados por pluviógrafos en bandas que tienen intervalos de tiempo variables según el tipo de pluviógrafo. Cuando las bandas enteras cubren

^{1/} El período de retorno es la inversa de la probabilidad de obtener un valor igual o mayor que aquel que se elija. En este caso $T_r = (1 - \text{Prob})$.

un período de 24 horas es posible hacer el análisis para duraciones pequeñas. Cuando las bandas cubren un período de una semana es difícil, por simple observación, registrar las variaciones que ocurren en períodos menores de una hora y en todo caso, estos son muy imprecisos. Sólo en la estación de Santo Domingo, las bandas son de 24 horas, las demás son semanales. Por ello, no son confiables las magnitudes obtenidas del análisis de bandas para duraciones menores de 60 minutos.

El gráfico de la Figura 1, da un factor de corrección para hallar la intensidad de lluvia correspondiente a duraciones menores de 60 minutos cuando se conoce la intensidad en 60 minutos. Las intensidades de 60 minutos se pueden obtener del Cuadro 1 ó de las Figuras 2 a 33. Ejemplo, si la intensidad máxima de 60 minutos es 2.8 cm/hora y se desea conocer aquella máxima correspondiente a 20 minutos, se lee en el gráfico.

$$I_{20}/I_{60} = 1.98$$

$$I_{20} = I_{60} \times 1.98 = 5.54 \text{ cm/hora}$$

4.2 La Capacidad Erosiva de las Lluvias de la República Dominicana.

La capacidad erosiva de las lluvias está representada por el índice de erosión R promedio anual y por su distribución porcentual mensual en el año. Esta información se presenta en las Figuras 34 a 65 para las estaciones con pluviógrafo. Además, se presenta un mapa con curvas de igual erosividad de las lluvias para todo el país.

4.2.1 Cómo se Obtiene la Información de Capacidad Erosiva de las Lluvias

El factor R se obtiene del mapa de isoerosividad de las lluvias por interpolación para el lugar que se desee. La distribución porcentual del índice de erosión se obtienen de la figura correspondiente a la estación -indicada con triángulo lleno en el mapa- más cercana del lugar. En un capítulo anterior se dan algunas indicaciones y referencias sobre la aplicación de esta información.

5.0 COMENTARIOS SOBRE LA AGRESIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REPUBLICA DOMINICANA

5.1 Apreciación regional de las intensidades y el índice de erosión.

Indudablemente, las intensidades máximas y la capacidad erosiva son índices de la agresividad de las lluvias. La capacidad erosiva de las lluvias, además de haberse encontrado en función de las intensidades incluye el efecto acumulativo de las lluvias y su relación con la erosión medida experimentalmente, por lo que, se puede considerar como el más significativo de los índices.

La porción derecha del Cuadro 1 presenta las intensidades máximas de 60 minutos de duración para las estaciones analizadas. Puede observarse la gran variación existente dentro de las cuencas y entre las cuencas. Así, por ejemplo, para 10 años de período de retorno en el Yaque del Norte la variación es de 3.9 a 8.4 cm/hora, de 5.1 a 12.2 cm/hora en la cuenca del Yuna, de 6.3 a 11.5 cm/hora en Nizao y de 4 a 9.4 cm/hora en el Yaque del Sur. Las mayores intensidades se presentan cerca a Bonaó, Valdesia, y en el frente norte de la cordillera central.

Comparativamente con algunos lugares del mundo donde se tiene esta información (Cuadro 3) la República Dominicana tiene valores de R entre los más altos aunque el rango de variación de R es amplio.

En el mapa de isoerosividad de las lluvias del país se puede observar que las zonas donde el potencial erosivo de las lluvias es mayor coincide con la posición de las cordilleras. La excepción es la región Este del país, donde el relieve es bajo y la erosividad es alta disminuyendo hacia el extremo Este. Las Zonas donde el potencial erosivo de las lluvias es bajo, en relación con el resto del país, coincide con la llanura de inundación del Río Yaque del Norte, porción noroeste de la cuenca del río Yuna -entre Santiago y San Francisco de Macorís- y, en el Suroeste, en la línea entre Baní, Azua y Jimaní.

Los valores de R realmente adquieren mayor significación cuando se complementan con información de las condiciones topográficas, suelos y uso de la tierra. Comparativamente el peligro es mayor con valores de R relativamente bajos en zonas de equilibrio inestable donde la topografía es accidentada y donde períodos de sequías frecuentes impiden el establecimiento de una buena cobertura vegetal natural. Esta es una condición que se presenta en parte de las formaciones ecológicas monte espinoso y bosque seco subtropical (Ver CEA, 1967) y, con alguna frecuencia, en el bosque húmedo subtropical. Las primeras dos formaciones abarcan el 23 por ciento del territorio y se localizan principalmente en las partes medias y bajas de las cuencas tributarias de la margen

izquierda del Yaque del Norte -Santiago y Mao hasta Pepillo Salcedo y áreas aledañas-, parte media baja de la cuenca del Yaque del Sur, Valdesia, Baní, Azua, San Juan de la Maguana y hoya del Lago Enriquillo. El bosque húmedo subtropical abarca el 47 por ciento del territorio y se localiza en áreas más altas y accidentadas sobre los mismos lugares mencionados y también en la llanura costera del atlántico, cuenca del río Yuna y región Este del país donde el relieve es más moderado y donde se encuentran los mejores suelos en uso actual. Son lugares críticos de esta formación, las cuencas aledañas a Jánico, San José de las Matas, Santiago Rodríguez y Dajabón en la línea Noroeste, tributarios de la margen derecha del río Yuna -Bonaó, Cotuí-, y en el Sur Las Matas de Farfán, Elías Piña, San Cristóbal y Cuenca del río Ozama (Santo Domingo). Conforme la humedad aumenta es posible encontrar una condición de equilibrio más favorable, en estado natural, desde el punto de vista de la protección contra la erosión, pero, es hacia esas zonas donde se observa la penetración de usuarios precarios que practican la deforestación para ubicar allí sus conucos en un proceso de uso migratorio de las tierras. Allí la erosión que se produce por unidad de área puede ser grande cuando se combinan las condiciones de topografía accidentada, suelos sin protección y lluvias de gran agresividad. Faltaría ver el orden de magnitud en que esto ocurre y hacer un balance entre la pérdida de los suelos, pérdida del recurso agua y forestal y daños que se pueden producir aguas abajo, con los gastos que puede ocasionar el manejo de esta situación.

5.1.1 Relación con las Características de cada lugar.

Sería materia de estudios especiales relacionar la información que aquí se presenta con aquella existente de los suelos del país y las condiciones de topografía y uso de la tierra para apreciar en su verdadera dimensión la magnitud del problema de erosión. Es la intención de este trabajo, proporcionar información de las lluvias, para permitir el estudio de casos específicos que tengan la finalidad de proponer programas de trabajo para solucionar el problema. Sin embargo, podemos ilustrar la utilidad de esta información con el siguiente ejemplo. Si estimamos que la pérdida de un centímetro de espesor de suelo por erosión equivale a 150 Ton/Ha -considerando 1.5 Ton/m^3 , la densidad aparente del sedimento-, podemos apreciar la magnitud de la erosión probable debido a las lluvias según el lugar. Un suelo con reducida cobertura y con labranzas tiene un valor C cercano a la unidad y $P=1$; si la longitud de la pendiente es superior a 22 m y la inclinación de la pendiente superior a 9 por ciento, el factor IS es superior a la unidad quedando sólo las características del suelo para atenuar el potencial de las Lluvias^{1/}.

^{1/} Ver Wischmeier 1978 y/o Paulet, 1973 o Santana 1981, para encontrar la información y procedimientos para los factores de la ecuación universal de predicción de pérdida de suelo.

La susceptibilidad del suelo a la erosión aumenta con el contenido de limo y arena fina, y disminuye con el contenido de arcilla y materia orgánica, así como, con las condiciones que favorecen una buena estructura y permeabilidad del perfil ^{1/}. Se puede considerar un suelo resistente a la erosión con un $K = 0.30$ (y un suelo susceptible $K = 0.60$). En consecuencia, bajo las condiciones indicadas por ejemplo, en Santiago Rodríguez donde $R = 1100$ (ver mapa) la erosión esperada sería $A = RKLSCP = 1100 \times 0.3 \times 1 \times 1 = 330 \text{ Ton/Ha} \times \text{año}$. Según lo mencionado anteriormente, esto equivaldría a una pérdida promedio de espesor de suelo de más de 2 cm por año. Esta cantidad es variable en la medida en que fueran variables los factores K , LS , C y P . Sin embargo, es bueno considerar que, ya que para formar 1 cm de suelo agrícola se requiere el trabajo de los factores de formación del suelo durante cientos o miles de años, la tolerancia a la pérdida de suelo por erosión es baja, y en condiciones normales no debe exceder a las 10 Ton/Ha x año. Esto es, 10/150, menos de 7mm de espesor de suelo por año.

^{1/} Ver Wischmeier, 1971.

5.2 Variabilidad de R.

Las ecuaciones de predicción de R (Cuadro 2) dan información sobre la agresividad de las lluvias. Los coeficientes de determinación r^2 , en la mayoría de los casos, son altos indicando un alto grado de asociación entre la cantidad total anual de lluvia con más de 1 cm de precipitación (CMIE) y R anual, además, se puede observar que existe variación en los coeficientes de regresión b (pendiente de la línea de regresión) lo que indica que en algunos lugares la variación de R por unidad de CMIE es más alta que en otros. Esto significa, por ejemplo, que en Santo Domingo el rango de variación de R anual es mayor que en Higuey y que una unidad de CMIE es más erosiva en Santo Domingo que en Higuey.

Los valores de R promedio anual en estos dos sitios son similares (Cuadro 1), pero según el análisis indicado, las lluvias son más agresivas en Santo Domingo que en Higuey.

Se podría concluir indudablemente, que los promedios de R no explican cabalmente la capacidad erosiva de las lluvias en un año y que esta situación es más grave conforme b es mayor (o el rango de variación de R con relación a CMIE es mayor). Esta es una condición típica de zonas montañosas y parece ser una de las razones por las que aun no se han establecido los mejores criterios para hallar y usar R en la región occidental de los Estados Unidos, oeste de las montañas rocosas (ver SCSA, 1977). Una forma de obviar esto sería el usar, para casos específicos, valores probables de R (ejemplo, aquel valor que no va a ser excedido con una probabilidad del 75 por ciento). Aunque se cuenta con la información básica, el análisis no se ha realizado porque el propósito

principal de este documento es presentar índices que dan un orden de magnitud para guiar el planeamiento del uso de las tierras en áreas relativamente pequeñas. Bajo este supuesto, no interesa tanto la erosión esperada en un año determinado, sino aquella que es el resultado de sumar la erosión total en un número grande de años dividida por el número de años.

5.3 Errores y Limitaciones de este Trabajo.

La información que se presenta puede usarse para los fines propuestos, aunque, puede y debe modificarse en el futuro, de ser posible, en forma periódica (cada 5 años por ejemplo), para ir reduciendo las restricciones derivadas de errores de registro y procesamiento, escasez de datos en determinadas áreas y reducido número de años de registro de las estaciones.

En el Cuadro 1, puede observarse la heterogeneidad en cuanto al período de años de registro de las estaciones con pluviógrafo. Estas tienen desde 3 años hasta 39 años. Es normal que las especulaciones que se pueden hacer en base a datos meteorológicos son tanto más válidas cuanto mayor es el número de años de observaciones. Generalmente, se considera adecuado un período de 20 años. En períodos cortos, pueden no haberse registrado magnitudes que son características del clima del lugar conduciendo, por lo tanto, a conclusiones erróneas.

Un factor de importancia en los errores presentes en este trabajo, es la discontinuidad de datos por fallas en el funcionamiento del pluviógrafo o simplemente, por descuido del observador. En la medida que fué posible, cuando habían períodos sin datos, se comprobaba con registros del totalizador diario (pluviómetro) si había habido lluvia y, según ello, se consideraba como cero -si no había lluvia-, o, si había llovido, se desechaba el período. En el segundo caso, si hubo lluvia y no se registró en el pluviógrafo, se seguía el siguiente procedimiento

a) Para la erosividad de las lluvias, se desechaba todo el período ampliándolo hasta completar un mes de aproximación; (b) para el análisis de intensidades, si el período sin datos coincidía con la época conocida como más lluviosa, se desechaba todo el año.

La escasez de datos en algunas áreas determinó la necesidad de estimarlas usando correlaciones de R con totales de precipitación. No obstante que se usó una cifra (CO) de la relación entre el total de lluvia erosiva y la lluvia total (ver procedimiento aparte), se considera que aun obteniéndose una buena ecuación de predicción de R (alto coeficiente de determinación) persiste el hecho de que es una suposición que el valor CO de la ecuación de predicción puede aplicarse a otras estaciones. Además, no en todos los casos la correlación es buena (Cuadro 2).

REFERENCIAS

- Chow, Ven Te. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw Hill Book Co.
- Linsley, R.K.A. Kohler and J.L. Paulhus, 1958. Hidrology for Engineers. McGraw Hill Book Co.
- Nemec, J. 1972. Engineering Hidrology. McGraw Hill Book Co.
- OEA, 1967. Reconocimiento y Evaluación de los Recursos Naturales de la República Dominicana. Organización de los Estados Americanos. Washington, D.C.
- Paulet, M. 1973. Guía para el Planeamiento del Uso de las Tierras Agrícolas en las Zonas de Lluvia del Perú. Publicación DRAT. Universidad Nacional Agraria. La Molina, Lima, Perú.
- 1976. Análisis de Intensidades de las Lluvias. Convenio IICA/SEA/FEDA. DT-20.
- 1976. Estimado de la Escorrentía de Diseño. Convenio IICA/SEA/FEDA. DT-25.
- 1976. Relación Intensidad-Duración de las Lluvias. Convenio IICA/SEA/FEDA. DT-28
- SCSA. 1977. Soil Erosion: Prediction and Control. Proceedings of a National Conference on Soil Erosion. Soil Conservation Society of America. Special Publication No.21. Ankeny, Iowa, USA.
- Schwab G.O., R.K. Frevert, T.W. Edminster, D.D. Barnes. 1966. Soil and Water Conservation Engineering. 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc.
- Santana, Q. 1980. Guía para el Planeamiento del Uso de las Tierras de Secano en la República Dominicana. SEA, Depto. Tierras y Aguas. Documento Técnico No.5.
- 1981. Manual de Planes de Conservación de Fincas. SEA, Depto. Tierras y Aguas. Documento Técnico No.13.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1958. Rainfall Energy and its Relationship to Soil Loss. Trans. Am. Geo. Un. 39 (2): 285-291.
- Wischmeier, W.H., C.B. Johnson, and B. V. Cross. 1971. Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites. Journal of Soil and Water Conservation. 26: 189-193.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. Agr. Handbook No. 537. U.S. Dept. Agriculture, Washington, D.C. USA.

Wisler, C.O. and E.F. Brater. 1959. Hydrology. John Wiley & Sons. Inc.

CUADRO 1. Estaciones Analizadas con Información Pluviográfica y Resultados Obtenidos de Re Inax 60.

Nombre de la Estación	Latitud		Longitud		Elevación		Lluvia Anual		Inax 60 Minutos		
	G	M- S	G	M- S	m. s. n. m.	Promedio	R/N	Tr=2	Tr=10	Tr=50	
							(1)	(2)	(3)	(4)	
<u>Cuenca del Yague del Norte</u>											
0102 Don Miguel	19-30-10		71-40-40		45	155.0	(5)/4	1.3	2.9	4.3	
0103 El Partido	19-29-20		71-33-20		200	142.4	1314/20	6.3	8.4	9.8	
0 Jarabacoa	19-07-50		70-38-00		500	153.7	457/12	3.4	4.6	5.4	
0402 Tavera	19-17-00		70-43-05		300	125.1	229/6	3.4	3.9	6.3	
0403 S.J. Matas	19-20-10		70-56-20		530	118.7	588/10	4.3	5.8	6.9	
0404 Santiago	19-26-45		70-44-45		160	87.5	321/11	3.5	6.2	8.6	
0406 Mao	19-35-17		71-03-05		90	71.5	275/12	3.8	4.8	5.6	
0408 Antona	19-38-00		71-24-10		48	75.3	351/12	3.6	5.3	6.6	
0409 El Río	18-58-50		70-37-40		1120	126.3	328/12	3.5	4.2	5.0	
0410 Manabao	19-03-50		70-47-40		900	152.5	702/18	4.5	7.1	9.5	
0411 Matagrande	19-12-30		70-59-15		1000	172.9	1208/19	4.5	9.2	14.0	
0412 Magua	19-23-13		71-07-17		220	111.0	866/18	5.2	7.2	8.8	
<u>Santo Domingo</u>											
0486 Santo Domingo	18-29-		69-55		47	133.7	390/39	3.0	7.5	13.2	

.../...

CUADRO 1 (continuación)

Nombre de la Estación	Latitud G- M- S	Longitud G- M- S	Elevación m.s.n.m.	Lluvia Anual Promedio	R/N	Imax 60 Minutos			
						TY=2	TY=10	TY=50	TY=100
					(1)	(2)	(3)	(4)	
<u>Cuenca del Yuna</u>									
1801	S. F. Macoris	19-17-10	70-14-25	110	143.6	407/11	3.2	5.1	6.9
1802	Juma, Bonao	18-54-00	70-23-10	178	205.5	834/6	4.1	12.2	20.5
1803	Limón del Yuna	19-09-10	69-49-10	8	162.1	789/11	4.9	10.5	16.5
1804	Quemados	18-53-30	70-27-30	250	219.6	1245/15	5.8	9.6	12.8
1806	Hatillo	18-56-50	70-15-10	80	217.2	1315/3	5.0	8.8	12.3
<u>Este del País</u>									
2401	Higüey	18-37-20	68-42-05	90	134.6	369/9	3.9	8.0	12.5
3001	El Seybo	18-45-55	69-02-40	100	131.4	651/11	4.8	7.2	9.2
<u>Cuenca de Nizao</u>									
3801	Nizao	18-36-53	70-27-07	580	107.0	422/11	3.8	6.3	8.2
3802	Valdesia	18-24-30	70-16-50	160	151.1	1089/17	5.1	11.5	16.1
3804	La Laguna	18-32-30	70-24-45	1170	101.6	453/11	2.5	6.5	9.3
<u>Azua</u>									
4601	Peralta	18-35-00	70-46-30	500	129.8	1223/7	5.7	7.5	8.8
4602	Resolí	18-27-45	70-43-55	140	53.3	211/9	2.88	2.95	4.8

•/••

CUADRO 1 (continuación)

Nombre de la Estación	Longitud		Latitud		Elevación m.s.n.m.	Lluvia Anual Promedio	R/N	Imax 60 Minutos				
	G	M-S	G	M-S				Tr=2	Tr=10	Tr=50	(1)	(2)
<u>Cuenca del Yaque del Sur</u>												
4903	S. J. Maguana	18-45-27	71-09-02	378	74.6	329/5	2.6	4.0	5.1			
4904	Peñón	18-17-47	71-11-16	4	69.2	379/6	3.0	5.5	9.0			
4906	La Ciénaga	19-04-54	71-17-36	861	102.7	729/15	4.5	5.8	6.8			
4907	La Florida	18-49-40	71-05-28	520	119.3	1095/19	5.8	9.4	12.7			
<u>Sur-Oeste</u>												
5301	Neyba	18-26-17	71-26-15	100	54.5	155/5	1.8	3.5	5.3			
5302	P. Escondido	18-19-15	71-34-20	400	62.8	134/5	2.4	3.2	3.8			
5312	Angostura	18-16-12	71-23-46	35	54.3	432/4	4.1	5.4	6.5			
<u>Cuenca del Artibonite</u>												
5401	Matayaya	18-53-00	71-35-18	430	78.1	614/5	3.8	4.6	5.1			

Notas del Cuadro 1.

- (1) R es el índice de erosión anual en (Ton-m/Ha) x (cm/hora) x 10^{-2} y N es el número de años de registro en que se hizo el análisis.

(2), (3) y (4)

Se dan las intensidades máximas anuales para una duración de 60 minutos que han ocurrido en las estaciones respectivas con una frecuencia promedio de 50, 10 y 2 por ciento, respectivamente (o un período de retorno -tr- de 2, 10 y 50 años). Con ayuda del gráfico de la Figura 1 se pueden obtener las intensidades para períodos de duración menores de 60 minutos. Para períodos mayores, referirse a los gráficos intensidad-duración.

- (5) Estaciones que fueron analizadas pero sus resultados no se informan debido a que tienen un período de operación muy corto o hay discontinuidad en los registros o muchos errores. En esta situación están Angostura (5312), Engombe (3401), Najayo (3803), Juma-Bonao (1802) y Don Miguel (0102).

CUADRO 2. Estaciones Pluviométricas para las cuales se estimó el Valor de R por medio de Correlaciones.

ESTACION Y (1)		ESTACION X (2)						
Nombre de la Estación	Latitud G-M	Longitud G-M	Elevación M m.s.n.m.	Lluvia Prom. Anual Cm	R Estimado Ton/Ha	Equación de Predicción a b CO/Soo	r ² (6)	Nombre Estación
0256 Samaná	19-12	69-20	7	229.1	1162	21.77	(4) 6.37 (5) .78/.05 (6) .63	1803 L.Yuna
0435 G. Hernández	19-37	70-16	15	204.8	1039			
0387 Nagua	19-22	69-50	3	206.1	1046			
0485 Aeropuerto	18-26	69-40	14	115.6	835	-17.28	10.10 .73/.11	0486 Sto.Dgo.
0460 Yamasá	18-46	70-01	69	214.1	1561			
0365 Monte Plata	18-48	69-47	56	184.4	1394			
0715 Pedernales	18-02	71-44	11	55.8	196	-48.53	6.68 0.65/.13	4904 El Peñón
0797 Jimaní	18-29	71-51	31	76.3	446			
0685 Enriqueillo	17-54	71-14	3	145.7	582			
0759 El Cercado	18-43	71-31	21	118.9	722			
0668 Oviedo	17-47	71-22	3	82.6	310			
0754 Hondo Valle	18-43	71-41	890	163.3	1009			
0626 Polo	18-04	71-17	703	214.4	886			
0784 Elías Piña	18-52	71-42	387	175.1	1097			
0715 La Descubierta	18-34	71-44	18	65.3	375			
0591 Moca	19-23	70-31	83	117.0	438	-75.88	6.45 .68/.18 0.69	1801 S.F.M.
0467 Sabana de la Mar	19-03	69-25	10	253.0	1574	-224.07	11.34 .74/.06	3001 El Seybo
0291 Miches	18-59	69-03	3	186.7	1348			
0199 La Romana	18-25	68-58	23	104.5	693			

Continuación del Cuadro 2

(Ver notas al final del Cuadro)

Nombre de la Estación	E S T A C I O N Y (1)			E S T A C I O N X (2)					Nombre Estación	
	Latitud G-M	Longitud G-M	Elevación M m.s.n.m	Lluvia Prom. Anual cm	R Estimado Ton/Ha	Ecuación de Predicción				
					a	b	CO/SOO	r ²		
0255 H. Mayor	18-45	69-15	102	161.5	1133	-224.07	11.34	.74/.06	.75	3001 El Seybo
0296 S.P. Macorís	18-27	69-10	3	101.2	625					
0193 S. R. Yuma	18-25	68-40	54	144.0	379	6.45	7.69	.59/.18	.70	2401 Higüey
0478 C. Engaño	18-37	68-19	2	113.0	519					
0309 Cevicos	19-00	69-58	90	210.3	1398	-83.85	8.79	.80/.08	.24	1804 Los Que
584 Constanza	18-54	70-44	1164	103.1	324	-105.12	5.48	0.77/.05	.80	0401 Jarabacoa
773 Restauración	19-19	71-41	594	174.6	1787	-814.8	17.33	.86/.02	.68	0412 Magua Y
608 Stgo. Rodríguez	19-28	71-20	129	133.0	1166					0103 Partido
783 Monte Cristi	19-51	71-38	7	67.0	213					
659 Villa Vásquez	19-44	71-26	24	67.7	250					
714 Dajabón	19-33	71-42	36	142.6	1310					
557 Imbert	19-45	70-50	124	170.8	849	-78.28	8.10	0.67/.11	0.84	0404 Santiago
546 Altamira	19-40	70-50	310	188.6	944					
589 Luperón	19-53	70-57	4	127.1	611					

.../...

Notas del Cuadro 2.

- (1) Estación Y; estación a la que se le estima el Valor R, en función de la información de las estaciones Y.
- (2) Estación X, es la estación con pluviógrafo cuya información de R se utilizó para proyectarla a las estaciones Y sin pluviógrafo.
- (5) \bar{CO} , es el promedio de las relaciones $CMIE/CMTA$ de las estaciones X, donde $CMIE$ es la cantidad de lluvia erosiva anual (lluvias mayores de 1 cm) y $CMTA$ es la lluvia total anual. S_{CO} , es la desviación estándar de los valores CO anuales con relación al promedio.
- (3), (4) Son los coeficientes de regresión -a y b- y de determinación de la ecuación de predicción $R = a + b (CMTA \times CO)$, y (6) donde R es el valor estimado de la estación Y, $CMTA$ es la lluvia total anual de la estación para la que desea estimar R, CO se explica en (5); "a" y "b" se obtienen de un análisis de correlación entre R y $CMIE$ de las estaciones X.

CUADRO 3. Algunos Valores de R en Distintas Partes del Mundo

Países ^{1/}	Rango de ^{2/} R (Unid. Métricas)		Observaciones y Lugares Aproximados
U. S. A.			
Noreste	100	400	Desde Maine hasta Maryland
Sureste	400	900	Desde Maryland a la Florida
Medio-Oeste	200	400	Iowa, Missouri, Illinois, Indiana
Medio-Sur	400	1000	Mississippi, Georgia, Nueva Orleans
Oeste-Medio	80	600	Texas, Nuevo México, Colorado, Nebraska
PUERTO RICO	600	800	Valores más altos en la cordillera
ISLAS VIRGENES	600	-	
FRANCIA (SUR)	100	600	
REP. DOMINICANA	100	1800	Valores más altos en las zonas montañosas y en la región noreste.
HAWAII	150	1500	Valores más altos en la cordillera
TUNEZ	100	500	Norte de Africa
MARRUECOS	80	500	Norte de Africa
COSTA MARFIL	900	2300	Africa Occidental
ALTO VOLTA	400	1200	Africa Occidental
PERU SELVA	-	2600	Zona de Iquitos
Sierra	100	200	Zona del Mantaro (Huancayo)

1/ En Estados Unidos de América, el Valor R incrementa de Norte a Sur; Wischmeier (1965). El resto de la información proviene de SCSA (1977). Perú es observación de Paulet.

2/ Multiplicando por un factor de 1.73 para convertir del sistema inglés a unidades métricas.

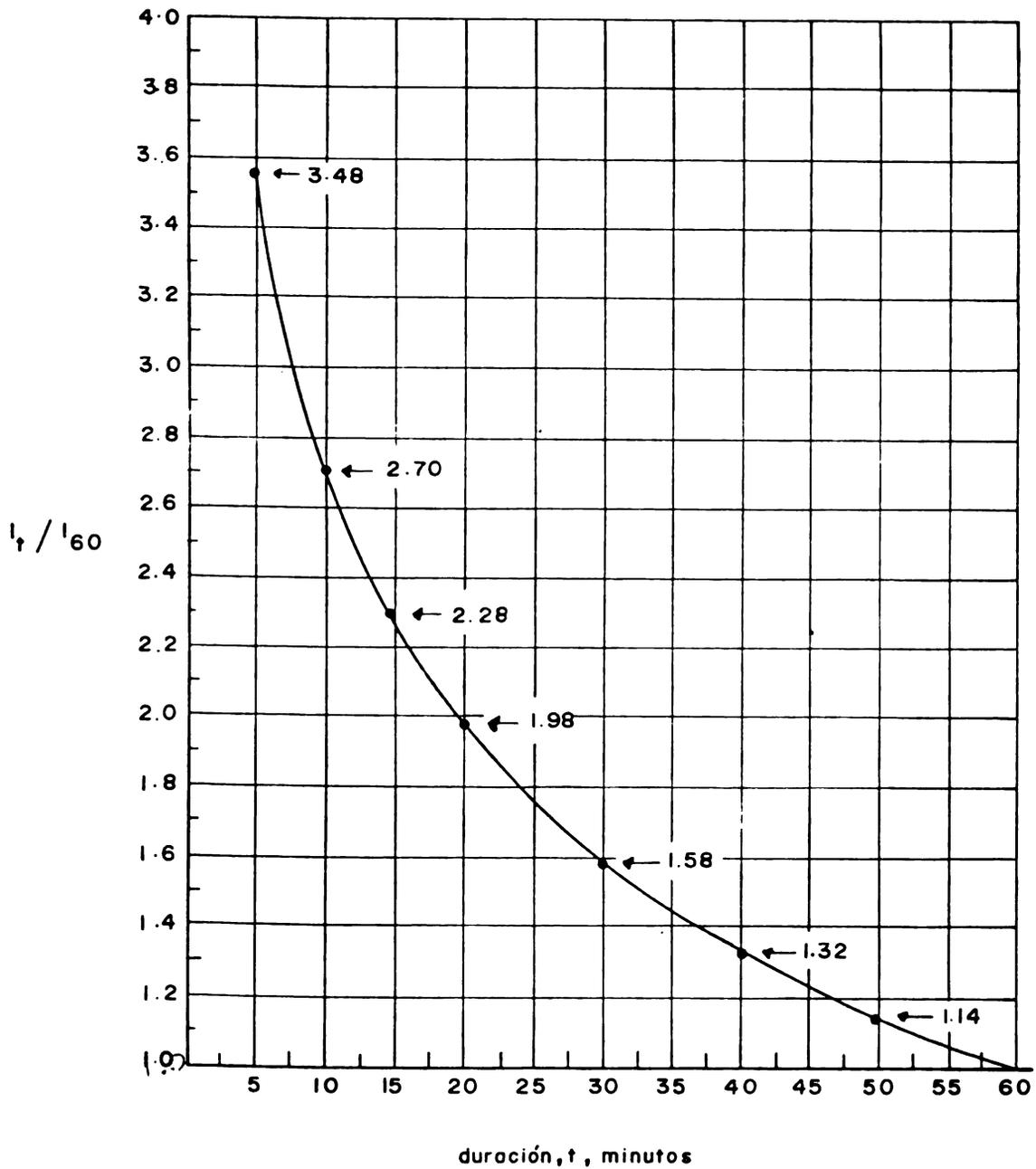
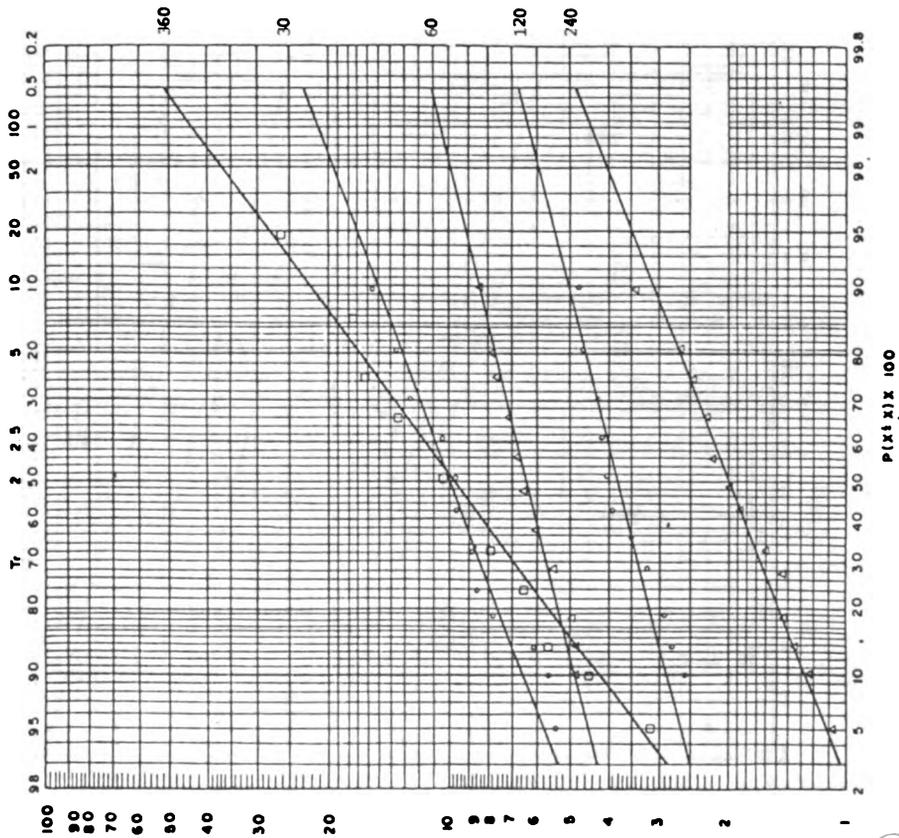


Figura 1 Factores Para Hallar la Intensidad Máxima Para Duraciones Menores de 60 Minutos en Función de la Intensidad Máxima de 60 Minutos.

Fuente: Schwab, G. O. et. al. 1966. Soil and Water Conservation Engineering J. Wiley Sons p. 624

Probabilidades de Intensidad Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

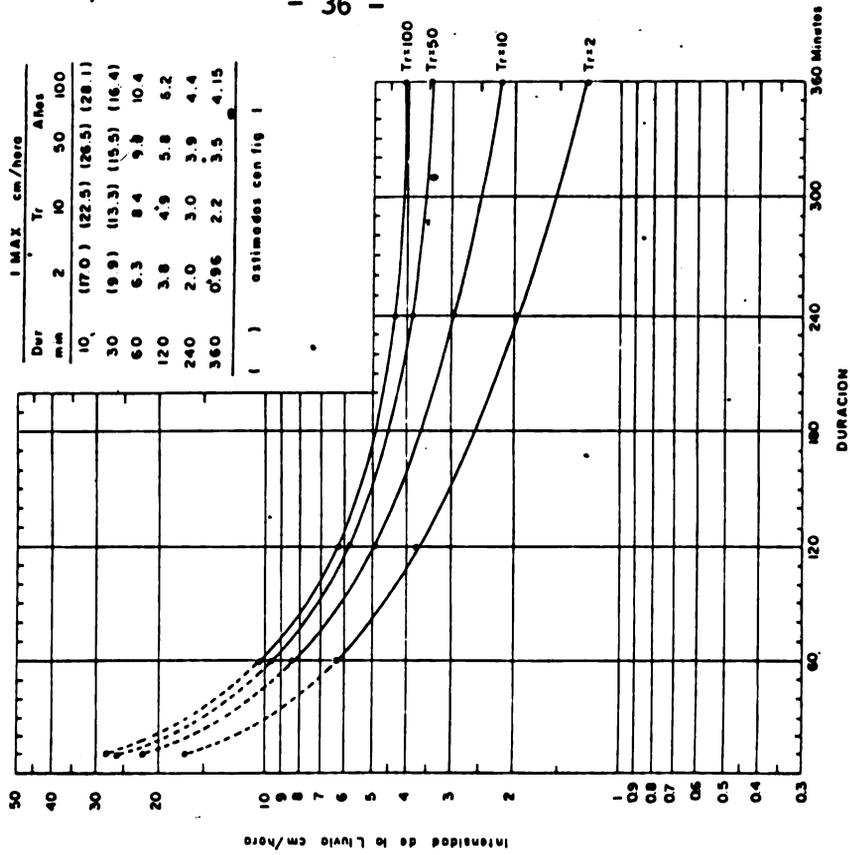
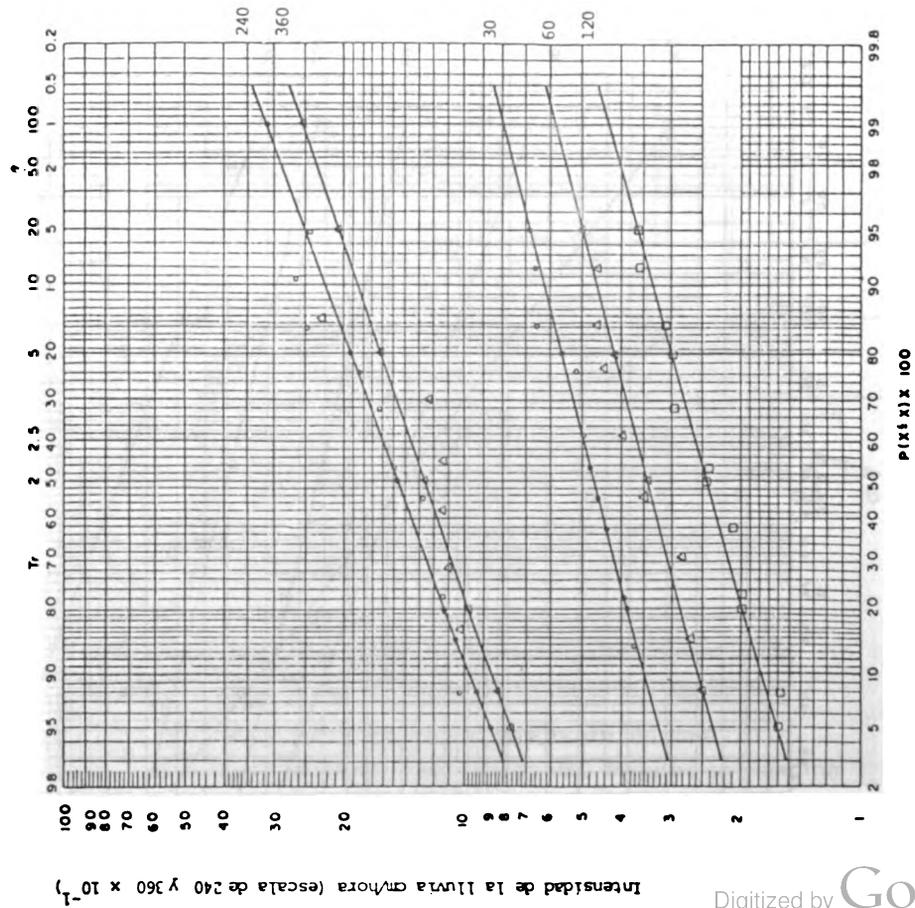


Fig. 2. Estación El Partido (0103)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

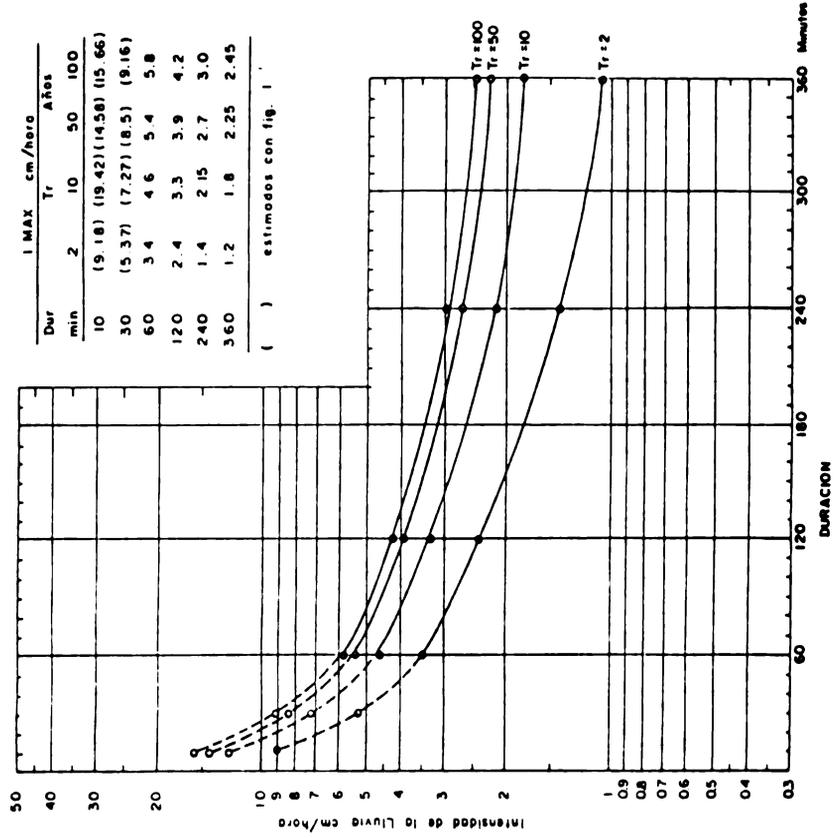
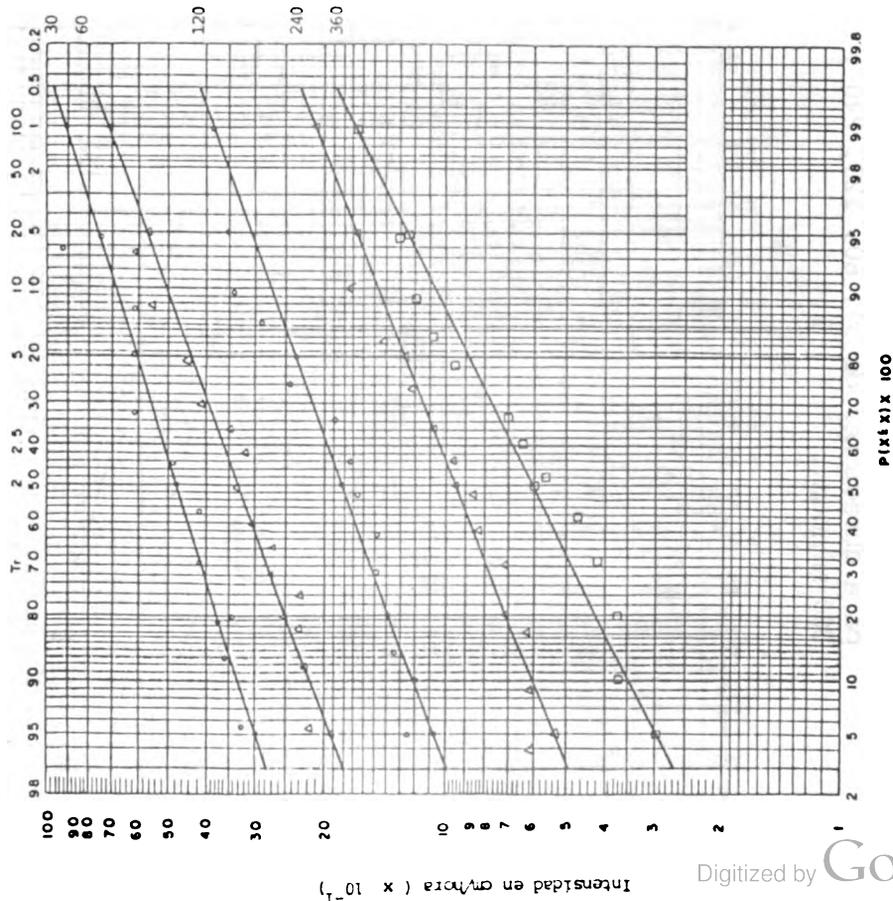


Fig. 3 Estación Jarabacoa (0401)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

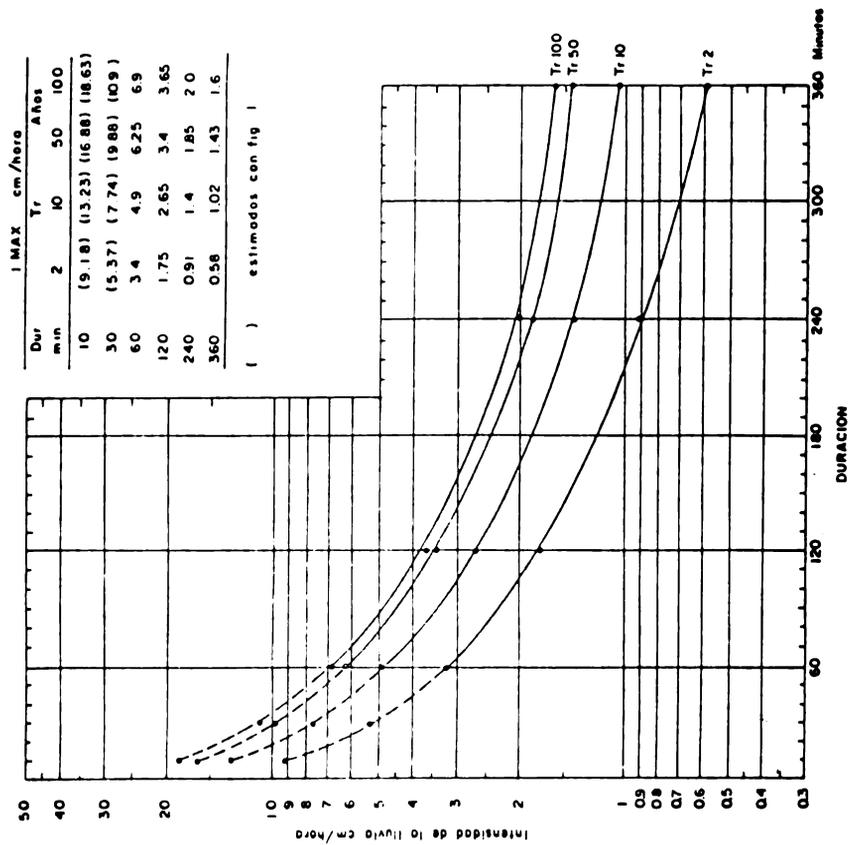
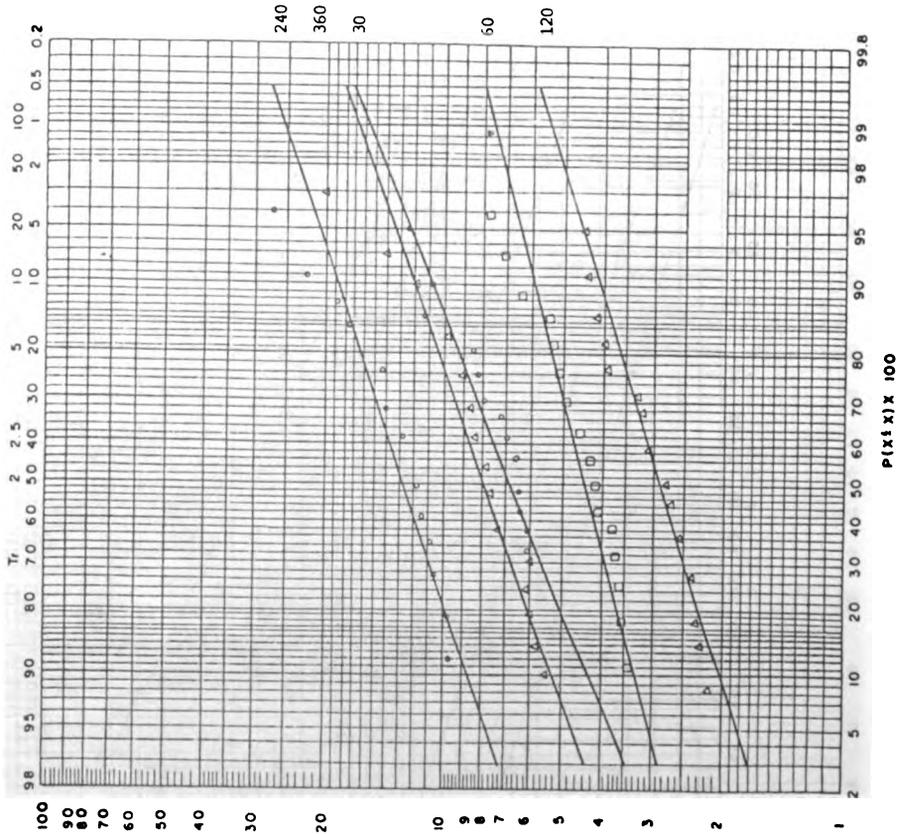


Fig. 4 Estación de Tavera (0402)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

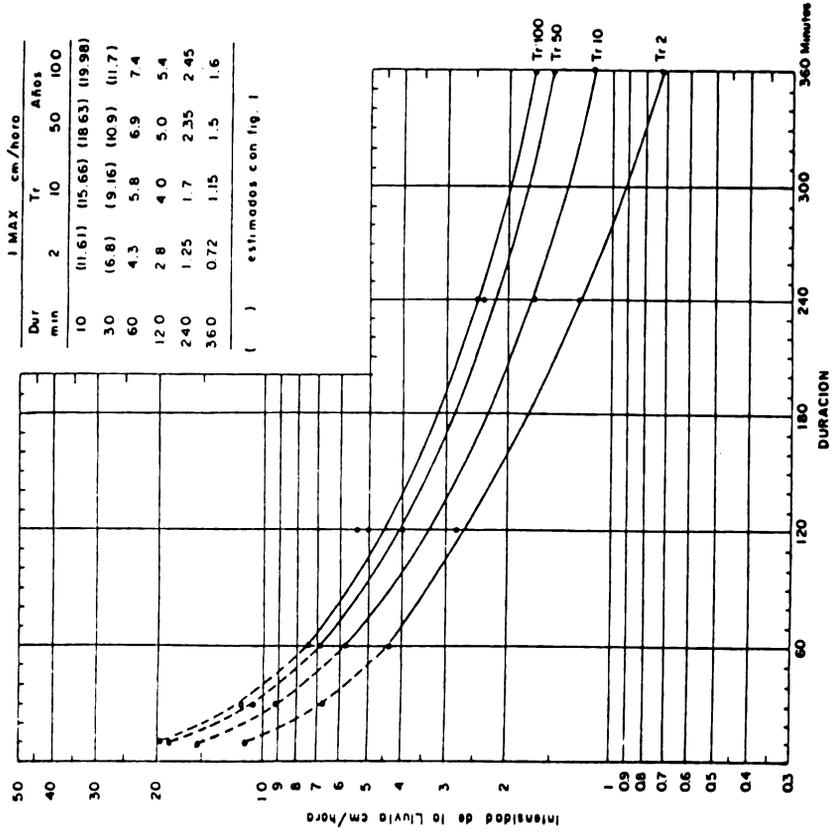
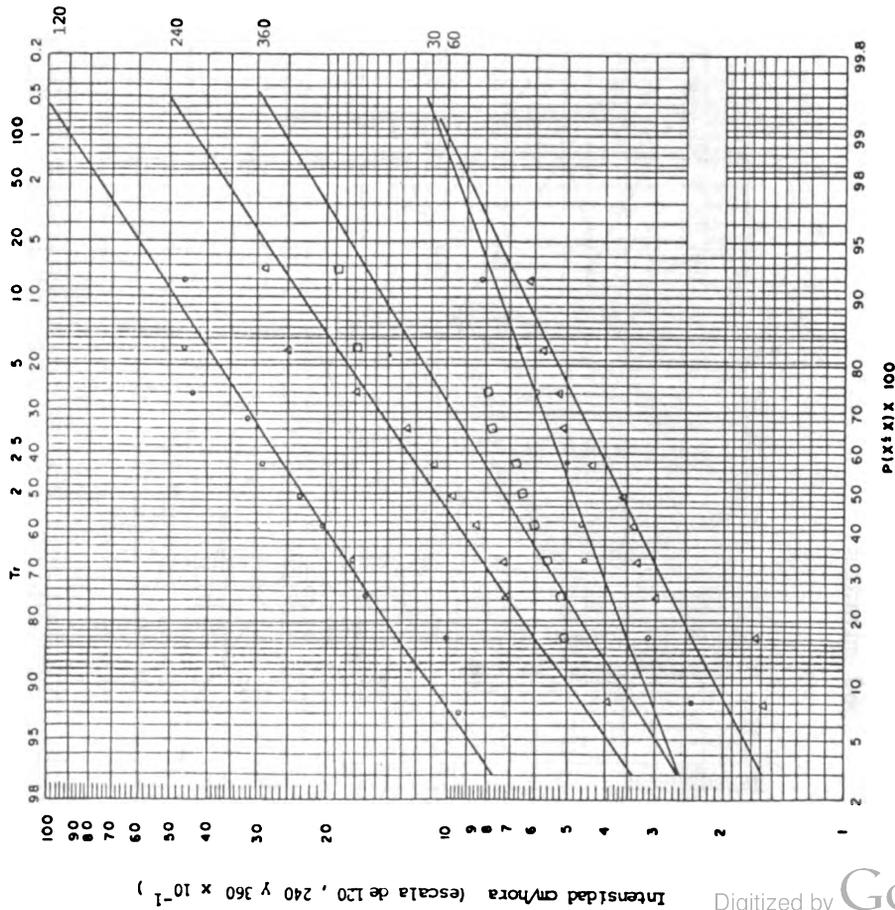


Fig. 5 Estación de San José de las Matas (0403)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

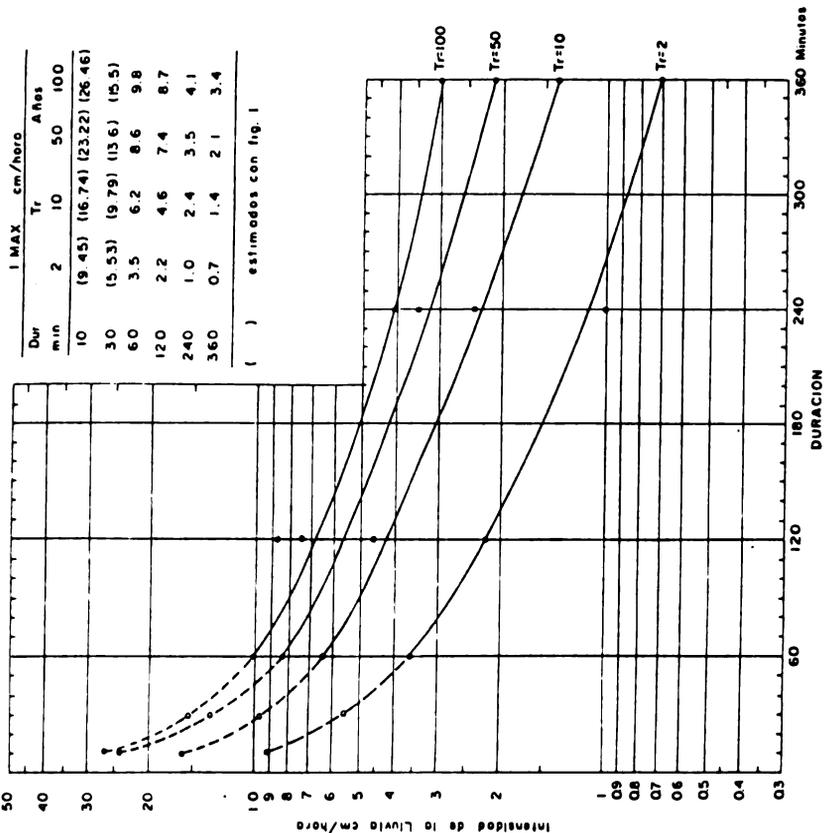
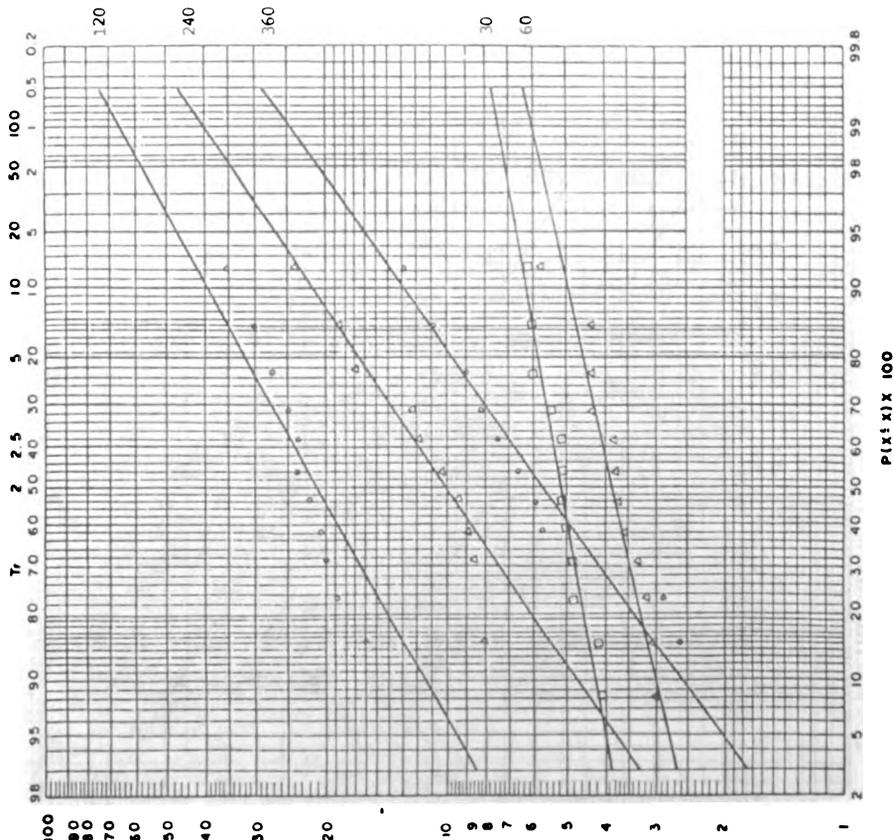
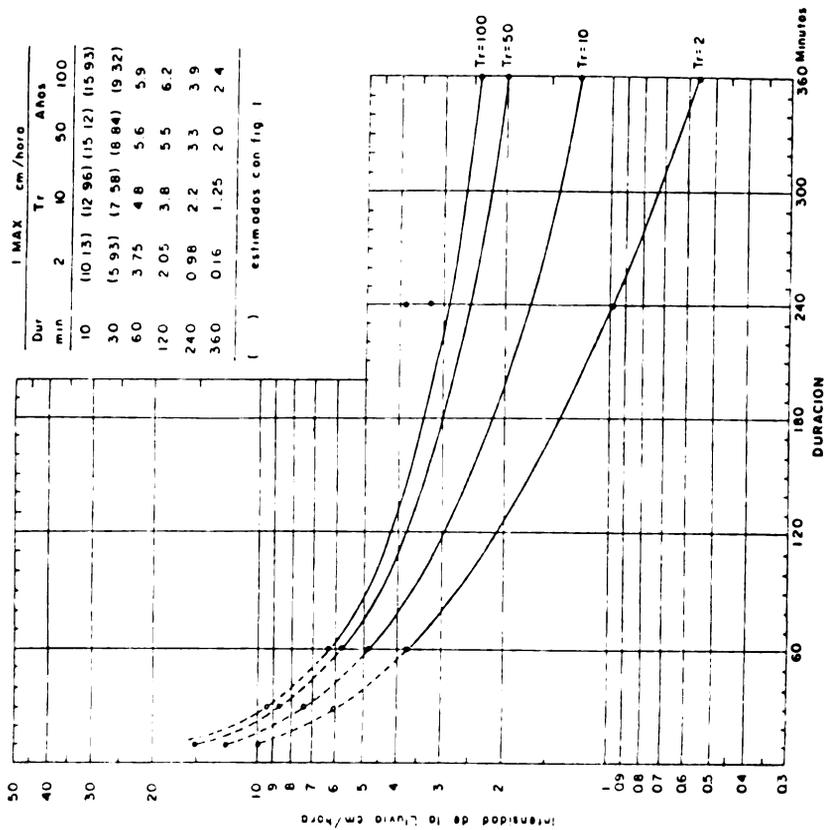


Fig.6 Estación de Santiago (0404)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

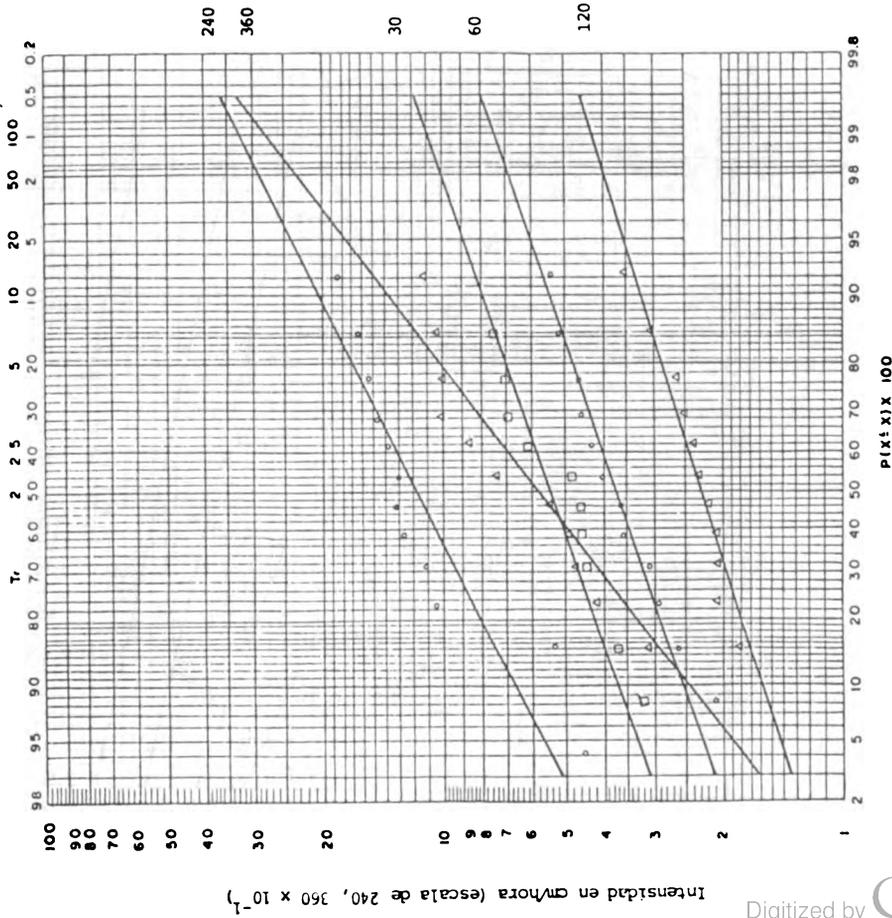


Dur min	Tr	I MAX cm/hora	Años
10	2	(10.13)	(12.96)
30	10	(5.93)	(7.58)
60	37.5	4.8	5.6
120	20.5	3.8	5.5
240	0.98	2.2	3.3
360	0.16	1.25	2.0

() estimados con fig 1

Fig. 7 Estación de Mao-Valverde (0406)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

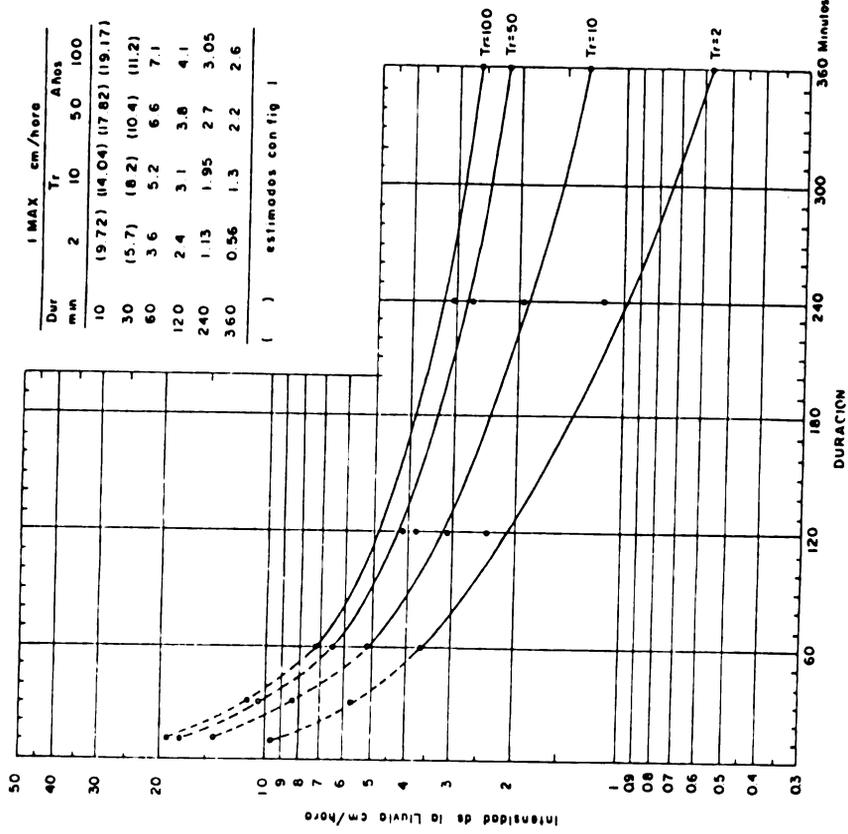
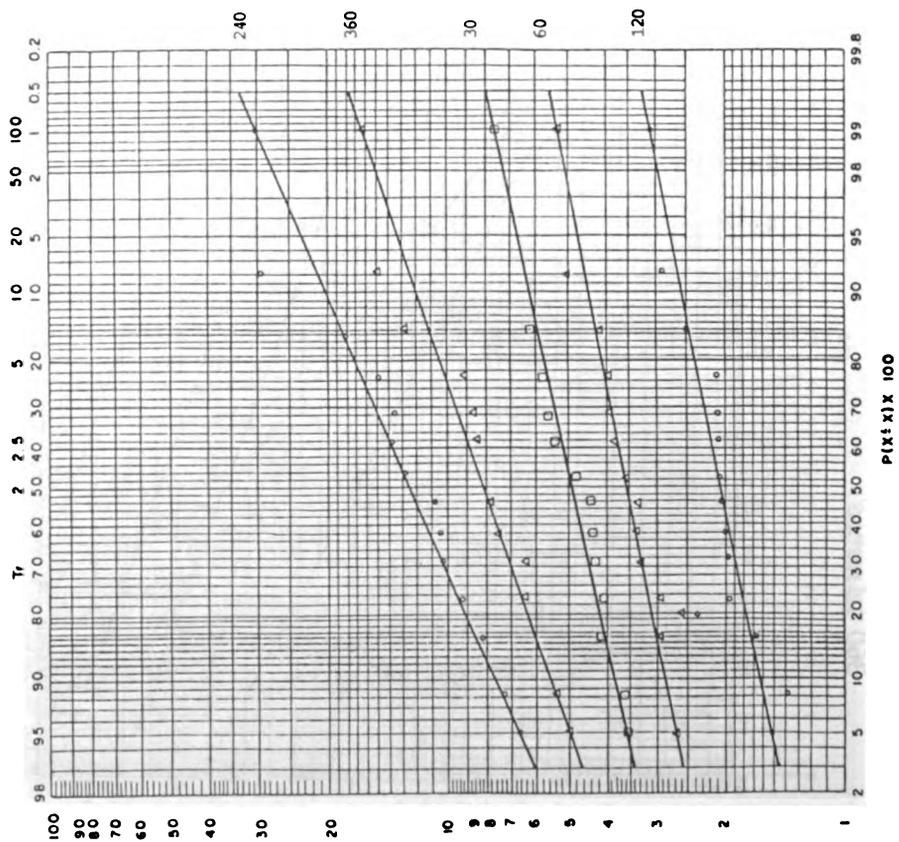
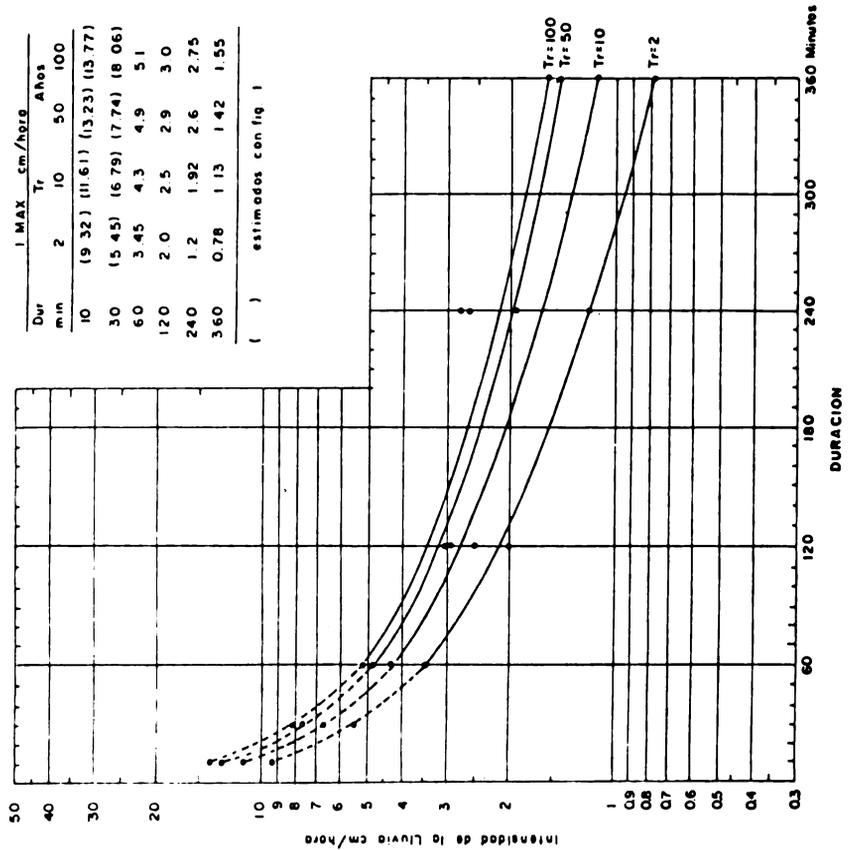


Fig. 8 Estación de La Antona (0408)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

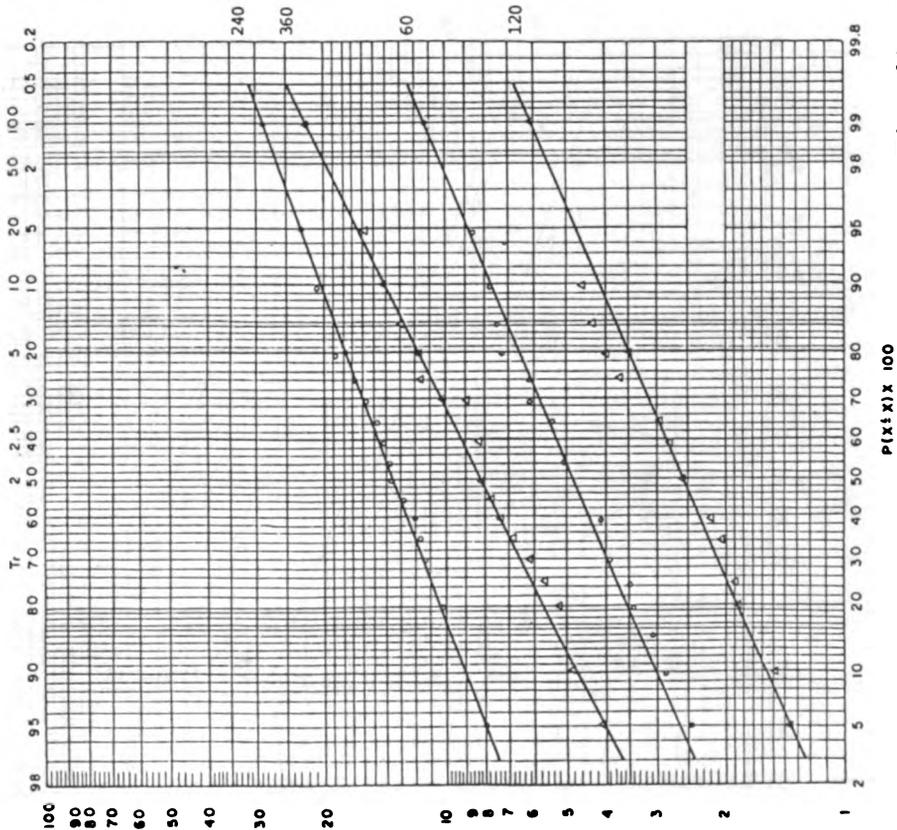


Dur min	Tr	I MAX cm/hora	Años
10	2	(9.32)	(11.61)
30	10	(16.79)	(13.23)
60	20	(25.29)	(13.77)
120	50	(34.51)	(14.06)
240	100	(45.51)	(14.25)
360	100	(50.78)	(14.42)

() estimados con fig 1

Fig. 9 Estación de El Río (0409)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

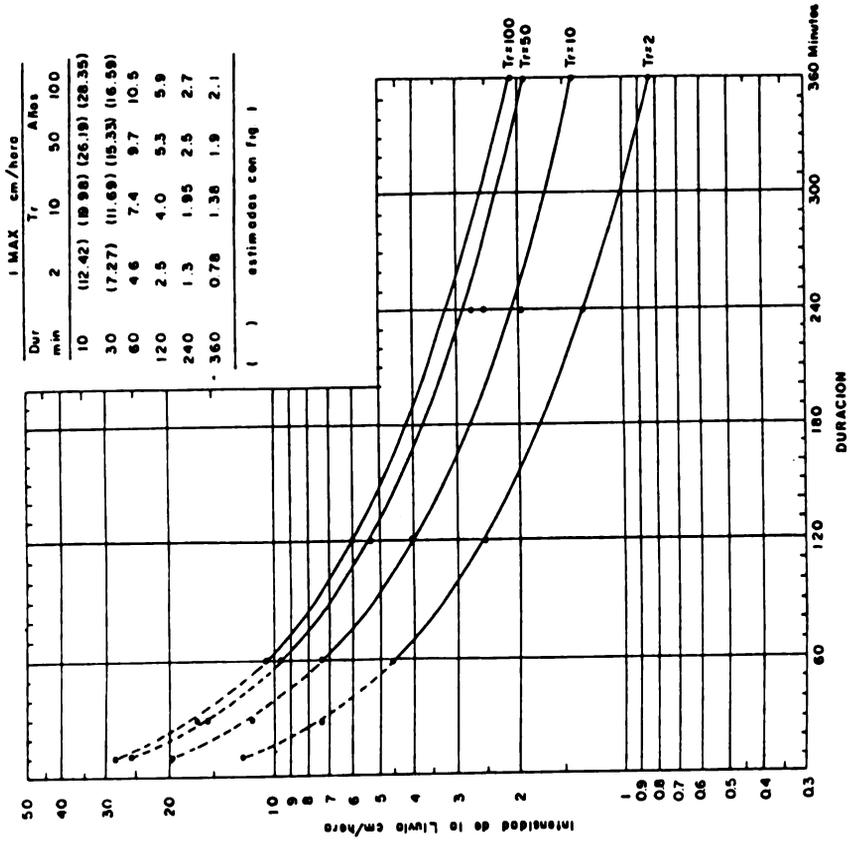
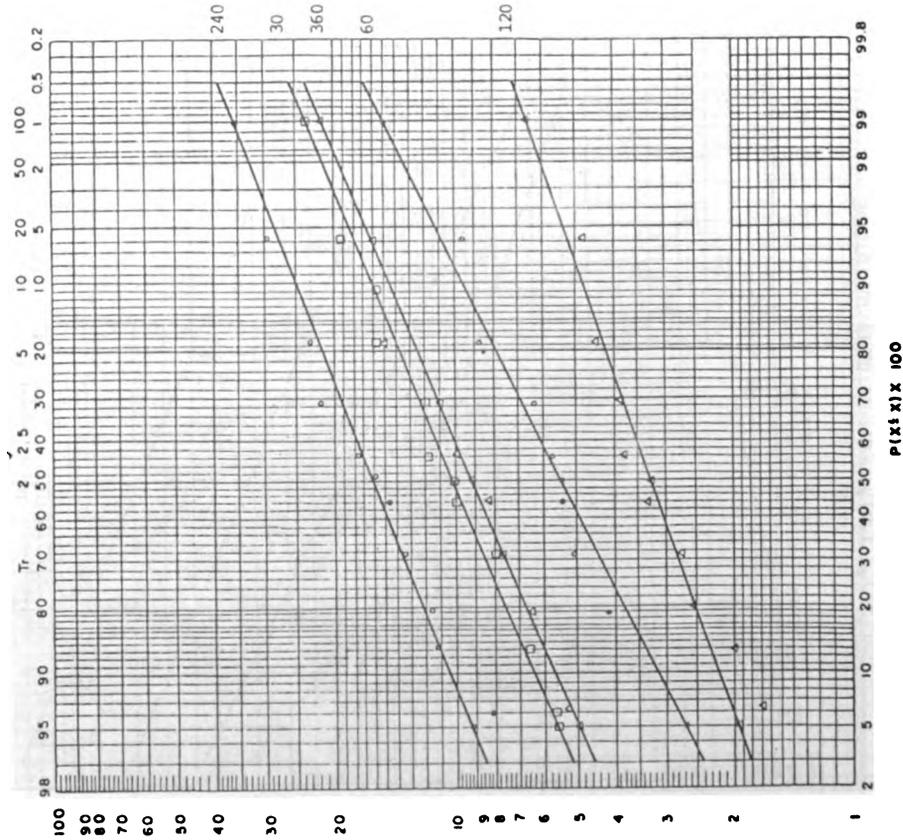


Fig. 10 Estación Manabao (0410)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

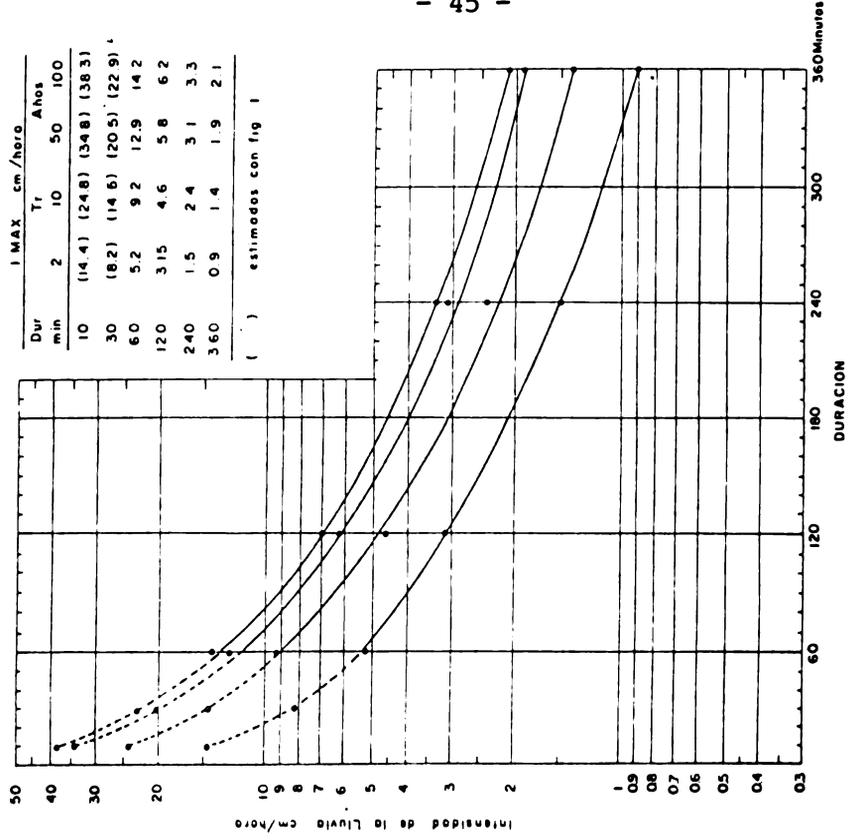
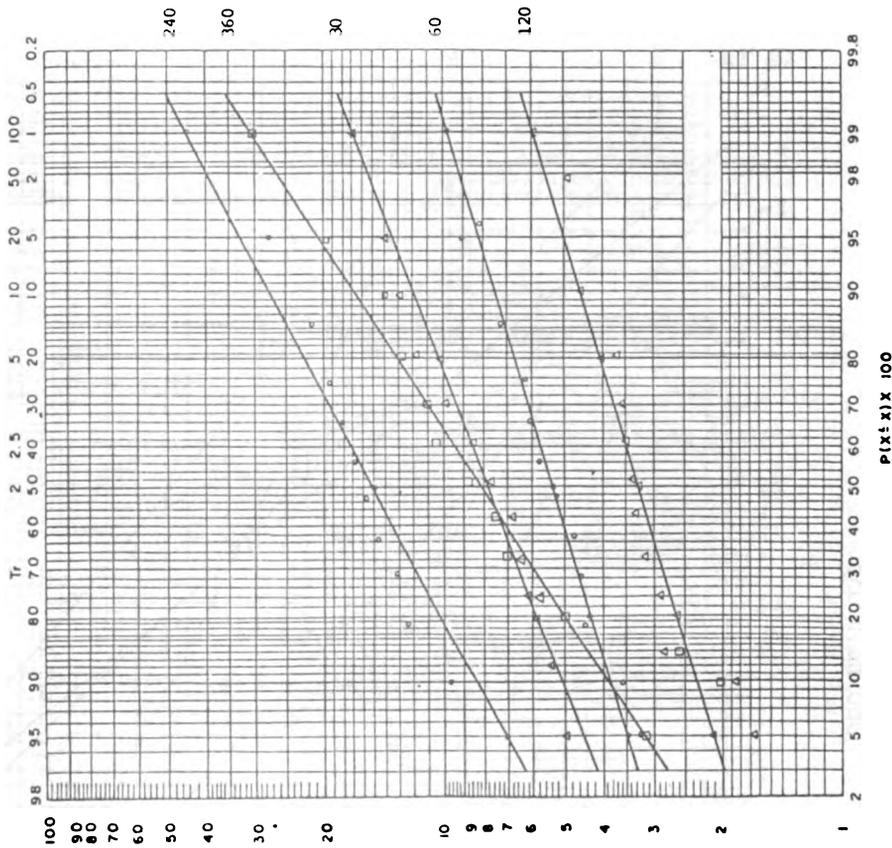


Fig. 11 Estación de Matagrande (0411)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

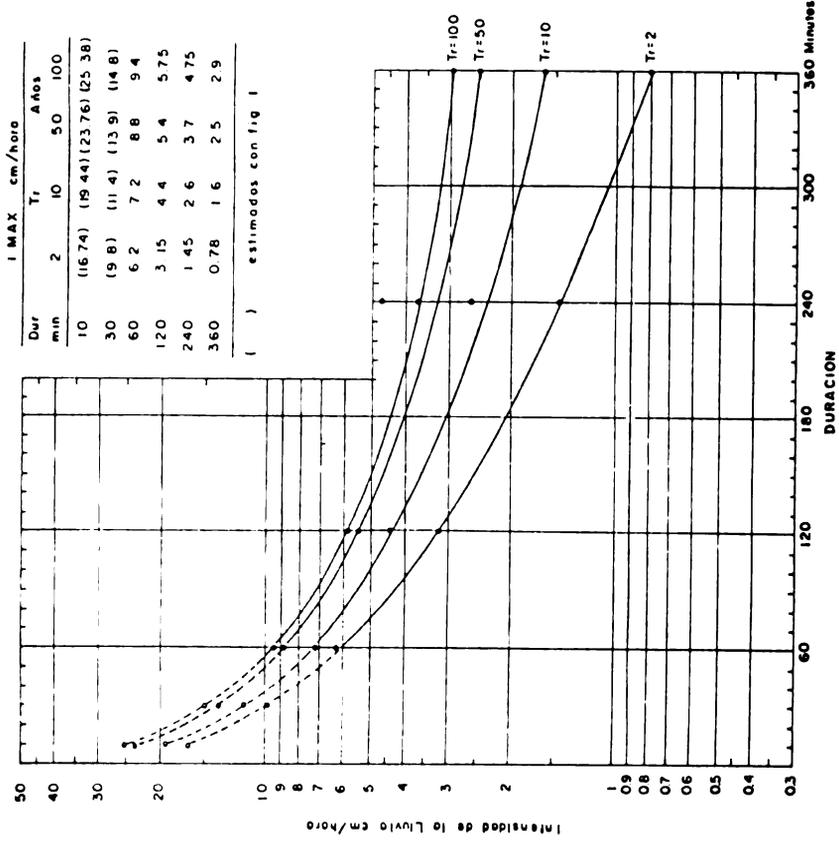
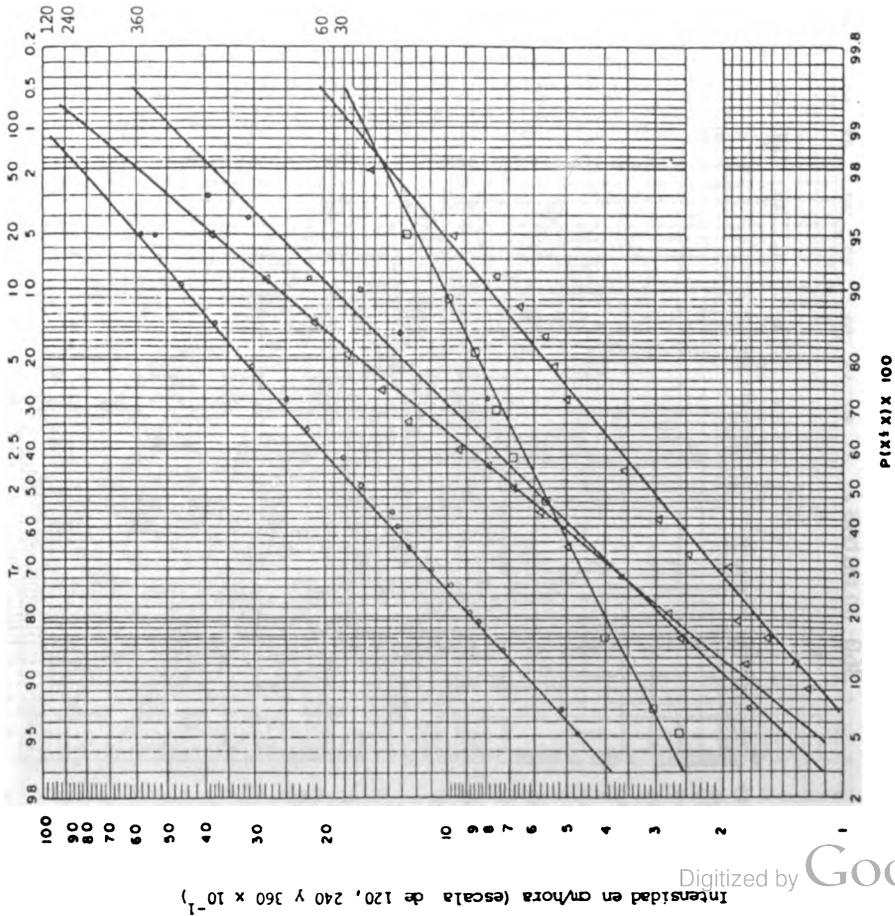


Fig. 12 Estación de Magua (0412)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

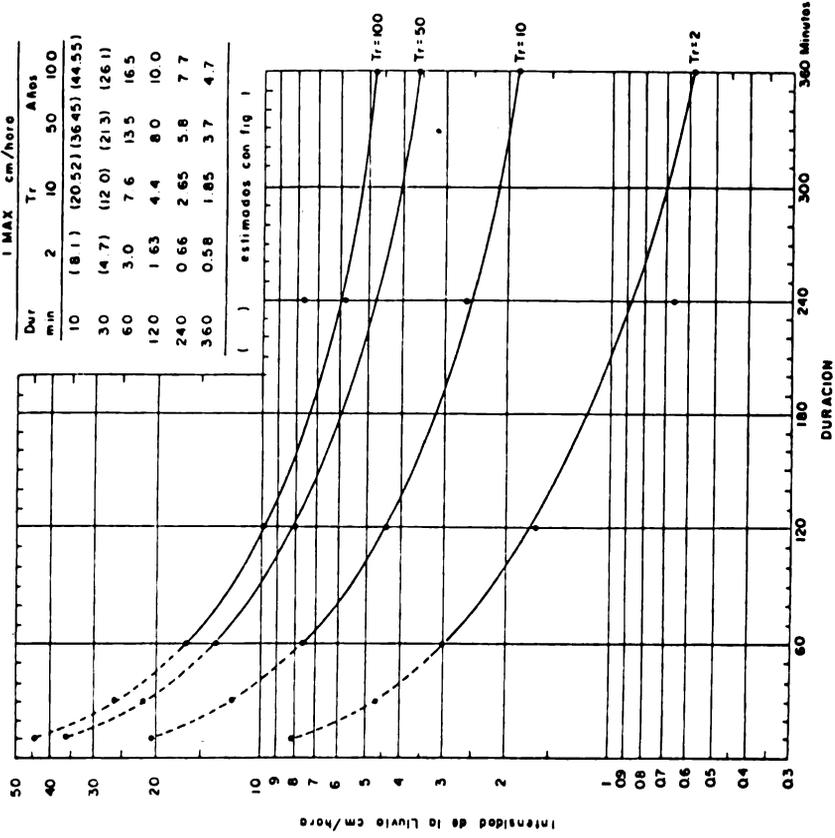
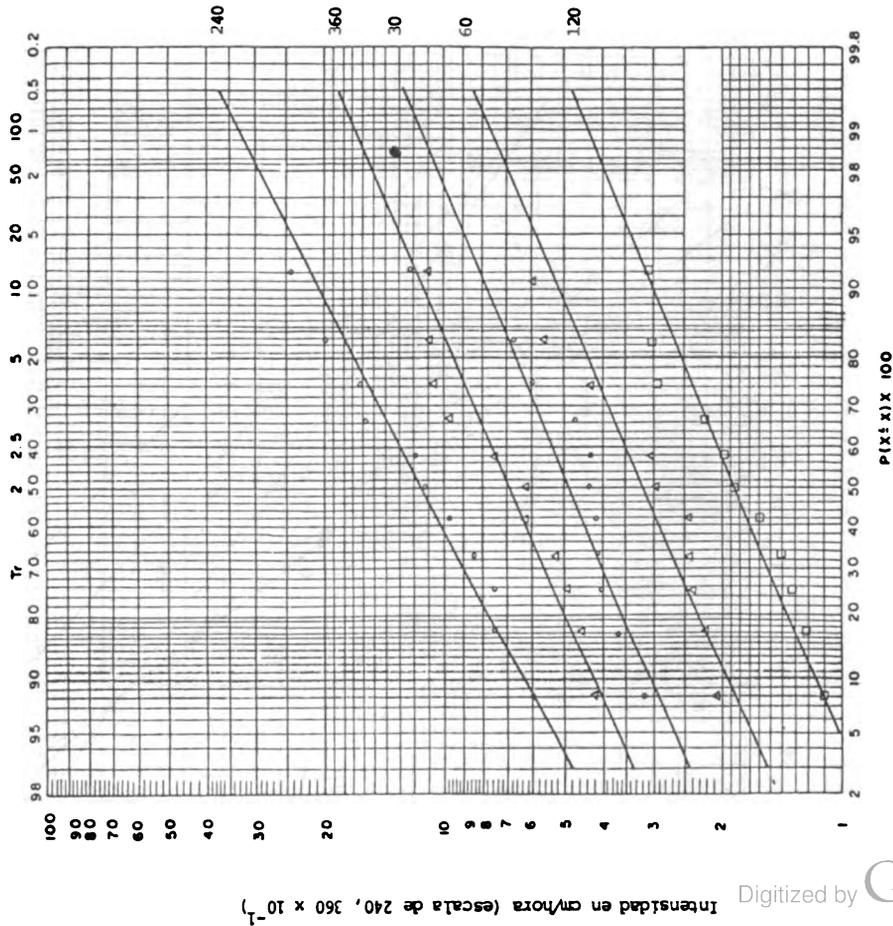


Fig. 13 Estación de Santo Domingo (0486)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

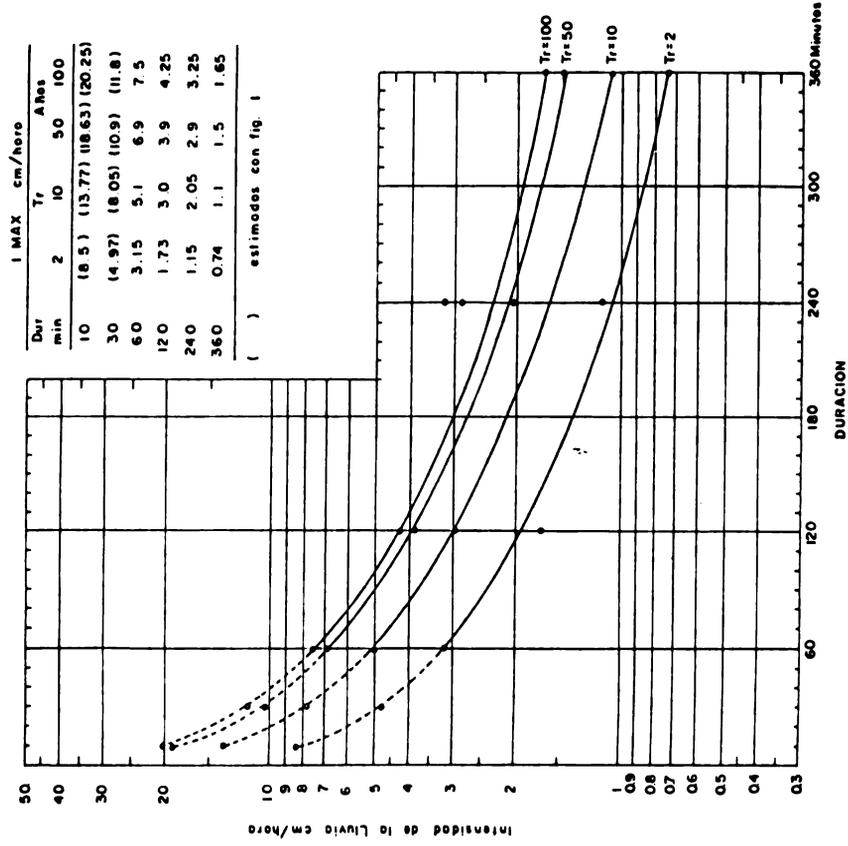
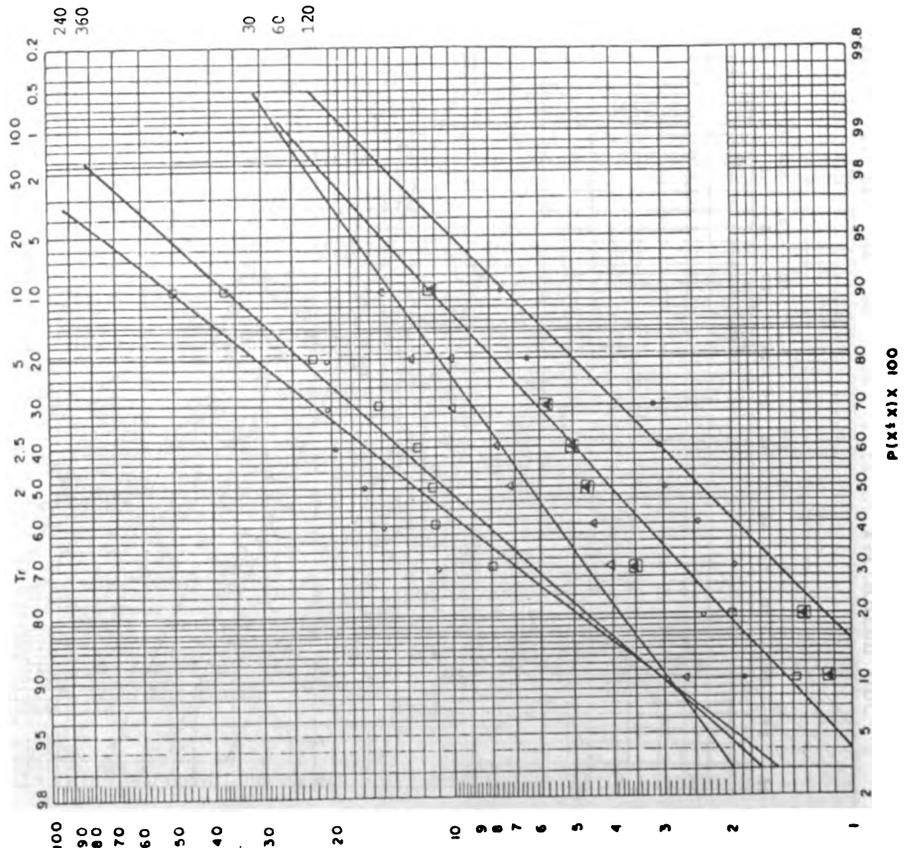


Fig. 14 Estación de San Foo. de Macoris (1801).

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

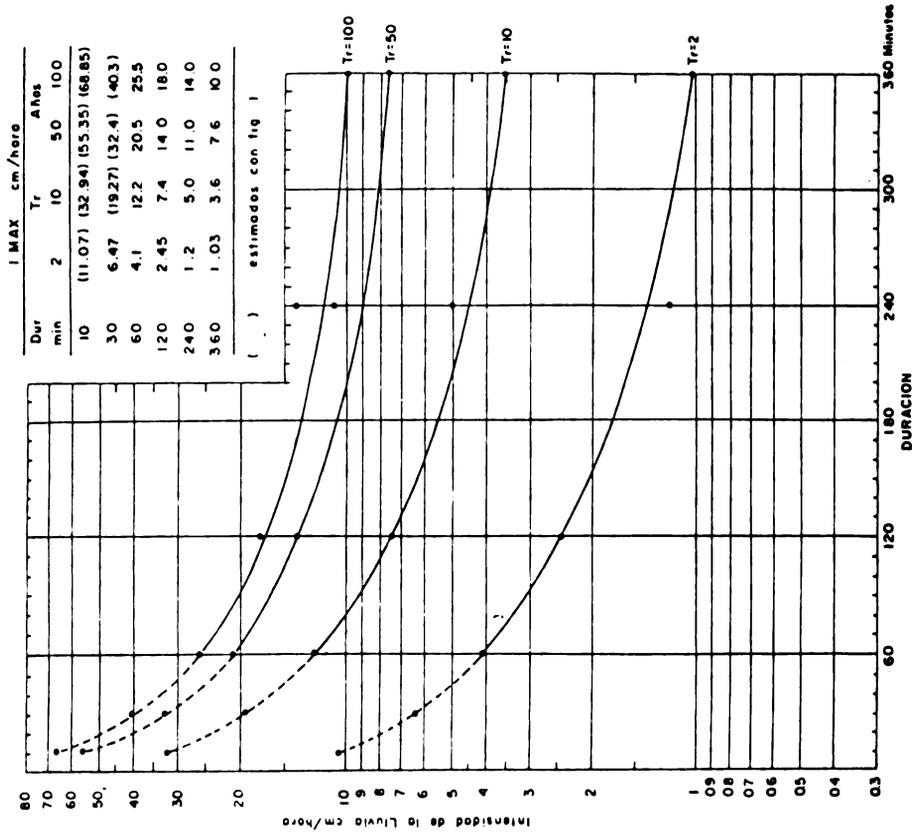
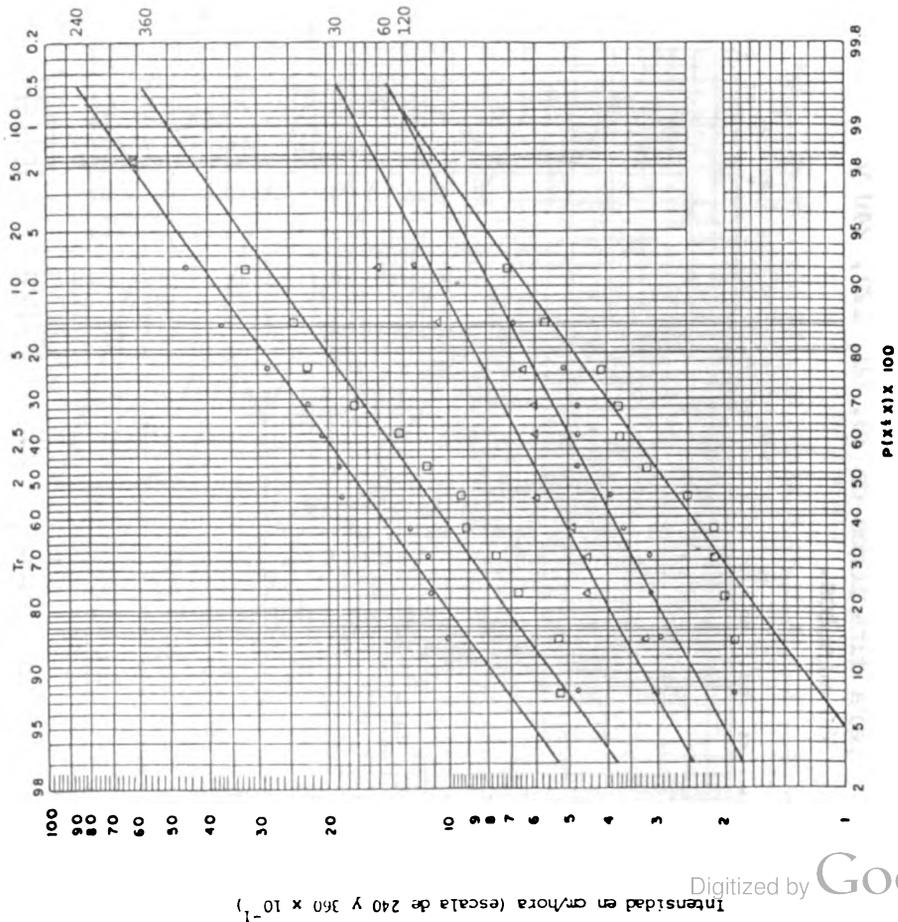


Fig. 15 Estación de Juna-Bonao (1802)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

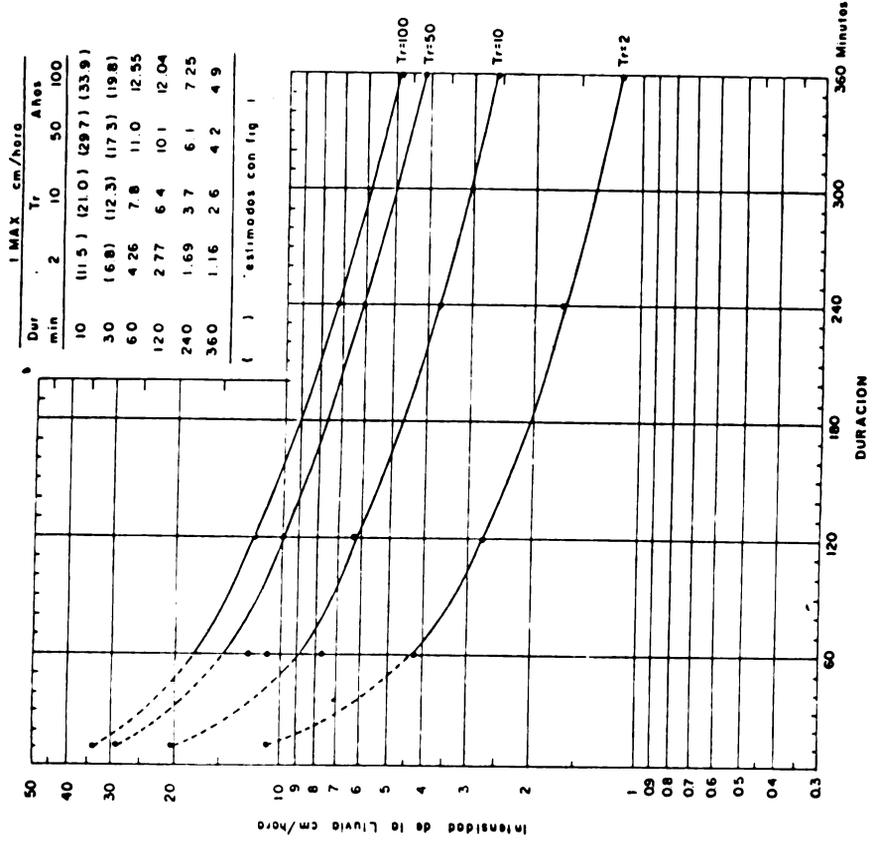
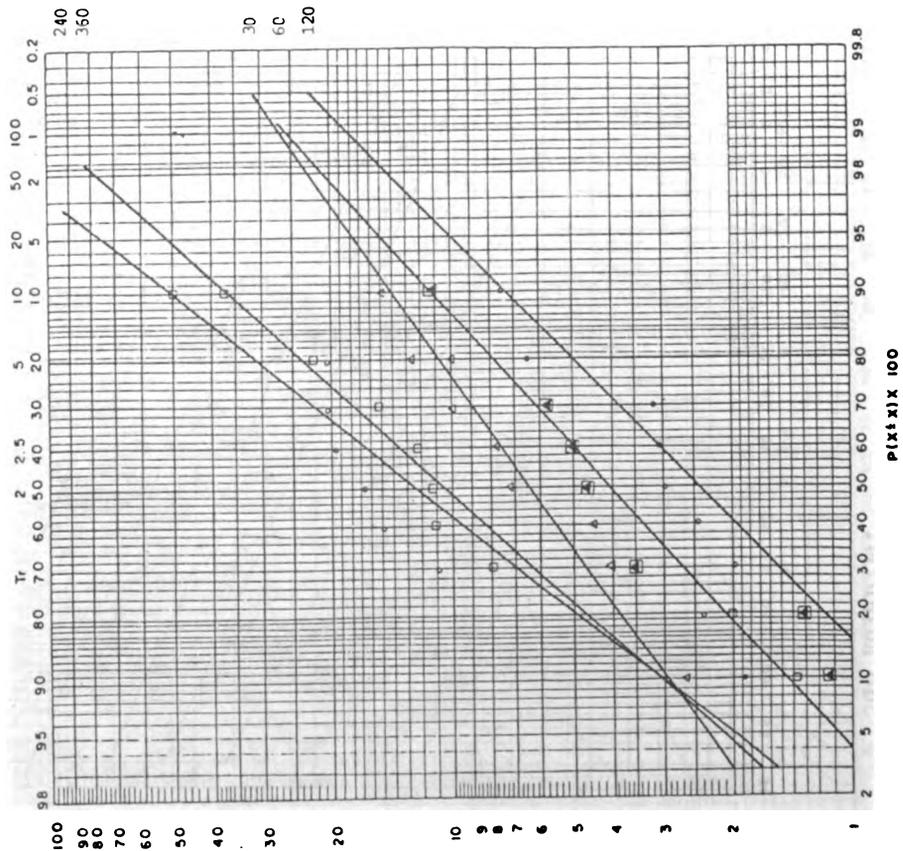


Fig. 16 Estación de Limón de Yuma (1803)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

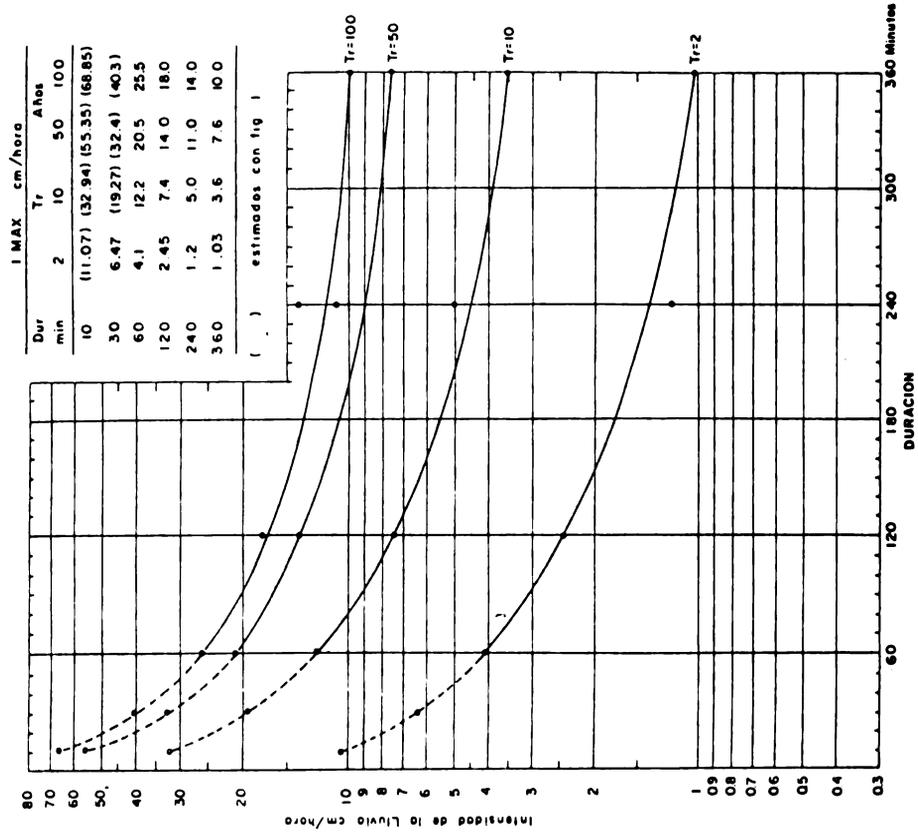
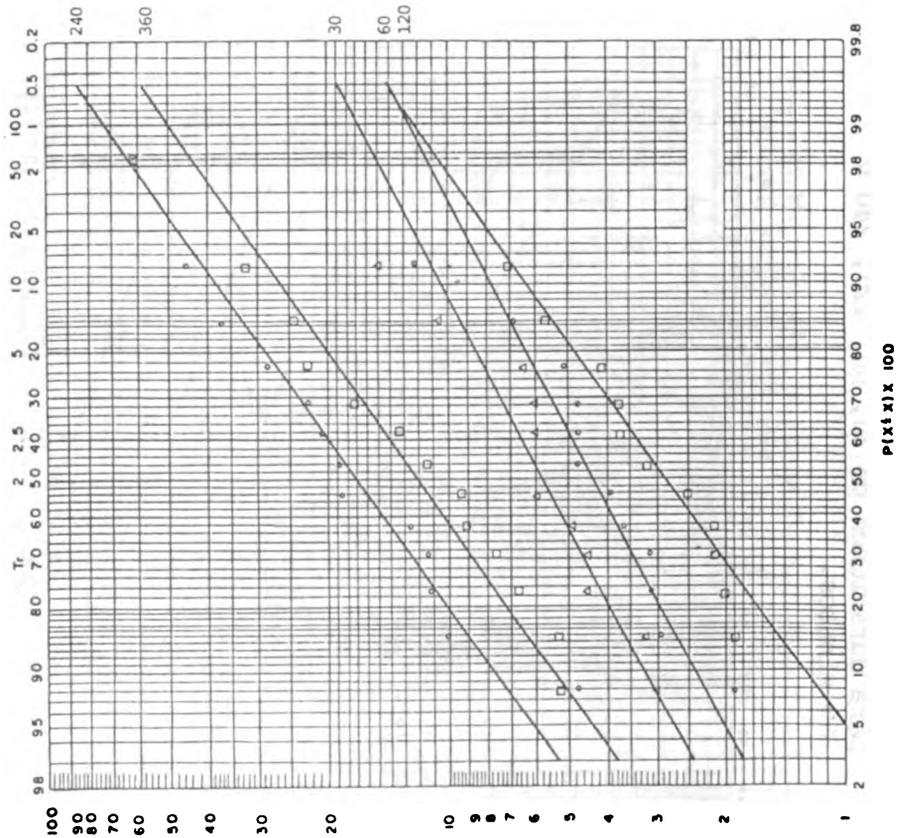


Fig. 15 Estación de Juma-Bonao (1802)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

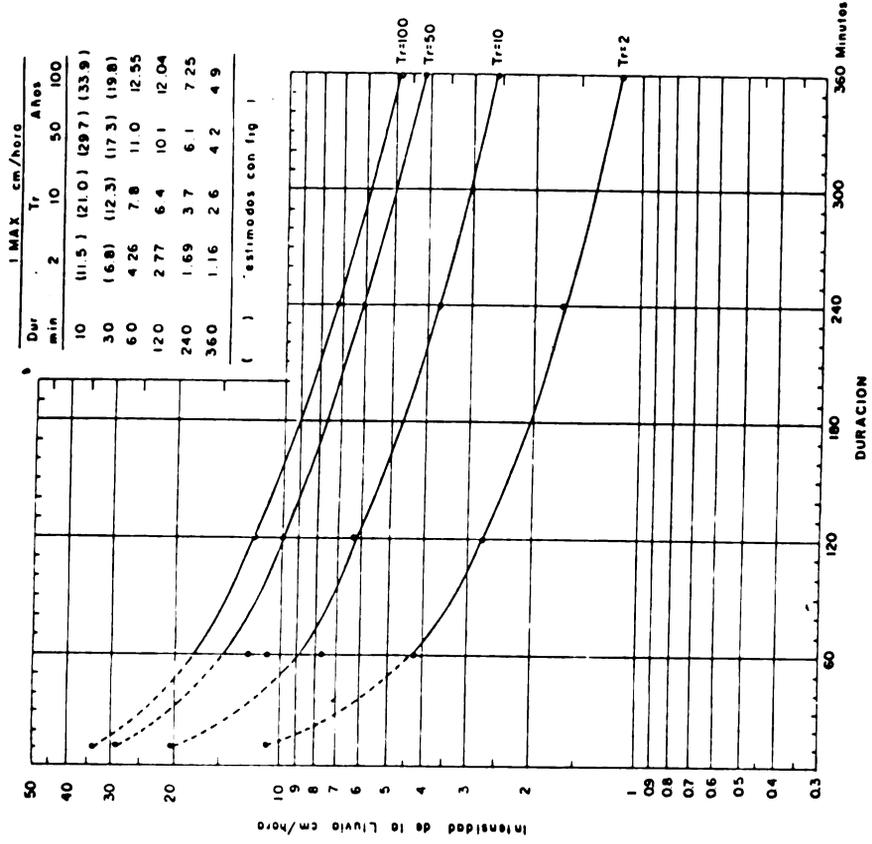
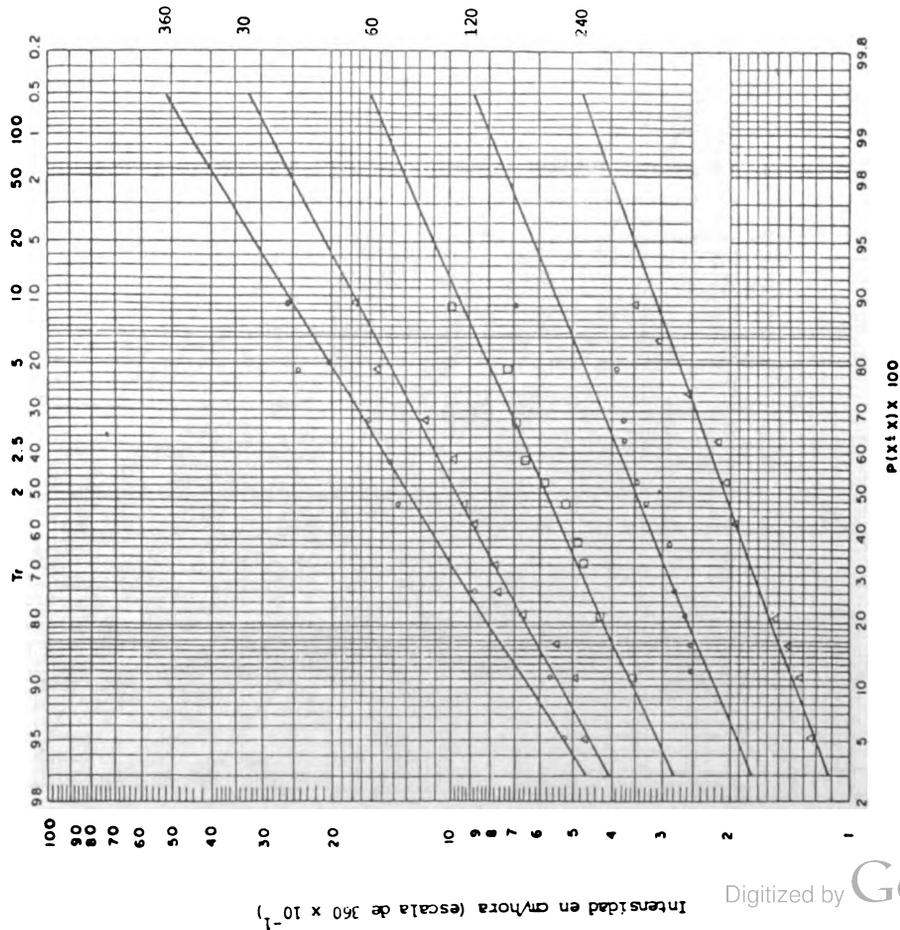


Fig. 16 Estación de Limón de Yuma (1803)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retomo.

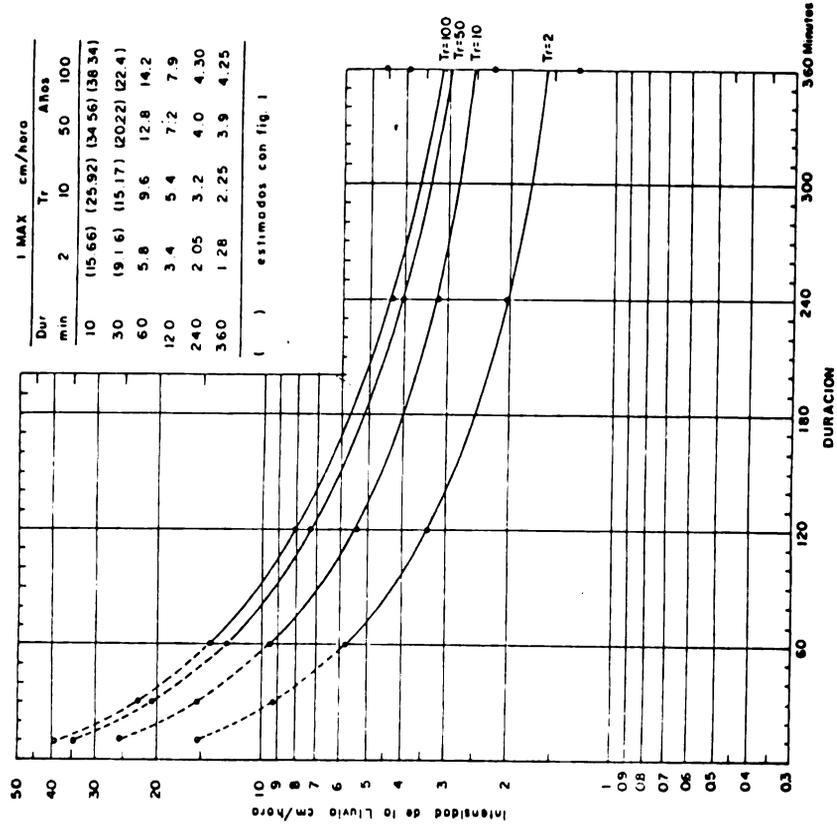
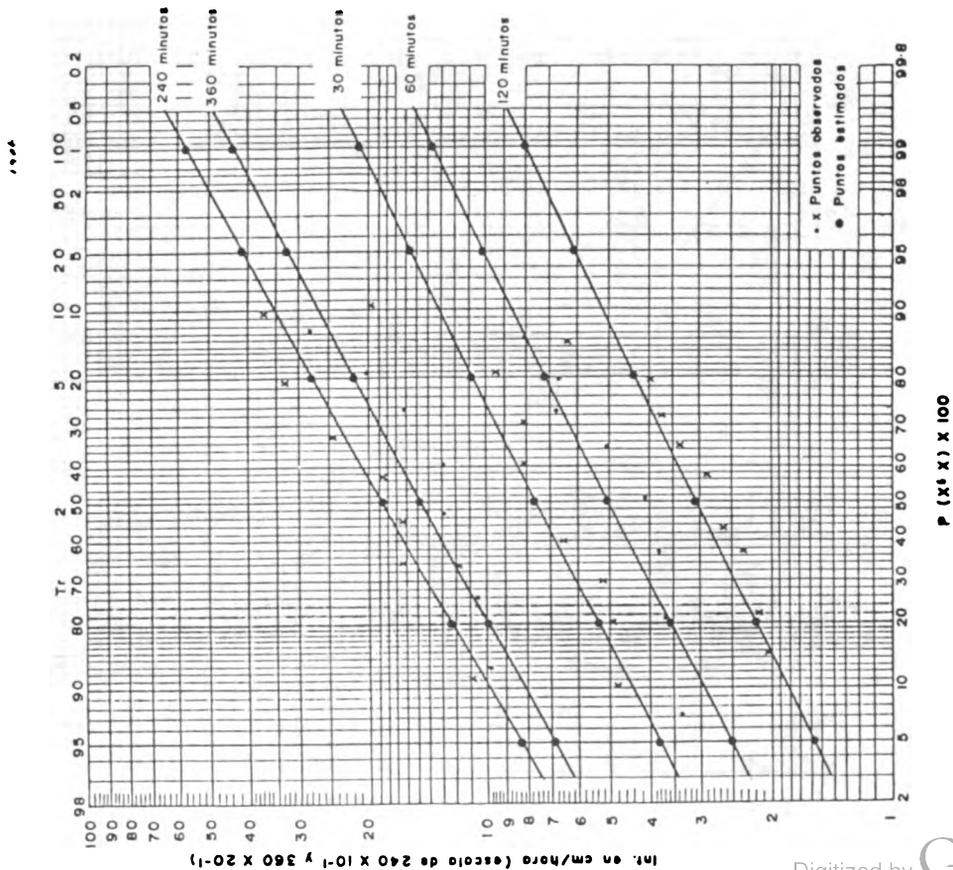
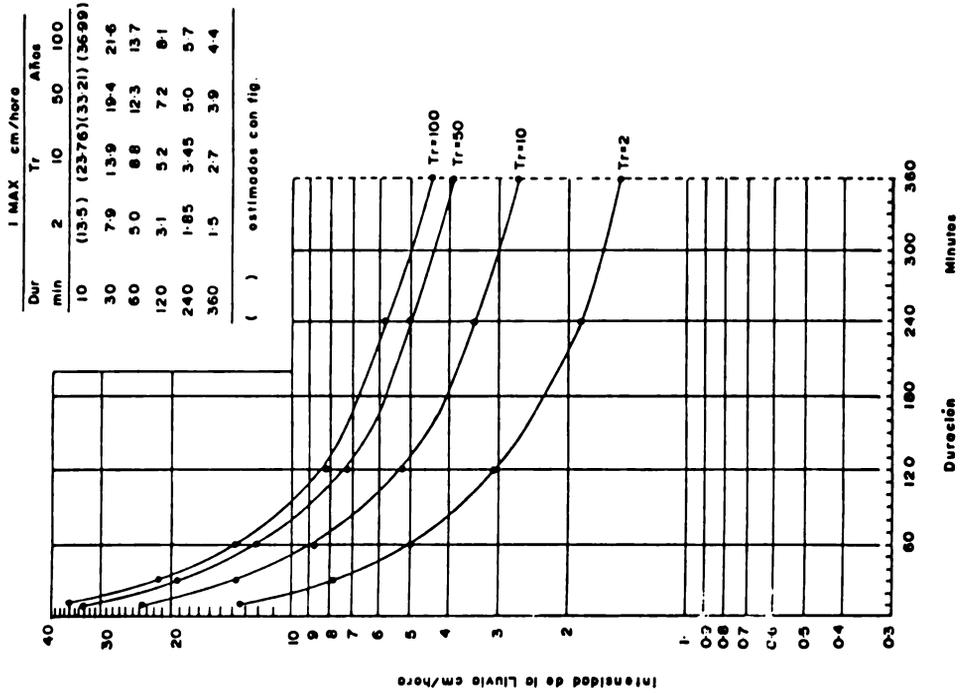


Fig. 17 Estación Los Quemados (1804)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



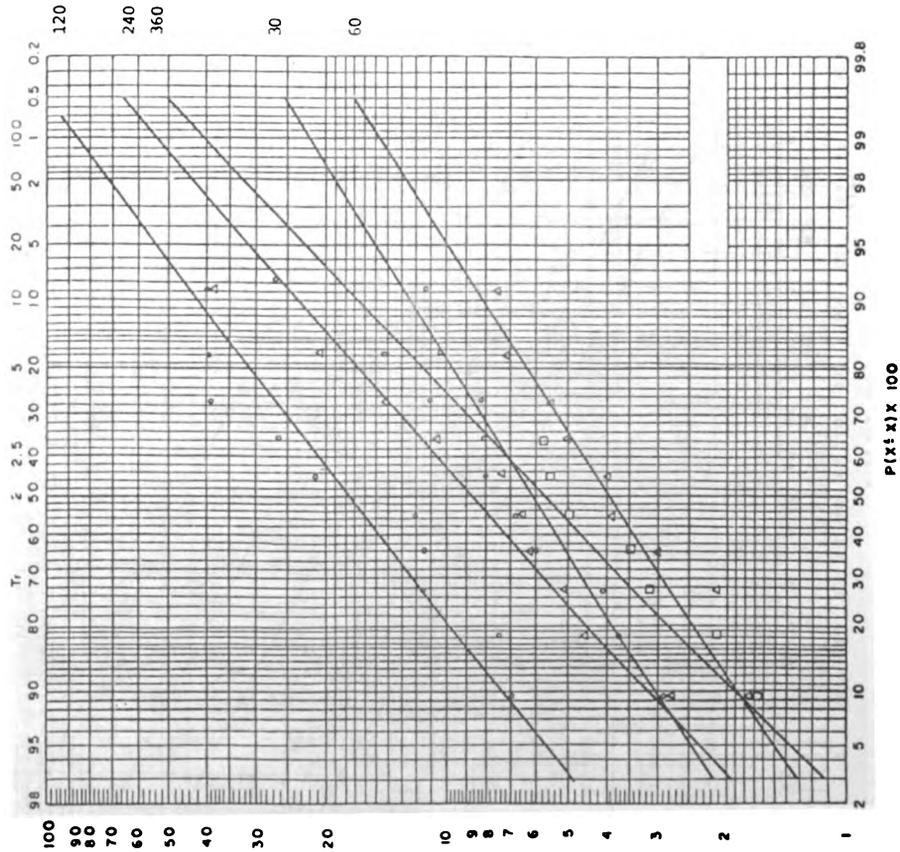
Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.



Dur min	Tr Años	I MAX cm/hora
10	2	(13.5)
10	10	(23.76)
10	50	(33.21)
10	100	(36.99)
30	7.9	13.9
30	19.4	21.6
60	5.0	8.8
60	12.3	13.7
120	3.1	5.2
120	7.2	8.1
240	1.85	3.45
240	5.0	5.7
360	1.5	2.7
360	3.9	4.4

Fig. 18 Estación Hatillo-Yuna (1806)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

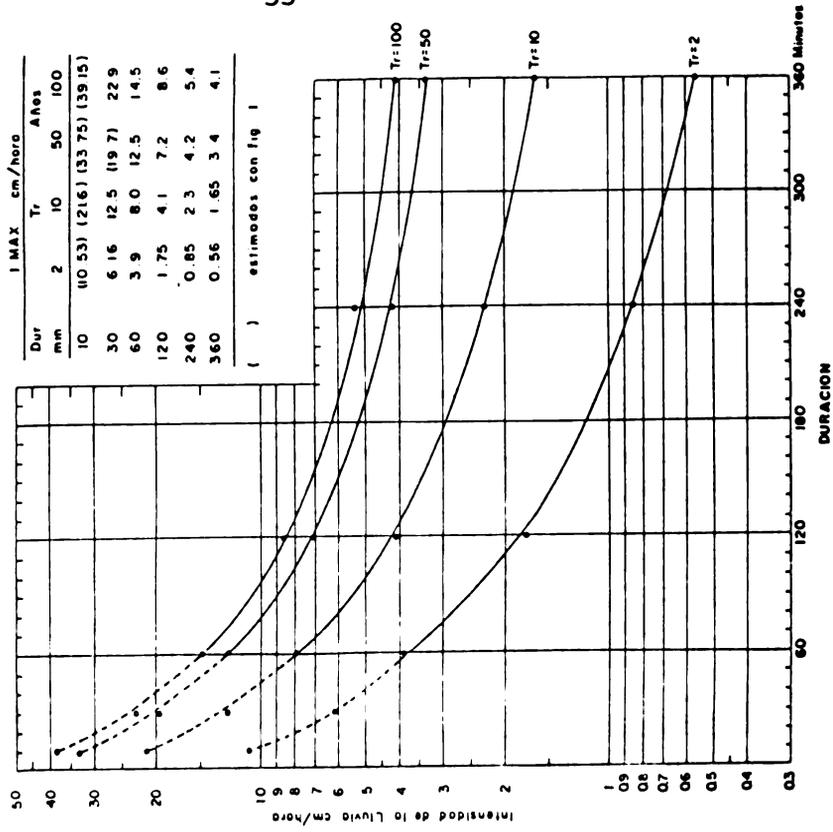
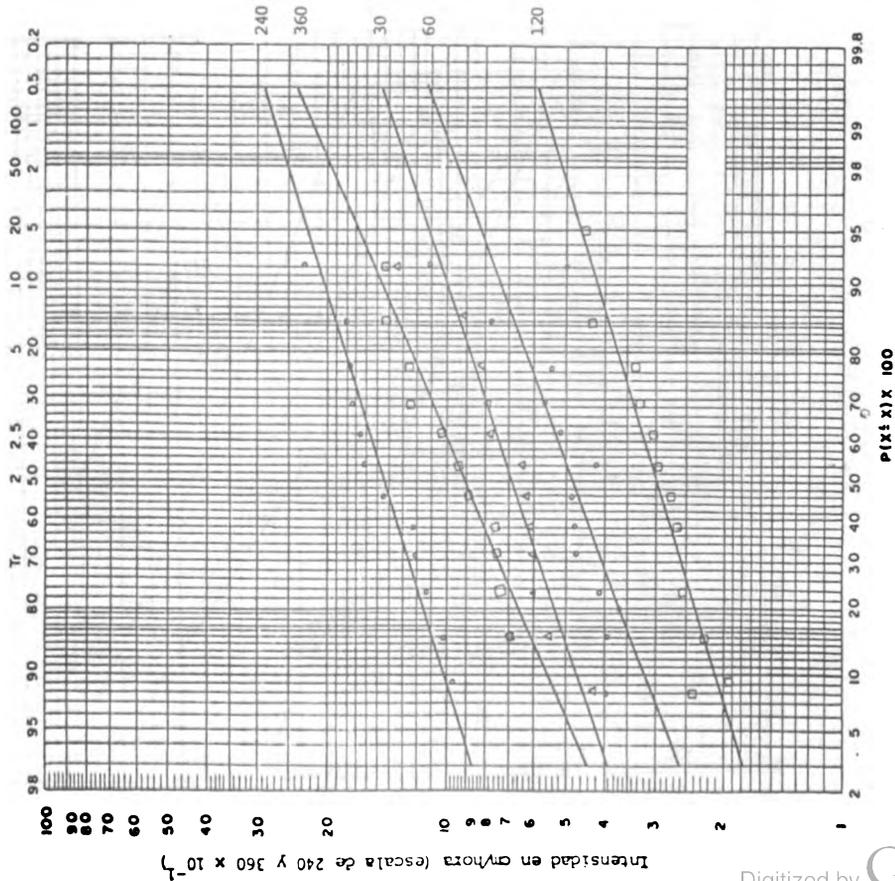


Fig. 1: Estación de Higuey (2401)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

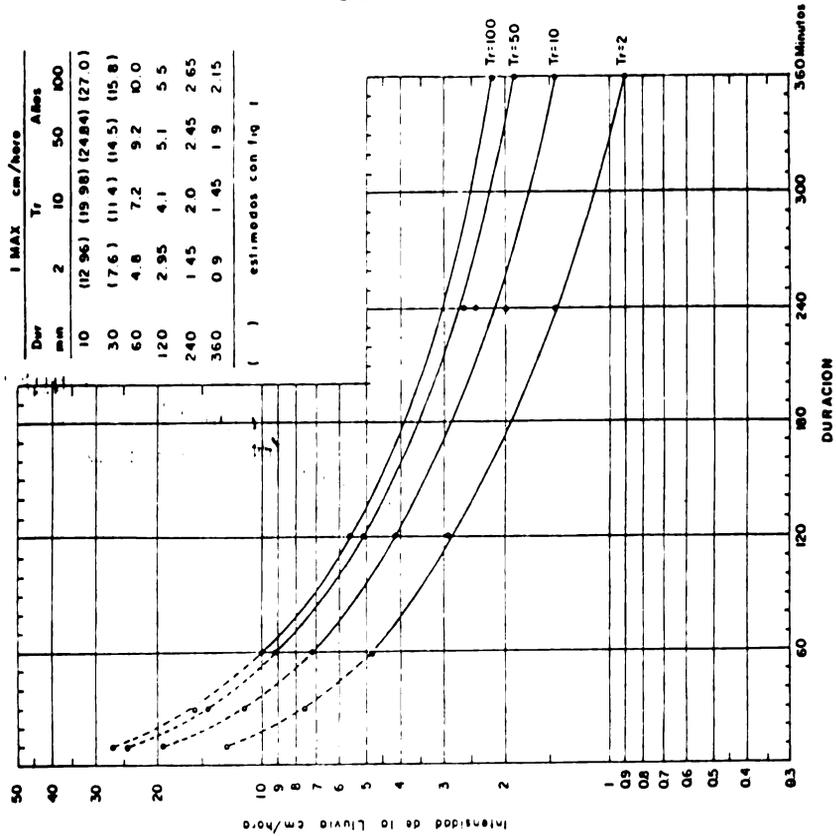
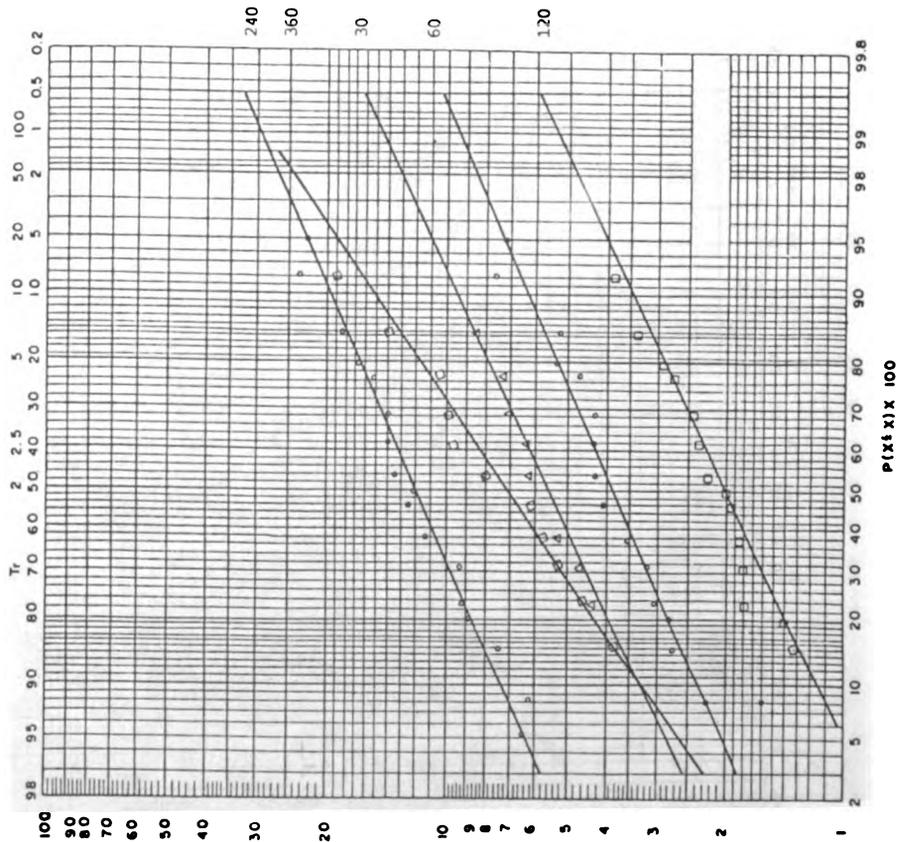


Fig. 20 Estación El Seybo (3001)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

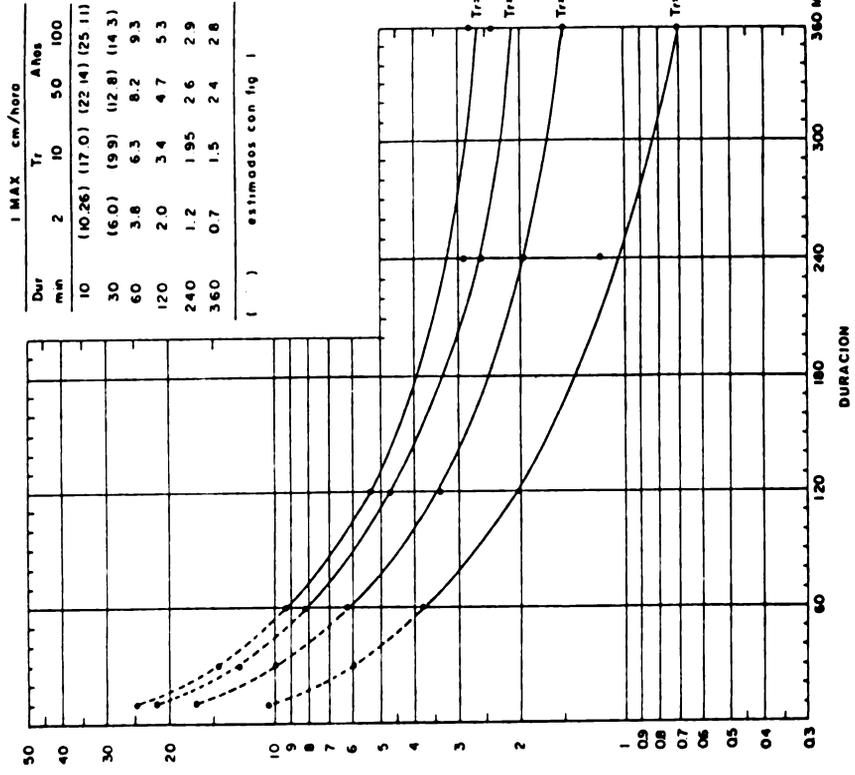
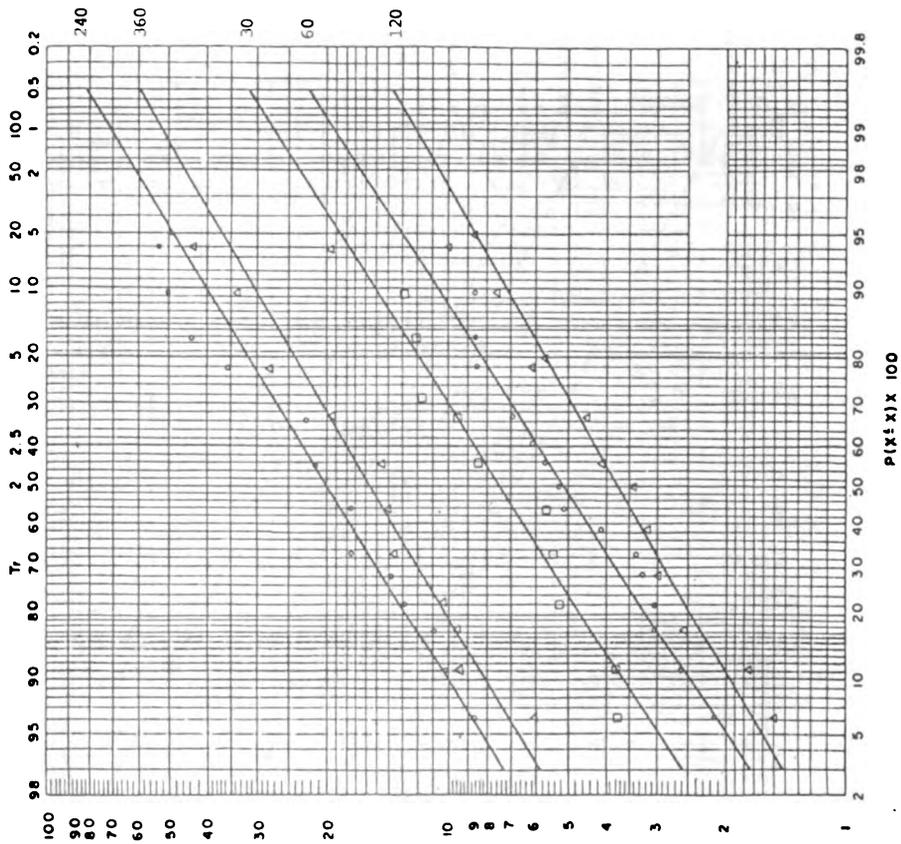


Fig. 21 Estación de Nizao (3801)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

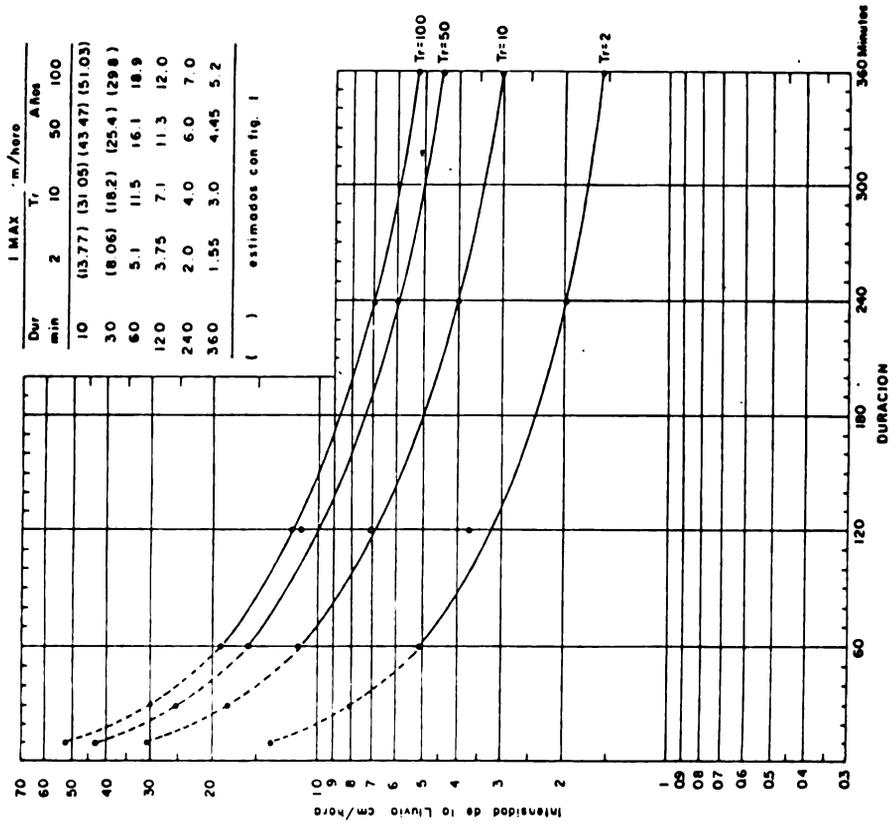
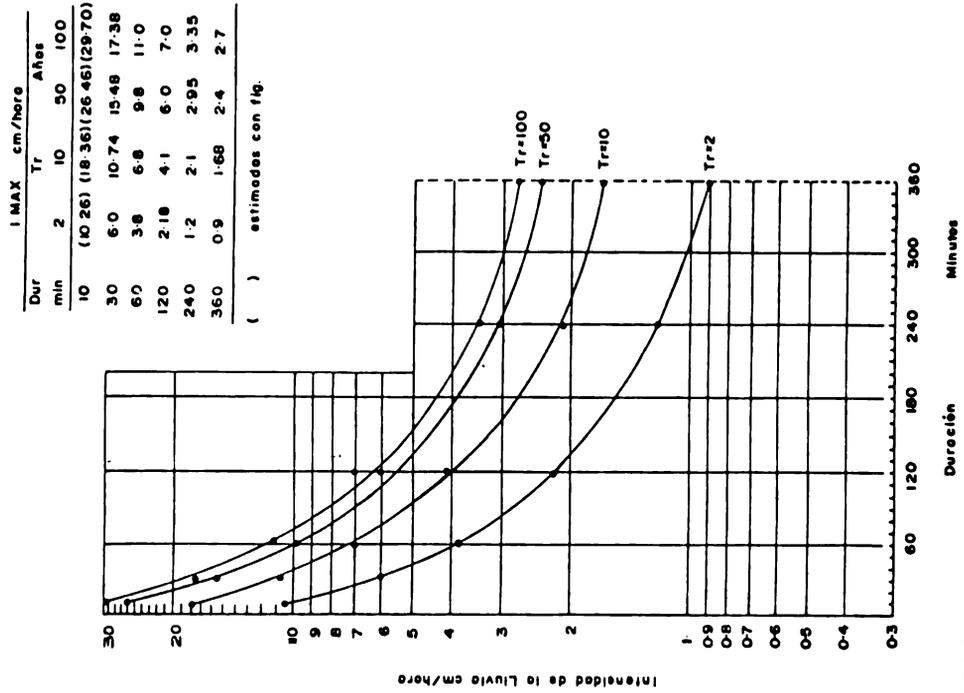


Fig. 22 Estación de Valdesia (3802)

Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.



Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.

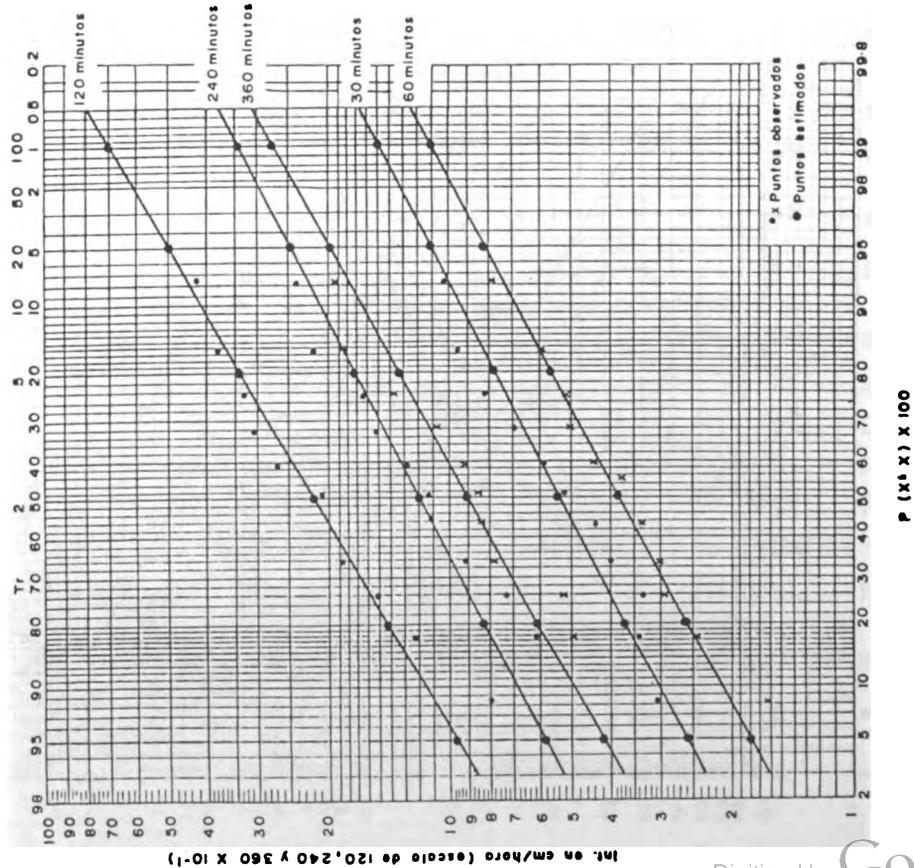
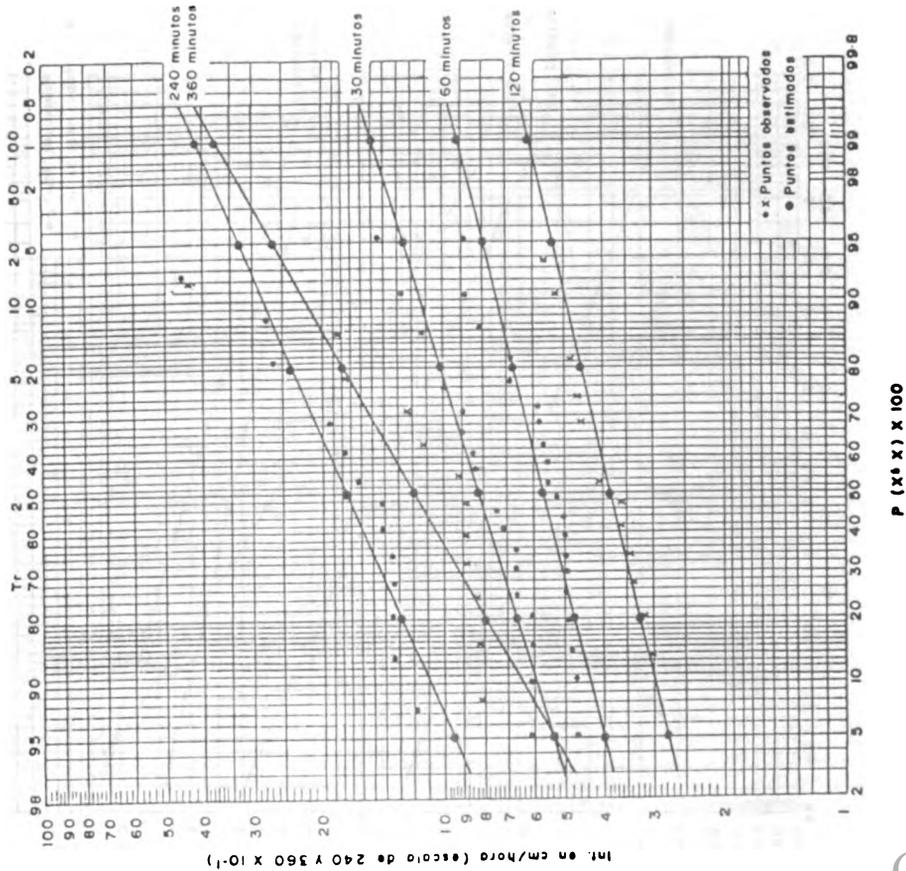


Fig. 23 Estación La Laguna (3804)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

Dur min	Tr	Años
10	(15.39)	(20.25)(23.76)(25.38)
30	8.2	11.4 14.0 15.0
60	5.7	7.5 8.8 9.4
120	3.9	5.1 5.9 6.25
240	1.8	2.9 3.8 4.25
360	1.2	2.3 3.28 3.75

() estimados con fig.

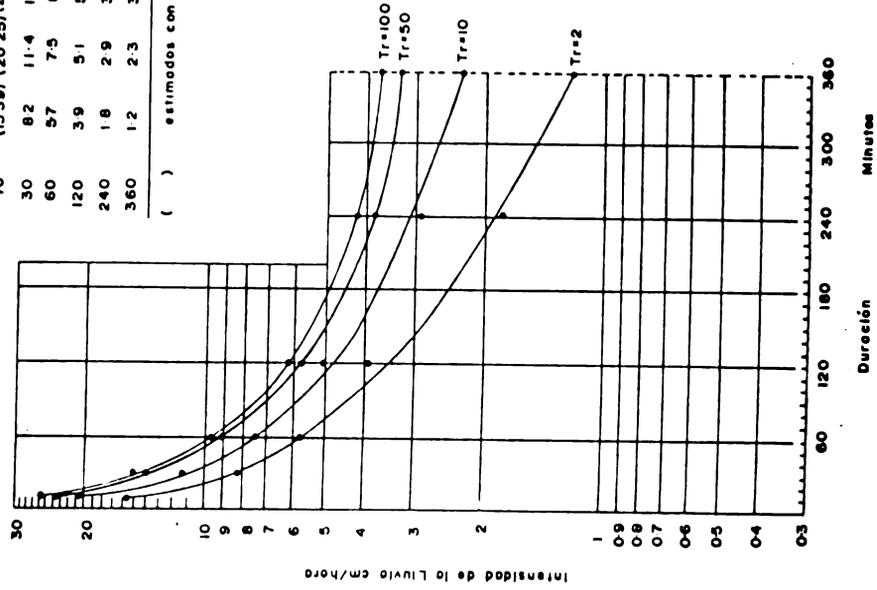
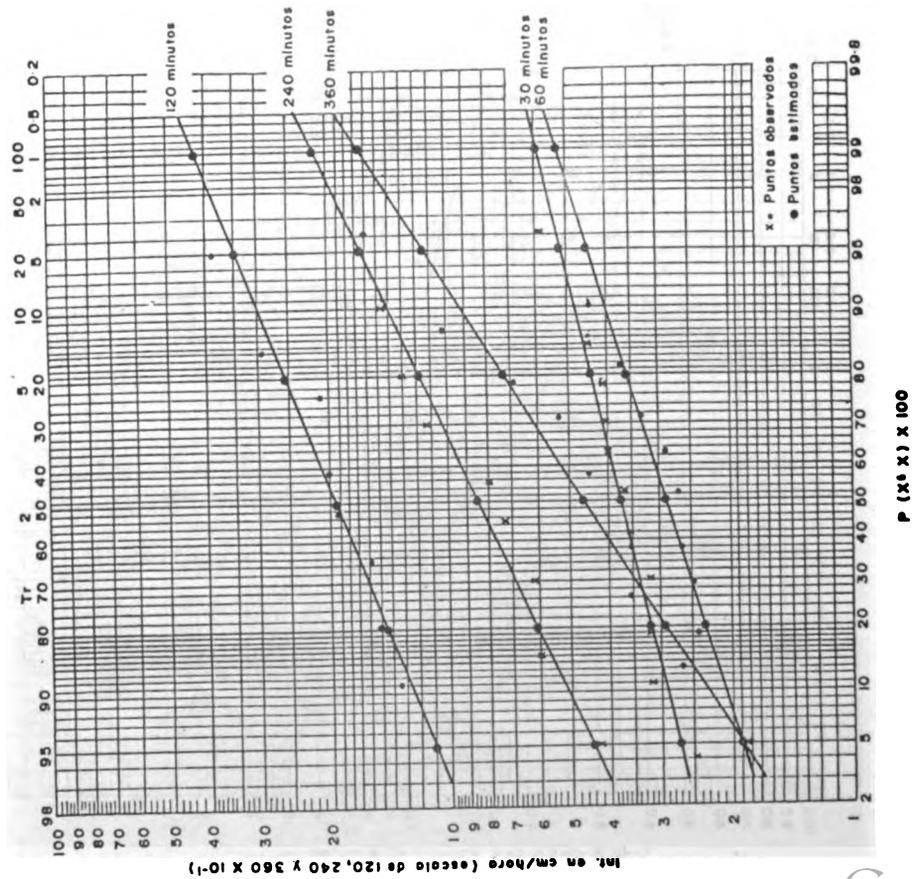


Fig. 24 Estación Peralta (4601)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240, y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

Dw	I MAX	Tr	Años
min	2	10	50
10	(7.76)	(10.67)	(12.96) (14.04)
30	3.75	4.8	5.6
60	2.88	3.95	4.8
120	1.95	2.9	3.8
240	0.91	1.4	1.9
360	0.46	0.93	1.4

() estimados con fig.

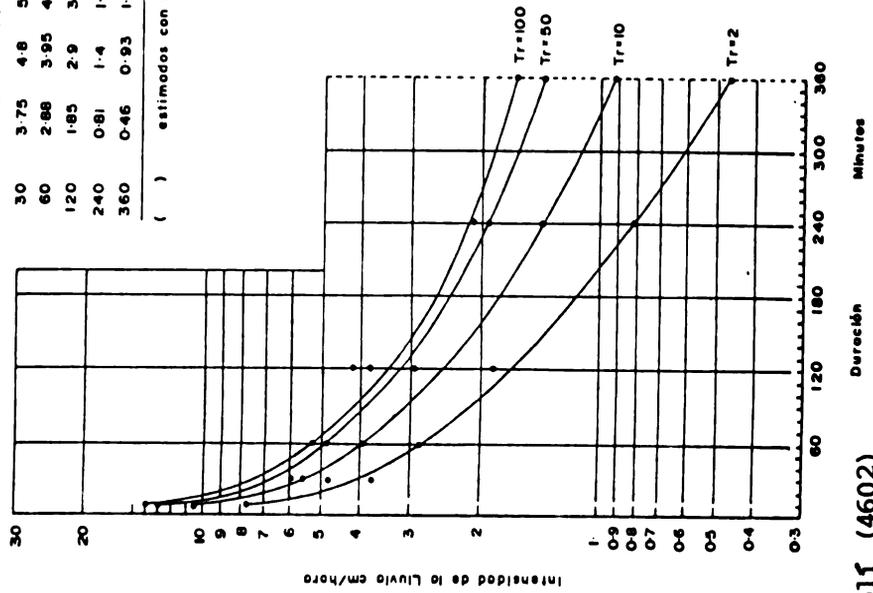


Fig. 25 Estación de Resolí (4602)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.

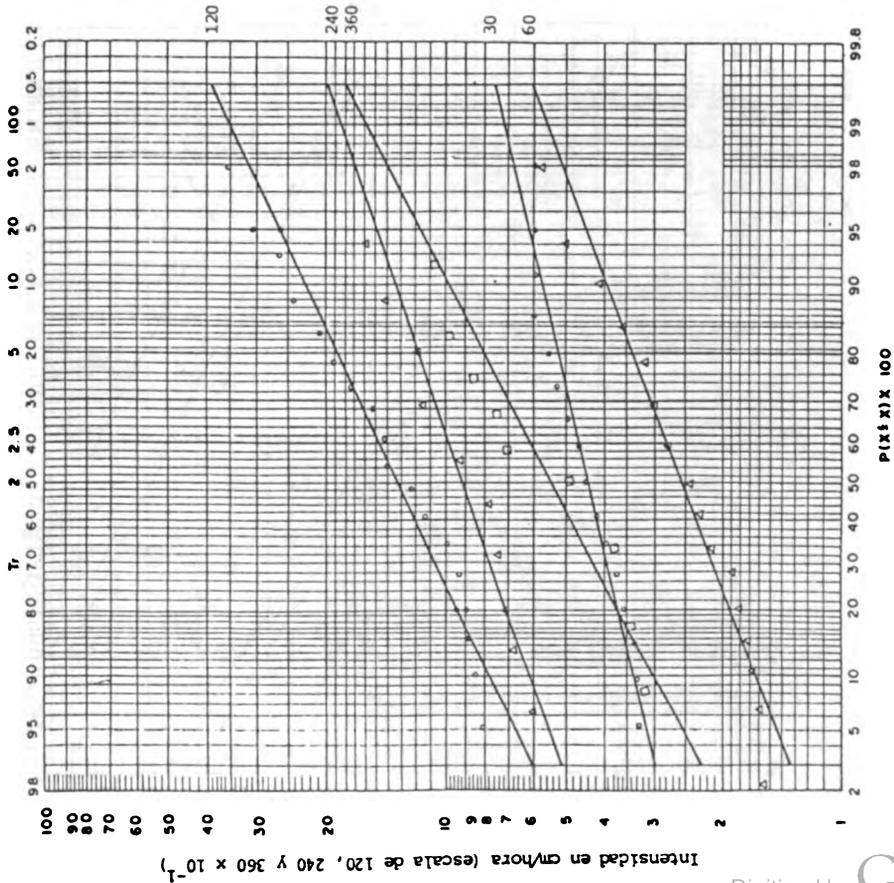
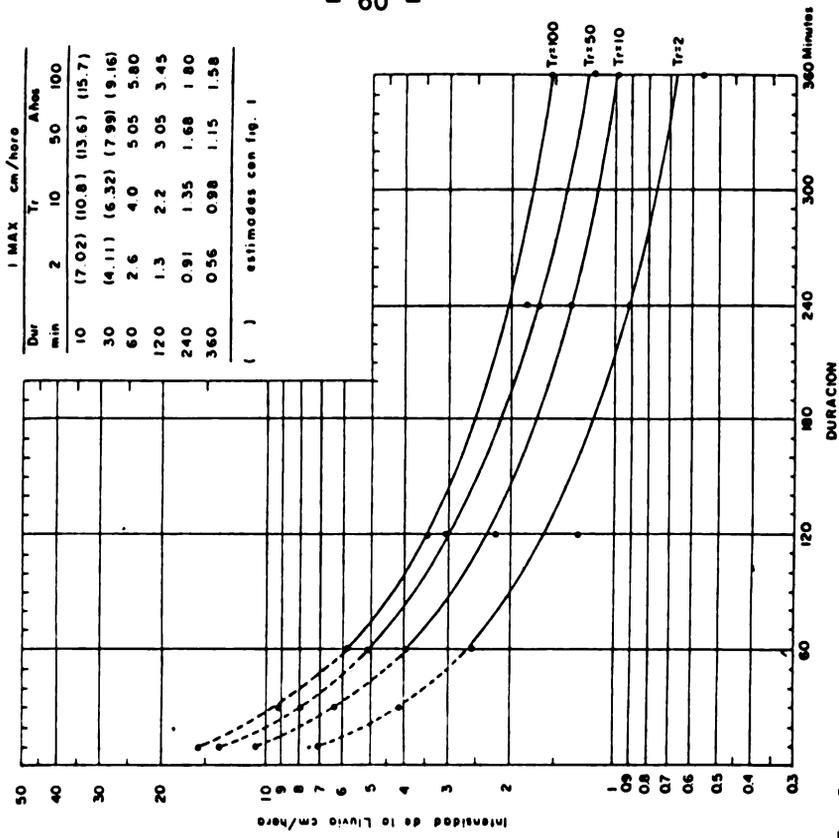
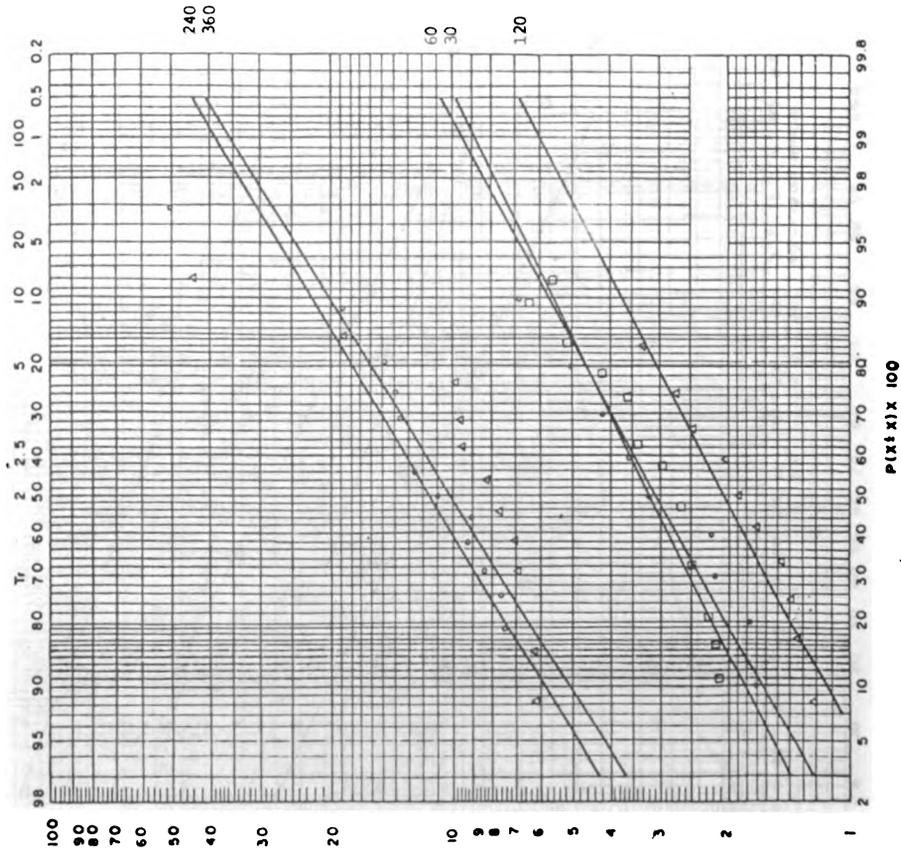


Fig. 26 Estación San Juan de la Maguana (4903)

Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.



Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

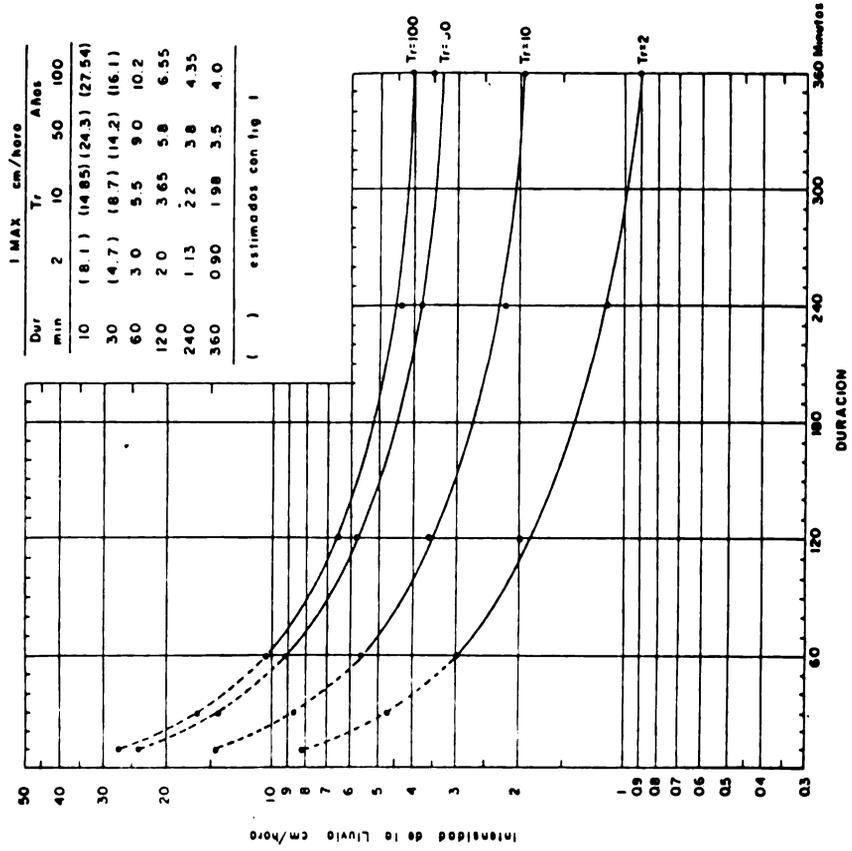
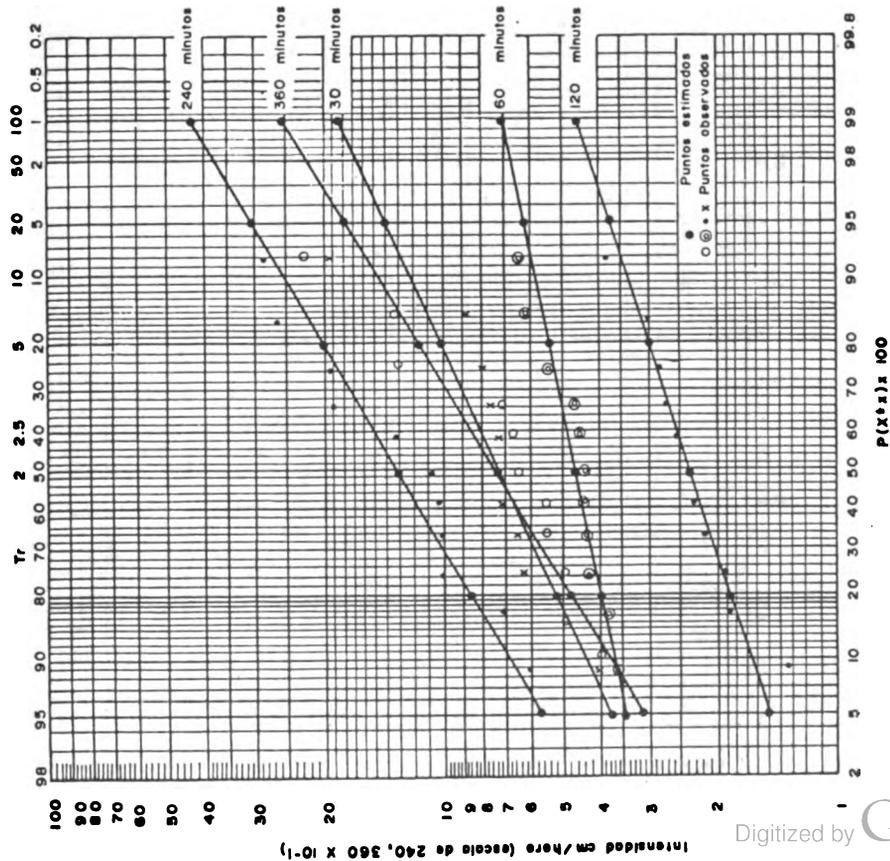


Fig. 27 Estación El Peñón (4904)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

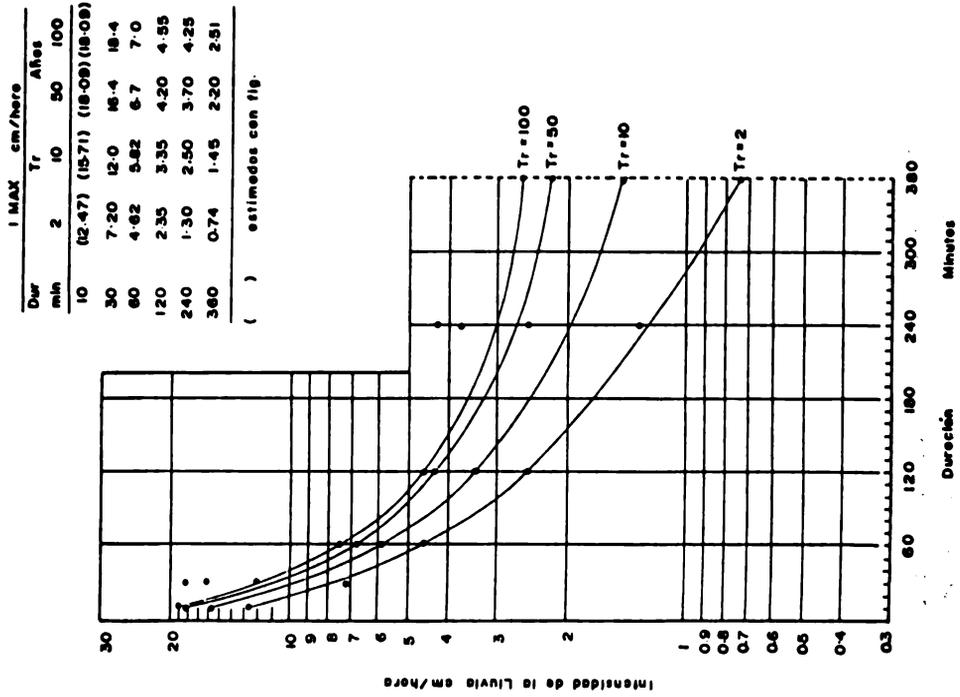
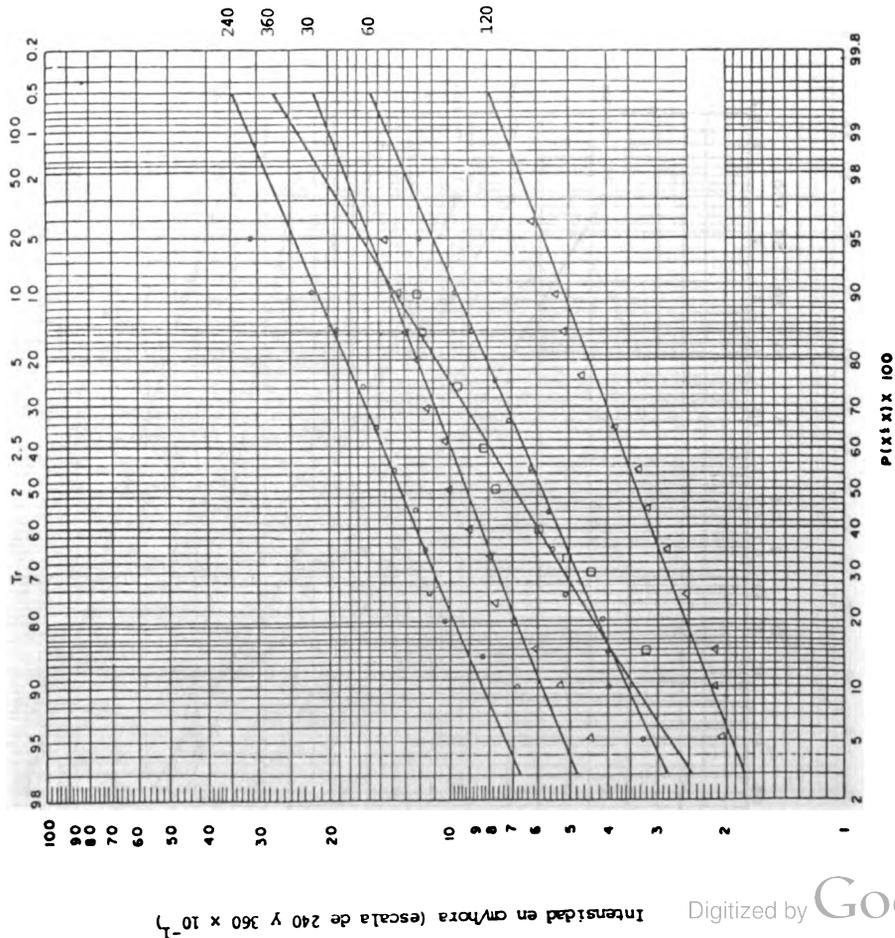
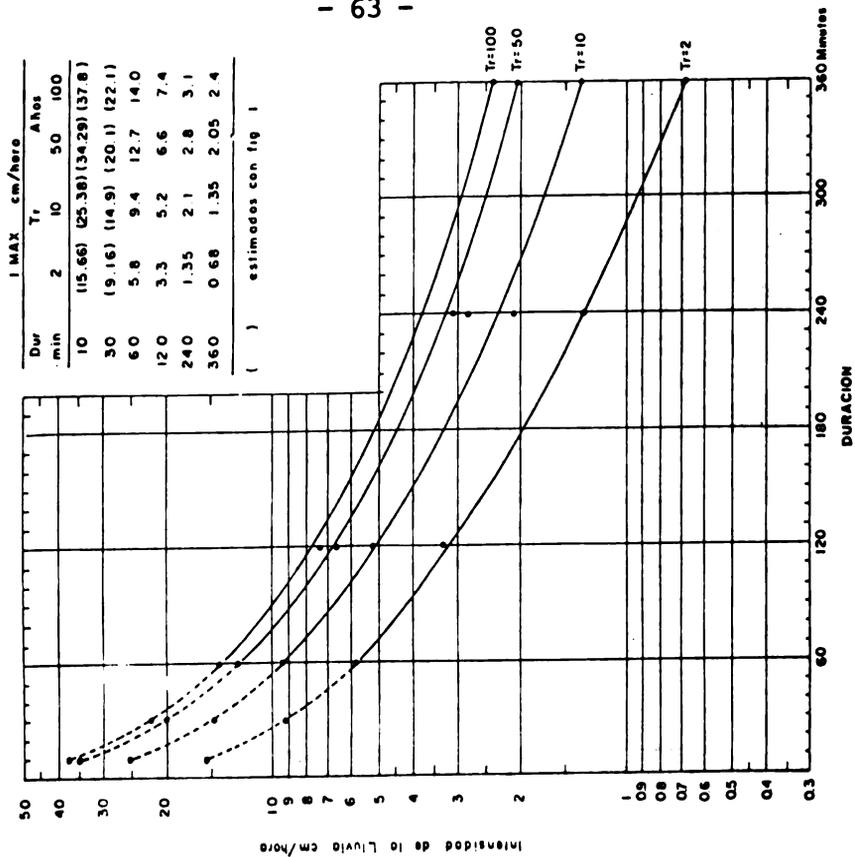


Fig. 28 Estación La Ciénaga (4906)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

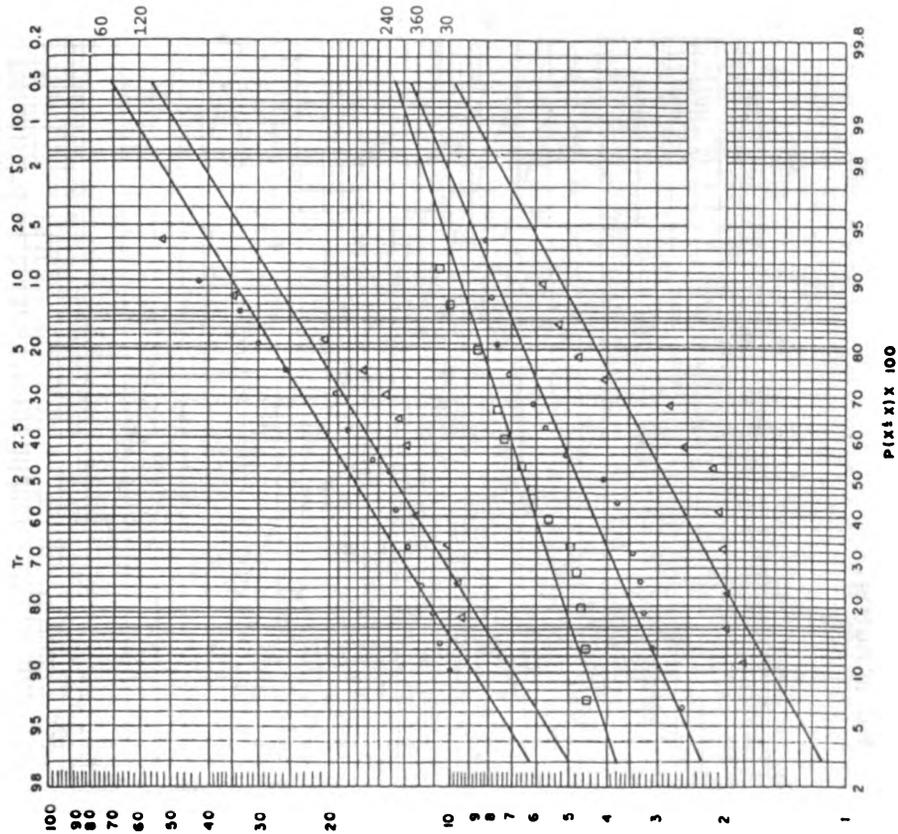


Dur. min	I MAX cm/hora		Tr Años
10	(15.66)	(25.38)	(34.29) (37.8)
30	(9.16)	(14.9)	(20.1) (22.1)
60	5.8	9.4	12.7 14.0
120	3.3	5.2	6.6 7.4
240	1.35	2.1	2.8 3.1
360	0.68	1.35	2.05 2.4

() estimados con fig 1

Fig. 29 Estación de La Florida (4907)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

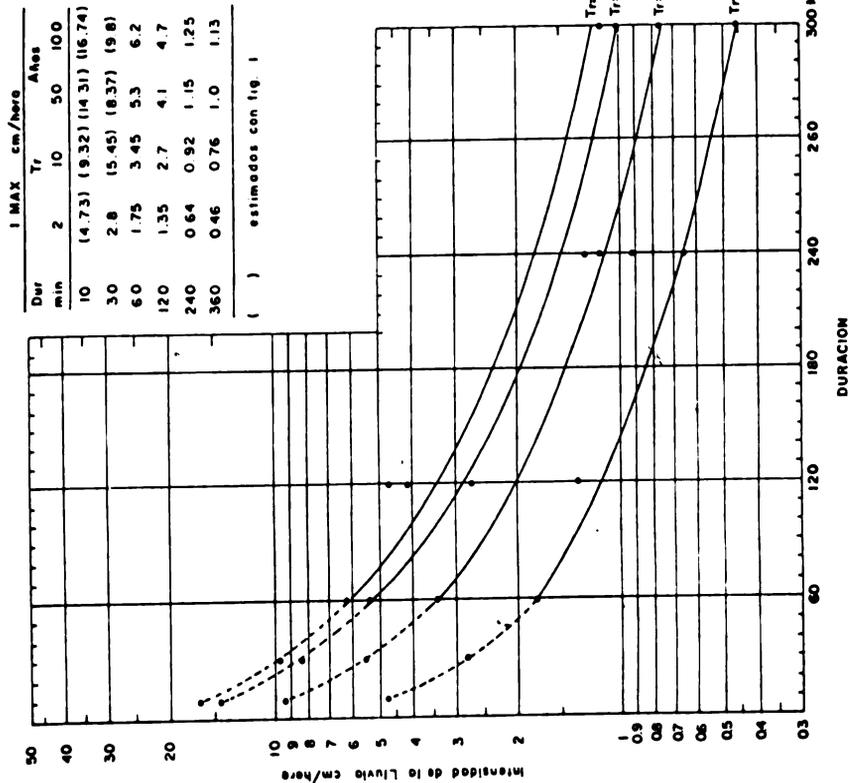
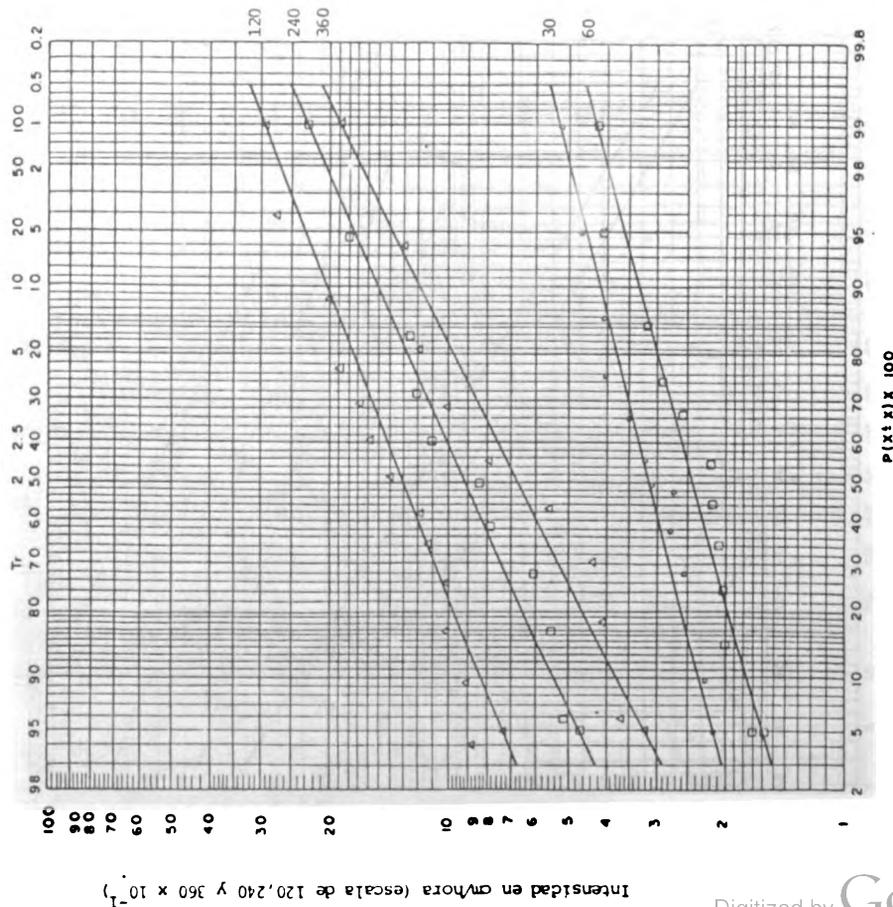


Fig. 30 Estación de Neyba (5301)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes periodos de retorno.

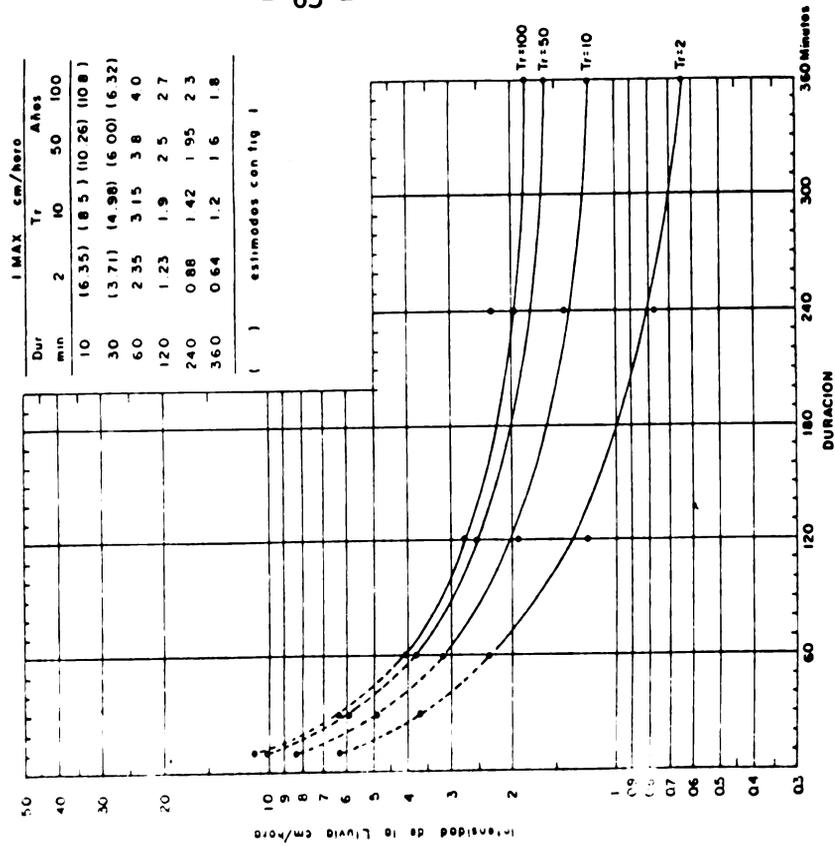
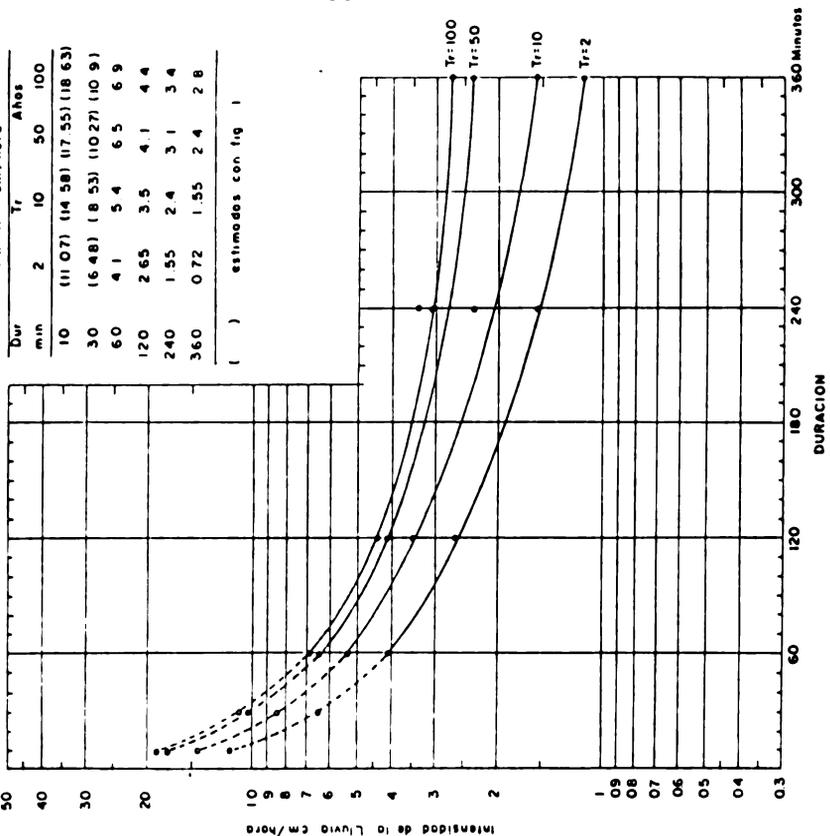


Fig. 31 Estación de Puerto Escondido (5302).

Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.



Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.

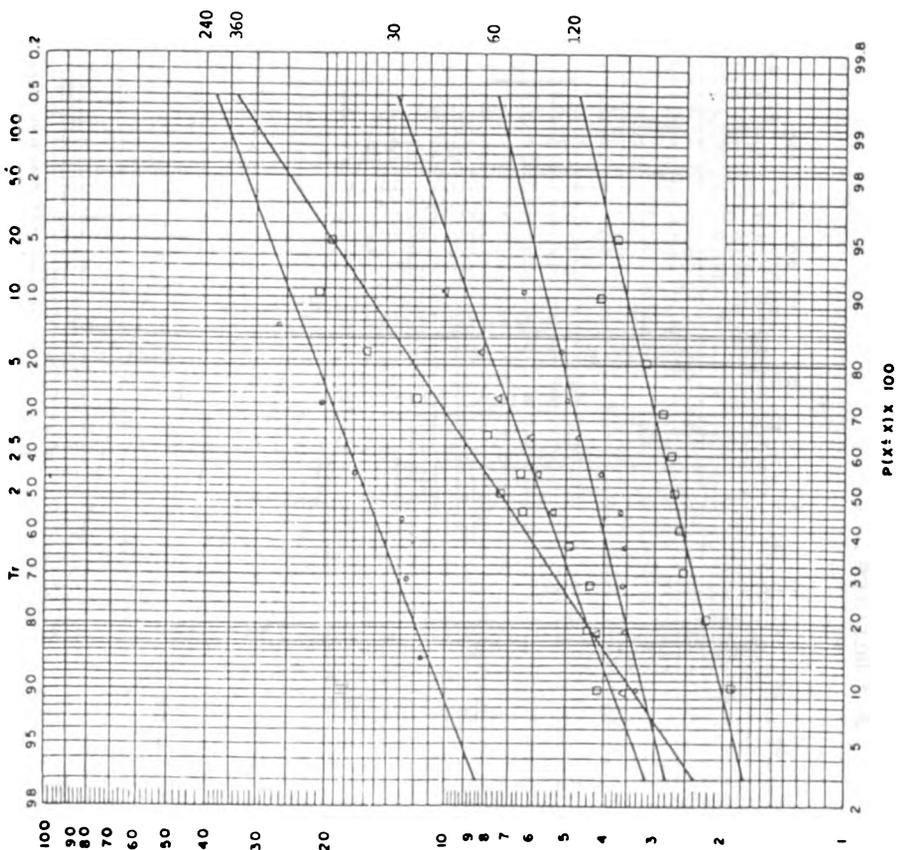
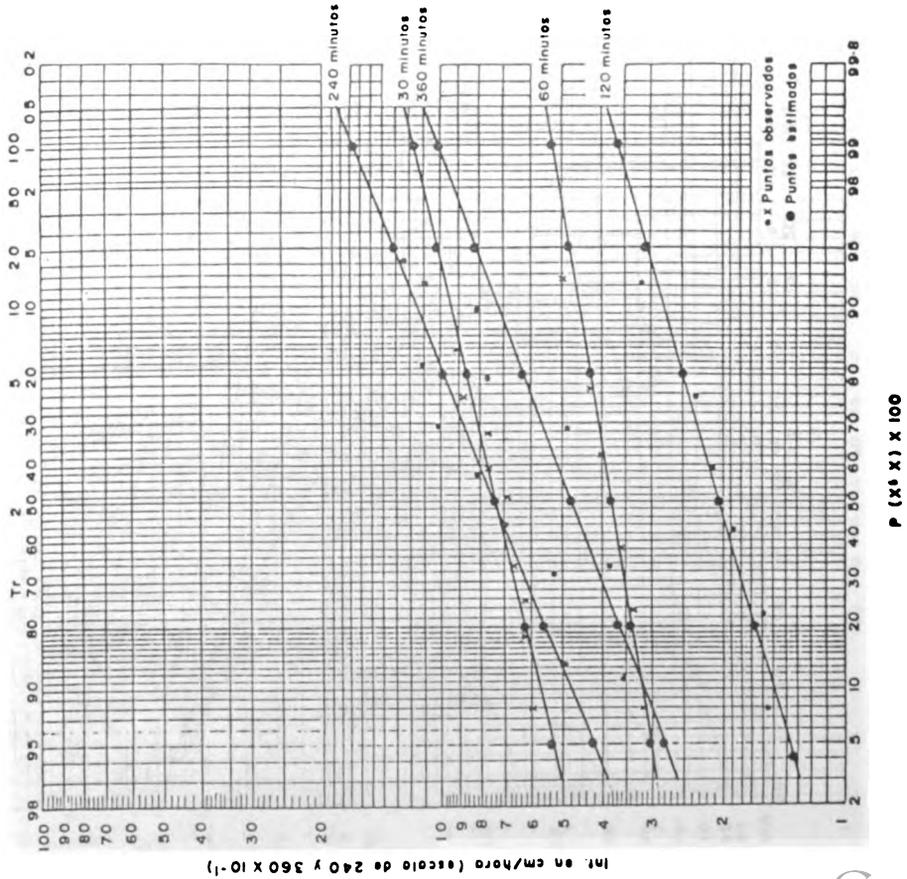


Fig. 32 Estación de Angostura (5312)

Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos.



Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para diferentes períodos de retorno.

Dur	I MAX cm/hora		
min	2	10	50
	Años		
10	(10.26) (12.4)	(13.77) (14.31)	
30	6.0	7.3	8.1
60	3.8	4.6	5.1
120	2.05	2.8	3.50
240	0.75	1.2	1.52
360	0.48	0.73	0.94

() estimados con fig 3

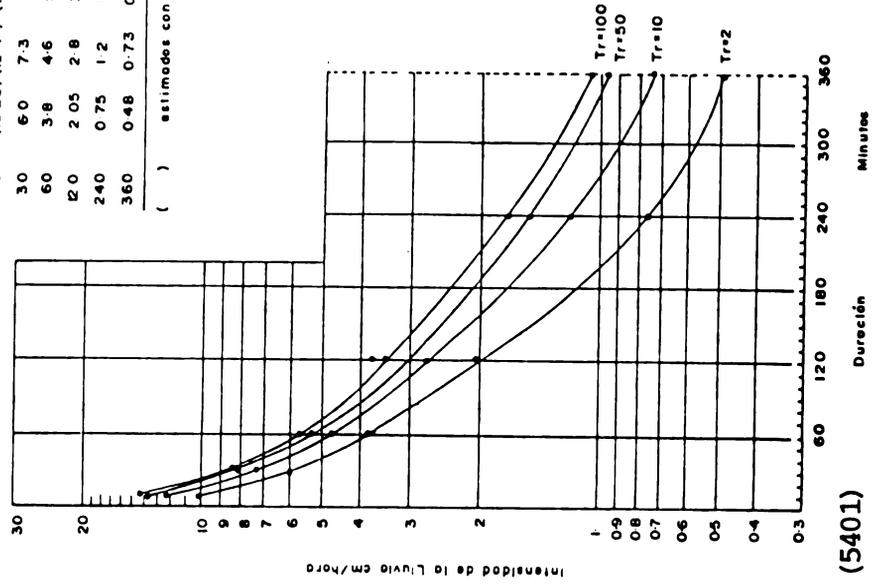


Fig. 33 Estación de Matayaya (5401)

	Prom E. I.	% de R.	% Acum.
ENE	14.31	1.09	1.09
FEB	25.75	1.97	3.06
MAR	33.42	2.54	5.60
ABR	102.15	7.77	13.37
MAY	227.63	17.32	30.69
JUN	202.91	15.44	46.13
JUL	84.56	6.43	52.56
AGO	135.42	10.30	62.86
SET	189.57	14.42	77.28
OCT	193.15	14.69	91.97
NOV	77.01	5.86	97.83
DIC	28.58	2.17	100.00
R TOTAL	1314.46		100.00

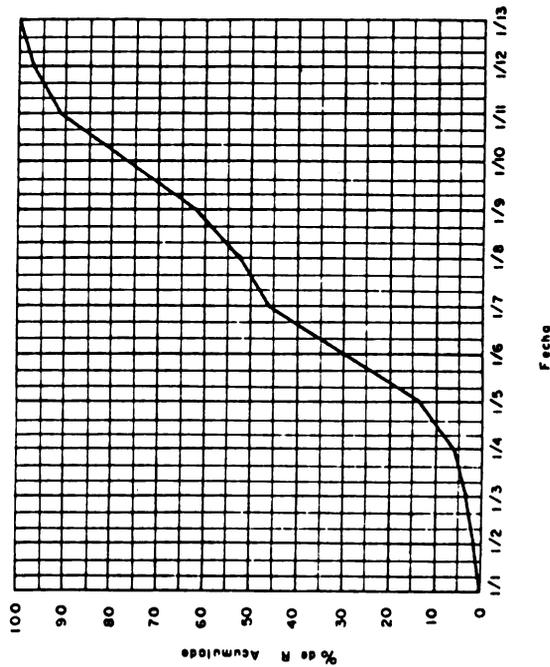


Figura 34 Valor R Y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Partido (0103) Provincia de Dajabón

	Prom E. I.	% de R.	% Acum.
ENE	14.61	3.20	3.20
FEB	22.42	4.90	8.10
MAR	16.86	3.69	11.79
ABR	55.08	12.05	23.84
MAY	45.36	9.93	33.77
JUN	29.70	6.50	40.27
JUL	37.31	8.17	48.44
AGO	57.32	12.55	60.99
SET	30.60	6.70	67.69
OCT	66.93	14.65	82.34
NOV	52.93	11.58	93.92
DIC	27.78	6.08	100.00
R TOTAL	456.9		100.00

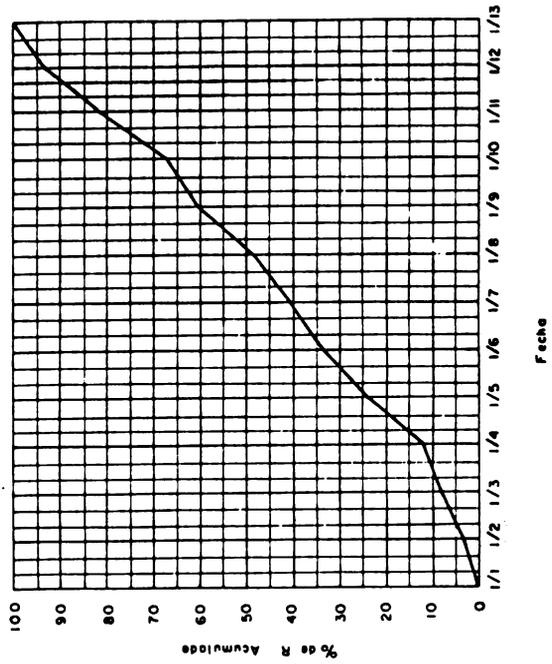


Figura 35 Valor R Y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Jarabacoa (0401).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	2.25	0.38	0.38
FEB	18.06	3.07	3.45
MAR	15.75	2.68	6.13
ABR	62.66	10.65	16.78
MAY	112.63	19.14	35.92
JUN	45.81	7.79	43.71
JUL	25.25	4.29	48.00
AGO	33.40	5.68	53.68
SET	99.94	16.99	70.67
OCT	91.24	15.50	86.17
NOV	63.77	10.84	97.01
DIC	17.57	2.99	100.00
R TOTAL	588.33		100.00

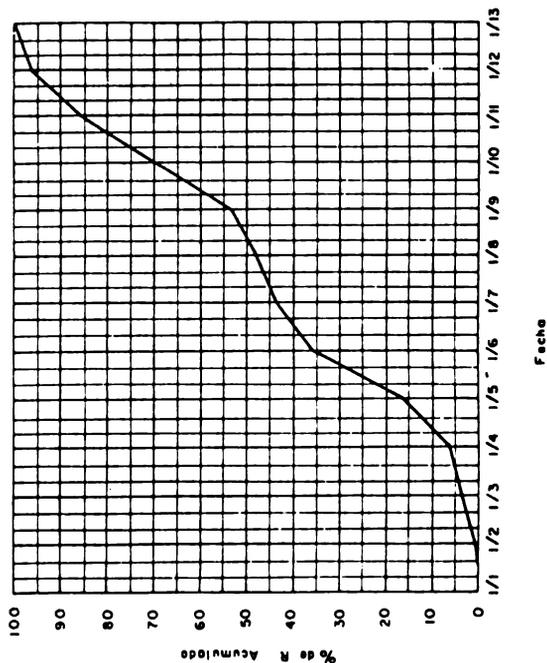


Figura 37 Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación San José de las Patas (0403).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	2.74	1.20	1.20
FEB	4.89	2.14	3.34
MAR	20.09	2.78	12.12
ABR	44.73	19.54	31.66
MAY	19.36	8.46	40.12
JUN	3.09	1.35	41.47
JUL	23.88	10.43	51.90
AGO	24.41	10.67	62.57
SET	24.26	10.60	73.17
OCT	56.33	24.61	97.78
NOV	0.64	0.28	98.06
DIC	4.44	1.94	100.00
R TOTAL	228.86		100.00

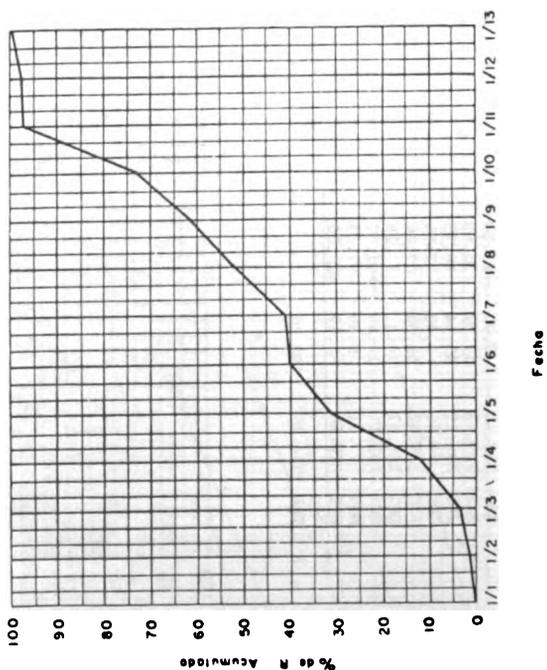


Figura 36 Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Tavera (0402).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	1.46	0.53	0.53
FEB	17.35	6.30	6.83
MAR	8.60	3.13	9.96
ABR	27.3	9.93	19.89
MAY	52.93	19.24	39.13
JUN	33.63	12.23	51.36
JUL	16.58	6.03	57.39
AGO	11.68	4.25	61.64
SET	28.79	10.47	72.11
OCT	44.21	16.07	88.18
NOV	15.91	5.78	93.96
DIC	16.60	6.04	100.00
R TOTAL	275.04		100.00

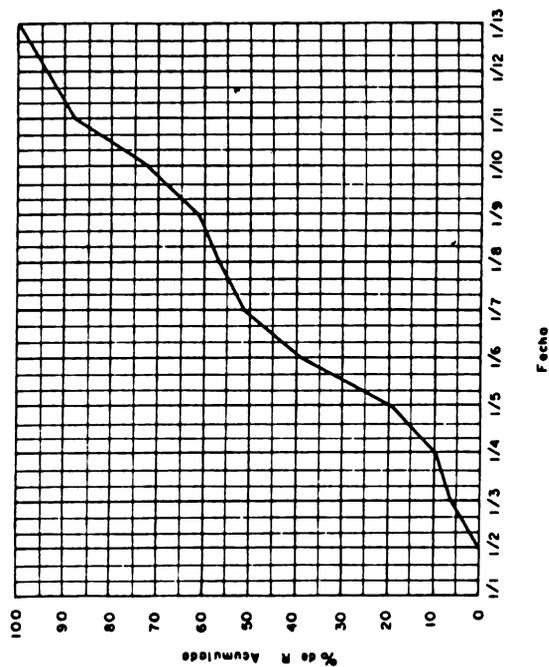


Figura 39 Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Valverde Maco (0406).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	6.54	2.04	2.04
FEB	5.64	1.76	3.80
MAR	23.80	7.42	11.22
ABR	19.32	6.03	17.25
MAY	89.31	27.85	45.10
JUN	22.26	6.94	52.04
JUL	4.45	1.39	53.43
AGO	23.59	7.36	60.79
SET	25.17	7.85	68.64
OCT	43.60	13.60	82.24
NOV	42.52	13.26	95.50
DIC	14.45	4.50	100.00
R TOTAL	320.65		100.00

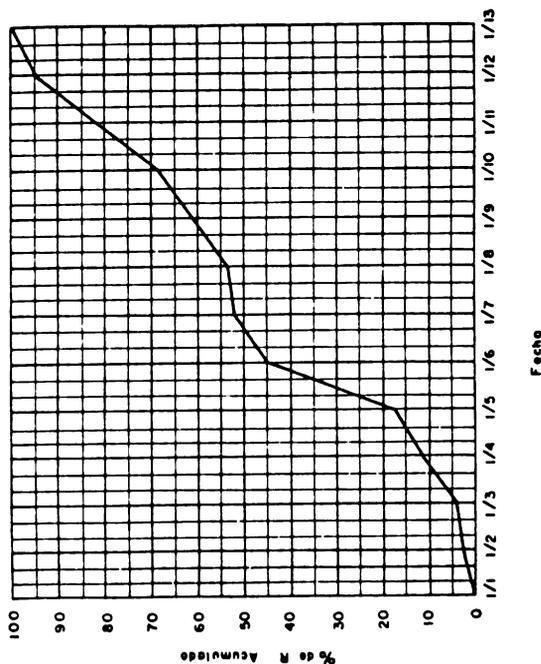


Figura 38 Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Santiago (0404).

	Prom F. I.	% de R.	% Acum.
ENE	1.24	0.37	0.37
FEB	19.50	6.07	6.44
MAR	5.70	1.74	8.18
ABR	29.99	9.15	17.33
MAY	43.17	13.17	30.50
JUN	22.55	6.88	37.88
JUL	12.99	3.96	41.34
AGO	63.11	19.25	60.59
SET	30.60	9.34	69.93
OCT	48.80	14.89	84.82
NOV	25.92	7.91	92.73
DIC	23.84	7.27	100.00
R TOTAL	327.81	100.00	

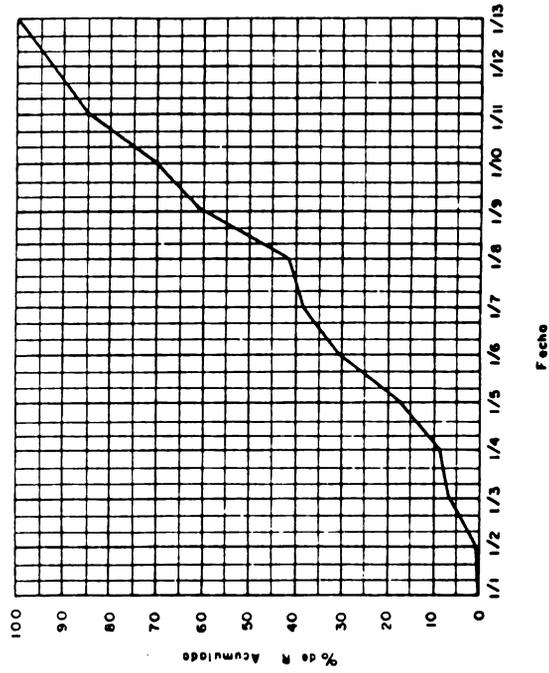


Figura 41 Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación El Río (0409).

	Prom E. I.	% de R.	% Acum.
ENE	6.28	1.79	1.79
FEB	5.17	1.48	3.27
MAR	13.19	3.76	7.03
ABR	20.79	5.93	12.96
MAY	51.16	14.60	27.56
JUN	73.45	20.96	48.52
JUL	11.54	3.29	51.81
AGO	40.07	11.43	63.24
SET	44.56	12.71	72.95
OCT	41.21	11.76	87.71
NOV	28.45	8.12	95.83
DIC	14.62	4.17	100.00
R TOTAL	350.49	100.00	

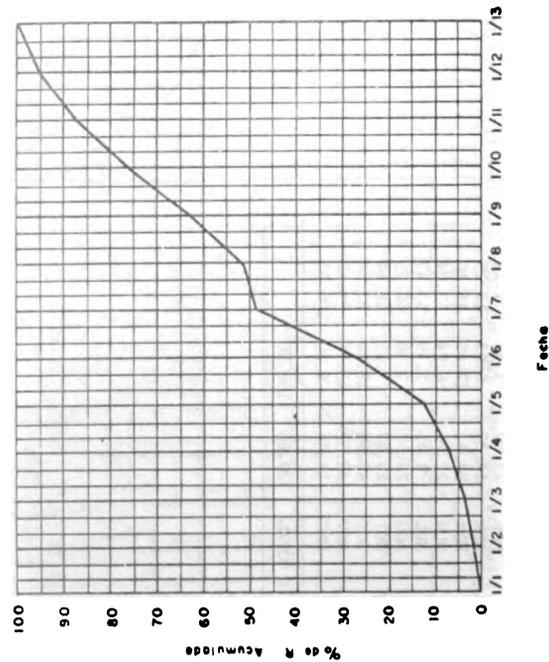


Figura 40 Valor R y distribución mensual del Índice de Erosión en la Estación La Antona. (0408)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	2.40	0.34	0.34
FEB	28.80	4.10	4.44
MAR	14.86	2.12	6.56
ABR	48.59	6.92	13.48
MAY	155.18	22.11	35.59
JUN	104.95	14.95	50.54
JUL	29.75	4.24	54.78
AGO	60.45	8.61	63.39
SET	103.67	14.77	78.16
OCT	97.30	13.86	92.02
NOV	44.17	6.29	98.31
DIC	11.85	1.69	100.00
R TOTAL	701.97	100.00	

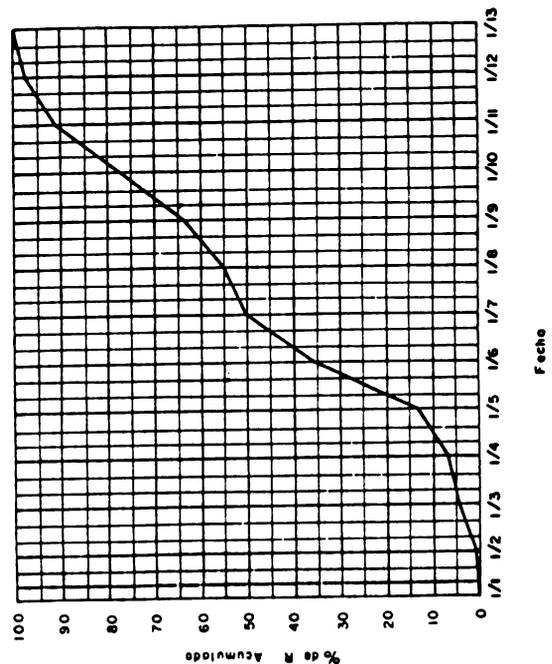


Figura 42 Valor R y distribución mensual del índice de la Erosión en la Estación Manabao. (0410)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	6.48	0.54	0.54
FEB	20.01	1.66	2.2
MAR	47.36	3.92	6.12
ABR	64.88	5.37	11.49
MAY	212.43	17.58	29.07
JUN	165.71	13.72	42.79
JUL	75.75	6.27	49.06
AGO	89.49	7.41	56.47
SET	219.77	18.19	74.66
OCT	202.27	16.74	91.4
NOV	81.94	6.78	98.18
DIC	22.04	1.82	100.00
R TOTAL	1208.13	100.00	

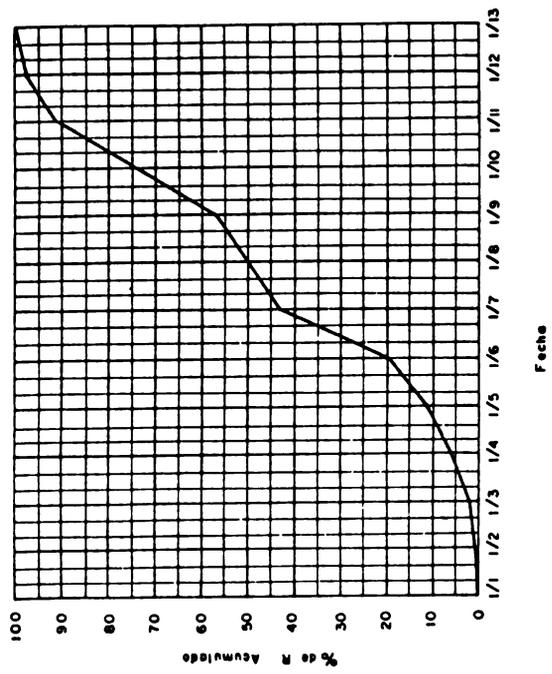


Figura 43 Valor R y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Mata Grande. (0411)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	2.35	0.60	0.60
FEB	5.37	1.38	1.98
MAR	14.75	3.78	5.76
ABR	9.86	2.53	8.29
MAY	89.33	22.90	31.19
JUN	26.79	6.87	38.06
JUL	42.26	10.83	48.89
AGO	35.13	9.01	57.9
SET	93.86	24.06	81.96
OCT	39.62	10.16	92.12
NOV	20.70	5.31	97.43
DIC	10.03	2.57	100.00
R TOTAL	390.05		100.00

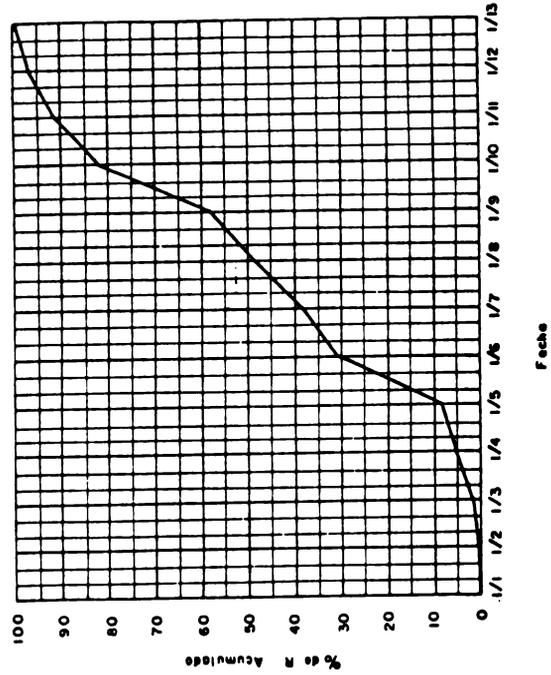


Figura 43 Valor R y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Santo Domingo. (0486)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	18.26	2.11	2.11
FEB	28.76	3.32	5.43
MAR	40.57	4.68	10.11
ABR	92.71	10.71	20.82
MAY	129.84	14.99	35.81
JUN	75.55	8.72	44.53
JUL	53.71	6.20	50.73
AGO	68.15	7.87	58.6
SET	156.80	18.11	76.71
OCT	113.78	13.14	89.85
NOV	67.27	7.77	97.62
DIC	20.61	2.38	100.00
R TOTAL	866.01		100.00

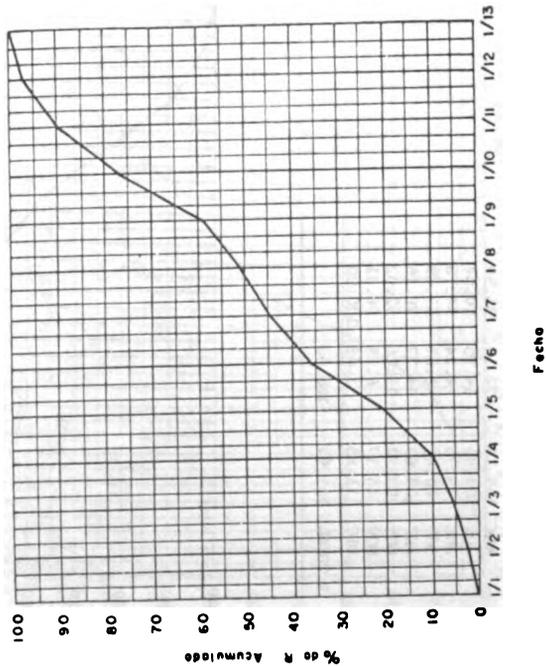


Figura 44 Valor R y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Magua, Nariño, Prov. Stgo. Rugez. (0412)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	4.73	0.57	0.53
FEB	1.53	0.18	0.75
MAR	53.19	6.39	7.14
ABR	80.16	9.63	16.77
MAY	80.71	9.69	26.46
JUN	32.86	3.95	30.41
JUL	44.68	5.37	35.78
AGO	75.02	9.01	44.79
SET	54.48	6.54	51.33
OCT	71.89	8.63	59.96
NOV	299.94	36.02	95.98
DIC	33.44	4.02	100.00
R TOTAL	832.63	100.00	

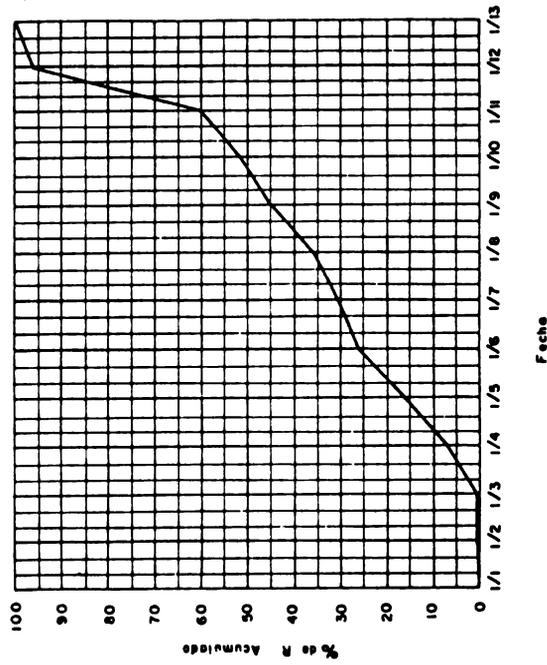


Figura 47 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Juma-Bonao. (1802)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	8.67	2.13	2.13
FEB	13.68	3.36	5.49
MAR	9.19	2.26	7.75
ABR	40.36	9.92	17.67
MAY	52.08	12.80	30.47
JUN	23.07	5.67	36.14
JUL	26.50	6.51	42.65
AGO	55.74	13.70	56.35
SET	44.40	10.91	67.26
OCT	42.78	10.51	77.77
NOV	54.13	13.30	91.07
DIC	36.40	8.93	100.0
R TOTAL	407.0	100.0	

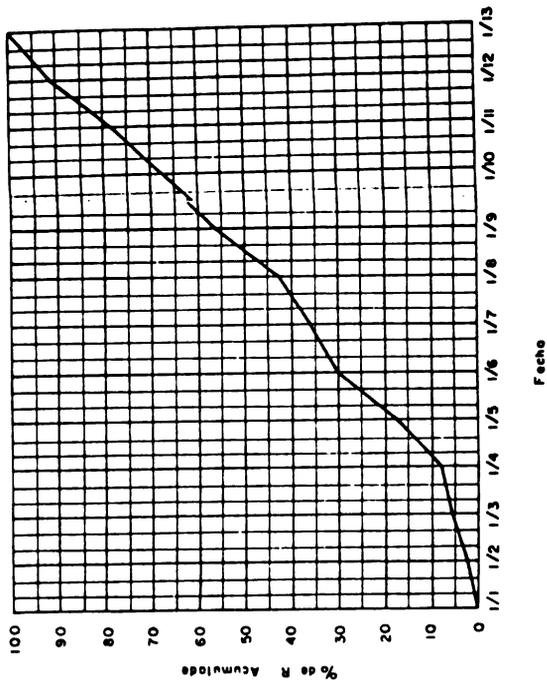


Figura 46 Valor R y distribución mensual del Índice de Erosión en la Estación San Fco. de Acacris. (1801)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	9.97	1.26	1.3
FEB	37.10	4.70	6.0
MAR	22.93	2.91	8.9
ABR	118.98	15.08	24.0
MAY	98.88	12.5	36.5
JUN	36.79	4.7	41.2
JUL	62.01	7.9	49.0
AGO	75.46	9.6	58.6
SET	32.54	4.1	62.7
OCT	129.64	16.4	79.1
NOV	98.84	12.5	91.6
DIC	65.94	8.4	100.0
R TOTAL	789.08	100.00	

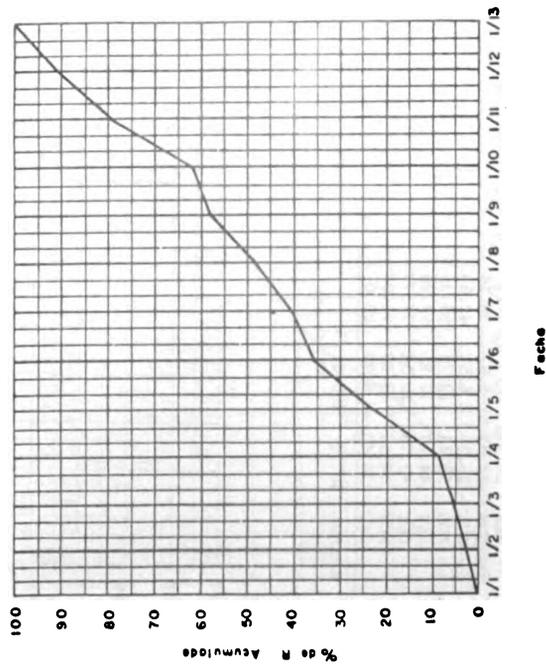


Figura 48 Valor R y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Ladrón del Yuna. (1803)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	14.63	1.18	1.18
FEB	39.33	3.16	4.34
MAR	76.32	6.13	10.47
ABR	128.55	10.33	20.8
MAY	166.91	13.43	34.21
JUN	61.77	4.96	39.17
JUL	81.09	6.51	45.68
AGO	103.11	8.28	53.96
SET	154.68	12.43	66.39
OCT	146.48	11.77	78.16
NOV	217.85	17.50	95.66
DIC	54.05	4.34	100.00
R TOTAL	1244.77	100.00	

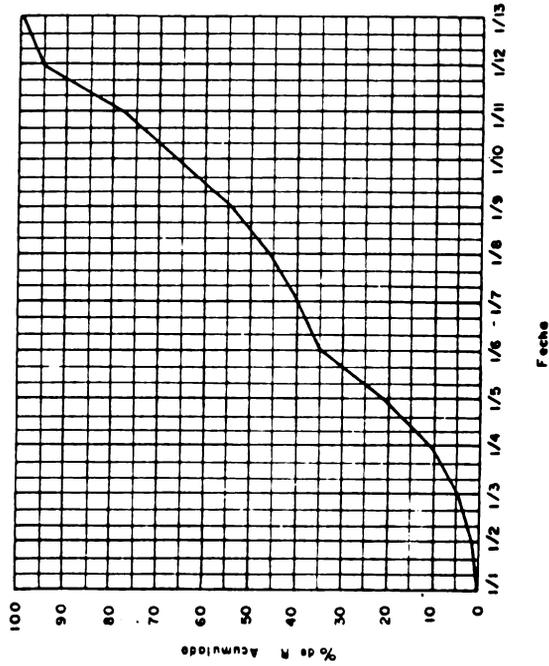


Figura 49 Valor R y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Los Quemados. (1804)

	Prom E I	% de R	% Acum.
ENE	8.72	2.36	2.36
FEB	17.66	4.78	7.14
MAR	44.88	12.15	19.29
ABR	33.34	9.03	28.32
MAY	44.39	12.02	40.34
JUN	7.27	1.97	42.31
JUL	36.8	9.97	52.28
AGO	22.08	5.98	58.26
SET	22.03	5.97	64.23
OCT	81.84	22.16	86.39
NOV	38.61	10.46	96.85
DIC	11.65	3.15	100.00
R TOTAL		369.27	100.00

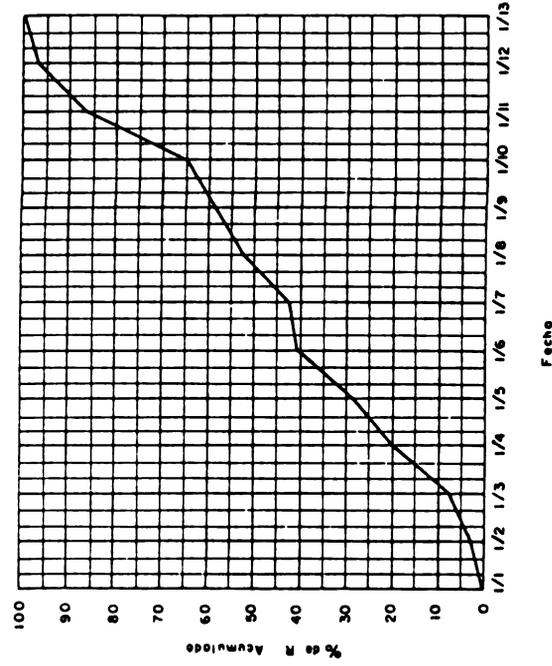


Figura 51. Relación Intensidad Máxima vs. Duración para Diferentes Períodos de Retorno en la Estación Higway. (2401)

	Prom E I	% de R	% Acum.
ENE	1.2	0.1	0.1
FEB	9.4	0.7	0.8
MAR	59.7	4.5	5.3
ABR	77.6	5.9	11.2
MAY	776.1	59.0	70.3
JUN	51.7	3.9	74.2
JUL	38.0	2.9	77.1
AGO	66.0	5.0	82.1
SET	106.4	8.1	90.2
OCT	36.9	2.8	93.0
NOV	72.3	5.5	98.5
DIC	19.9	1.5	100.0
R TOTAL		1315	100

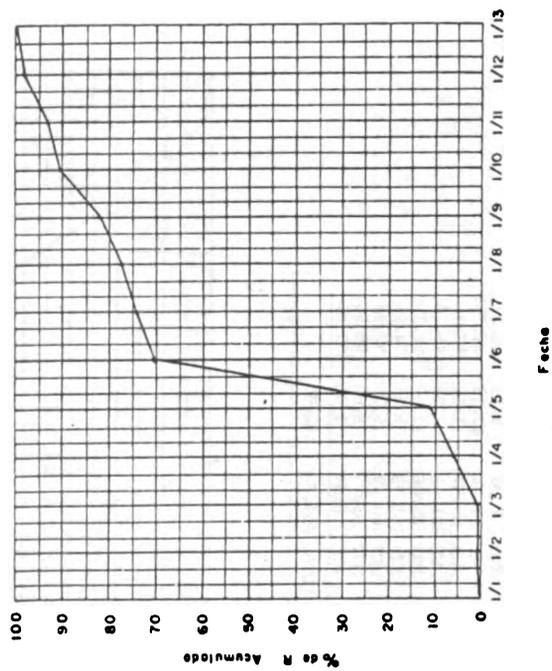


Figura 50. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Hatillo-Yuna (1806).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	24.49	5.80	5.80
FEB	5.00	1.18	6.98
MAR	16.89	4.00	10.98
ABR	38.15	9.04	20.02
MAY	100.22	23.74	43.76
JUN	36.09	8.55	52.31
JUL	17.52	4.15	56.46
AGO	54.10	12.81	69.27
SET	48.12	11.40	80.67
OCT	53.45	12.66	93.33
NOV	24.31	5.76	99.09
DIC	3.83	0.91	100.00
R TOTAL	422.17	100.00	

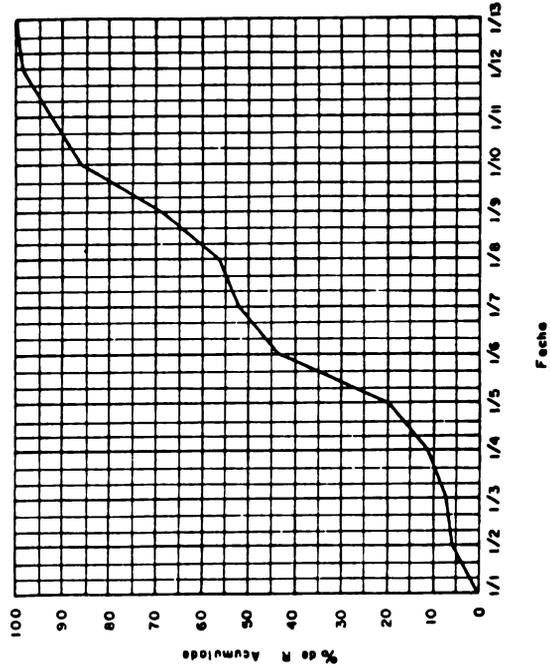


Figura 53 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Nizao. (3801)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	5.77	0.89	0.89
FEB	14.47	2.22	3.11
MAR	41.21	6.33	9.44
ABR	52.90	8.13	17.57
MAY	79.24	12.18	29.75
JUN	85.57	13.15	42.9
JUL	21.66	3.33	46.23
AGO	85.08	13.07	59.3
SET	101.93	15.66	74.96
OCT	100.19	15.39	90.35
NOV	55.97	8.60	98.95
DIC	6.84	1.05	100.00
R TOTAL	650.83	100.00	

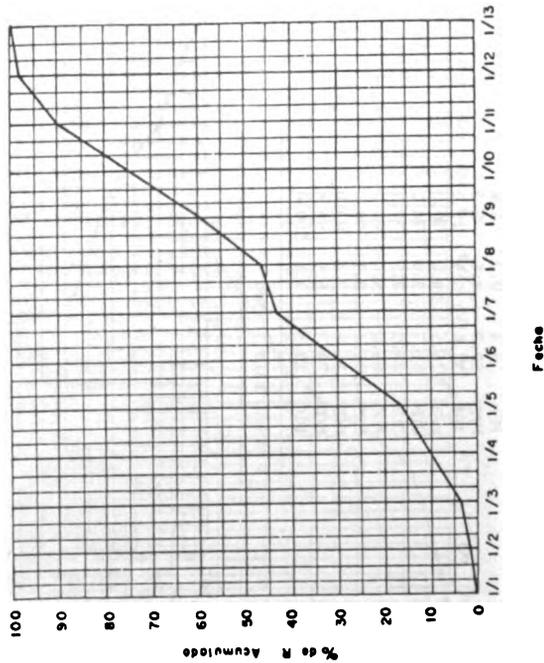


Figura 52 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación El Seybo. (3001)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	8.26	1.82	1.82
FEB	5.16	1.14	2.96
MAR	15.39	3.40	6.36
ABR	19.08	4.21	10.57
MAY	100.15	22.11	32.68
JUN	58.32	12.88	45.56
JUL	30.23	6.67	52.23
AGO	58.56	12.93	65.16
SET	46.72	10.32	75.48
OCT	77.19	17.04	92.52
NOV	26.79	5.92	98.44
DIC	7.05	1.56	100.00
R TOTAL	452.9	100.00	

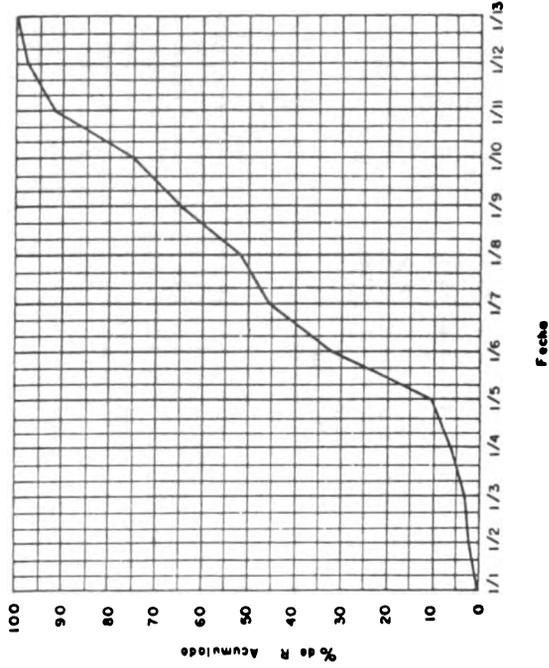


Figura 55 Valor R y distribución Mensual del Índice de la Erosión en la Estación La Laguna. (3804)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	11.76	1.08	1.08
FEB	7.52	0.69	1.77
MAR	11.49	1.05	2.82
ABR	56.14	5.15	7.97
MAY	105.82	9.71	17.68
JUN	217.44	19.96	37.64
JUL	76.28	7.00	44.64
AGO	179.31	16.46	61.10
SET	265.96	24.42	85.52
OCT	120.36	11.05	96.57
NOV	25.54	2.35	98.92
DEC	11.73	1.08	100.00
R TOTAL	1089.35	100.00	

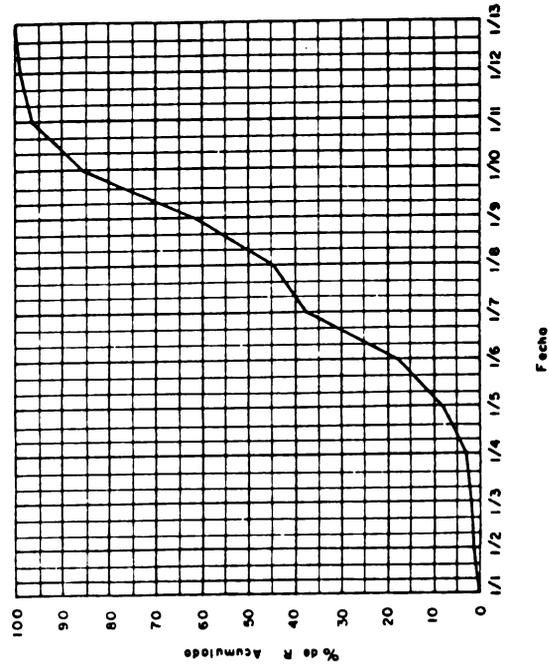


Figura 54 Valor R y distribución mensual del Índice de la Erosión en la Estación Valdésia, Prov. Peravía. (3802)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	24.49	5.80	5.80
FEB	5.00	1.18	6.98
MAR	16.89	4.00	10.98
ABR	38.15	9.04	20.02
MAY	100.22	23.74	43.76
JUN	36.09	8.55	52.31
JUL	17.52	4.15	56.46
AGO	54.10	12.81	69.27
SET	48.12	11.40	80.67
OCT	53.45	12.66	93.33
NOV	24.31	5.76	99.09
DIC	3.83	0.91	100.00
R TOTAL	422.17	100.00	

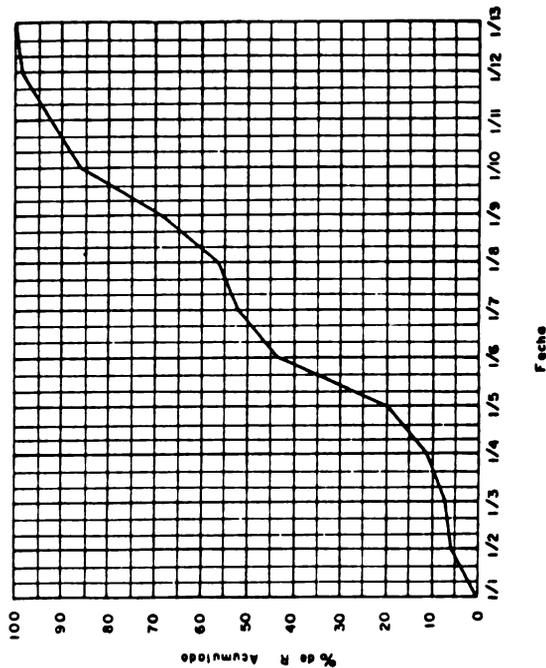


Figura 53 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación Nizao. (1981)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	5.77	0.89	0.89
FEB	14.47	2.22	3.11
MAR	41.21	6.33	9.44
ABR	52.90	8.13	17.57
MAY	79.24	12.18	29.75
JUN	85.57	13.15	42.9
JUL	21.66	3.33	46.23
AGO	85.08	13.07	59.3
SET	101.93	15.66	74.96
OCT	100.19	15.39	90.35
NOV	55.97	8.60	98.95
DIC	6.84	1.05	100.00
R TOTAL	650.83	100.00	

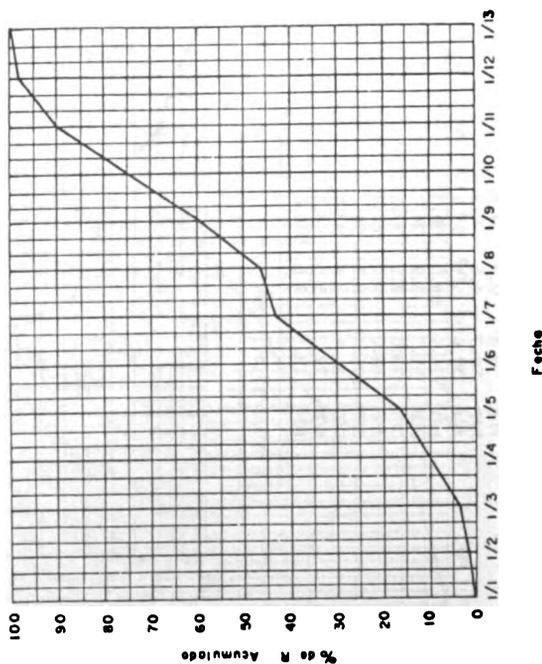


Figura 52 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación El Seybo. (2001)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	11.76	1.08	1.08
FEB	7.52	0.69	1.77
MAR	11.49	1.05	2.82
ABR	56.14	5.15	7.97
MAY	105.82	9.71	17.68
JUN	217.44	19.96	37.64
JUL	76.28	7.00	44.64
AGO	179.31	16.46	61.10
SET	265.96	24.42	85.52
OCT	120.36	11.05	96.57
NOV	25.54	2.35	98.92
DIC	11.73	1.08	100.00
R TOTAL	1089.35		100.00

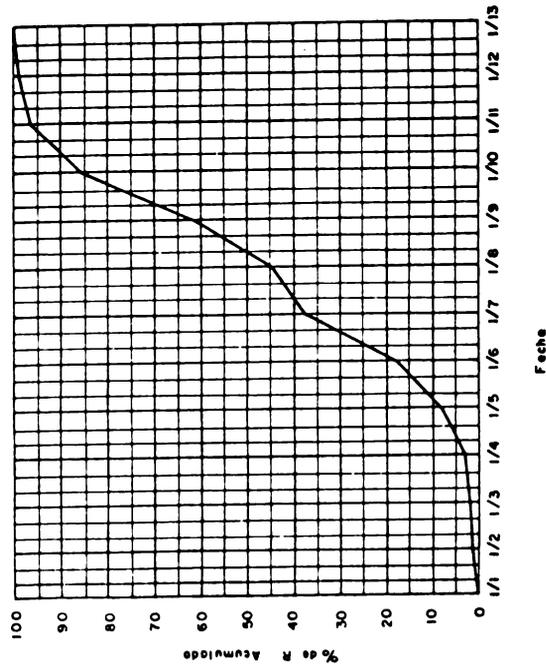


Figura 94 Valor R y distribución mensual del índice de la Erosión en la Estación Valdesia, Prov. Peruvia. (3802)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	8.26	1.82	1.82
FEB	5.16	1.14	2.96
MAR	15.39	3.40	6.36
ABR	19.08	4.21	10.57
MAY	100.15	22.11	32.68
JUN	58.32	12.88	45.56
JUL	30.23	6.67	52.23
AGO	58.56	12.93	65.16
SET	46.72	10.32	75.48
OCT	77.19	17.04	92.52
NOV	26.79	5.92	98.44
DIC	7.05	1.56	100.00
R TOTAL	452.9		100.00

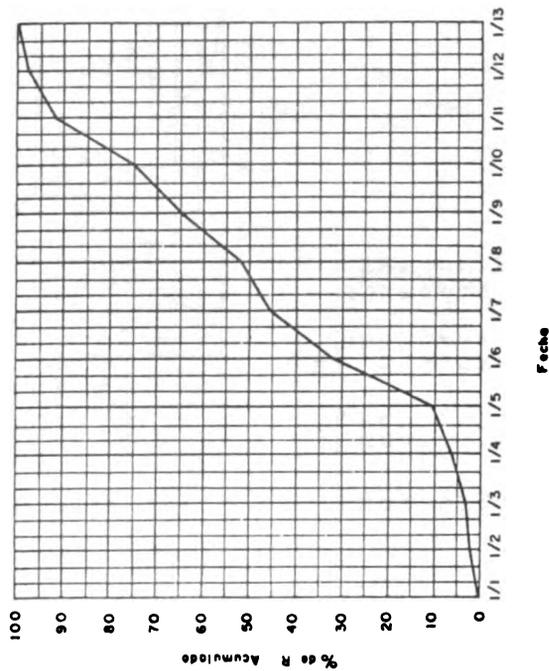


Figura 95 Valor R y distribución mensual del índice de la Erosión en la Estación La Laguna. (3804)

Prom		% de R		% Acum	
E	I	E	I	E	I
ENE	2.2	1.0	1.0	1.0	1.0
FEB	4.6	2.2	3.2	3.2	3.2
MAR	13.0	6.1	9.3	9.3	9.3
ABR	10.8	5.1	14.4	14.4	14.4
MAY	31.2	14.8	29.2	29.2	29.2
JUN	30.7	14.5	43.7	43.7	43.7
JUL	17.8	8.4	52.1	52.1	52.1
AGO	13.7	6.5	58.6	58.6	58.6
SET	37.1	17.6	76.2	76.2	76.2
OCT	32.2	15.3	91.5	91.5	91.5
NOV	13.0	6.1	97.6	97.6	97.6
DIC	5.3	2.4	100	100	100
R TOTAL		211	100		

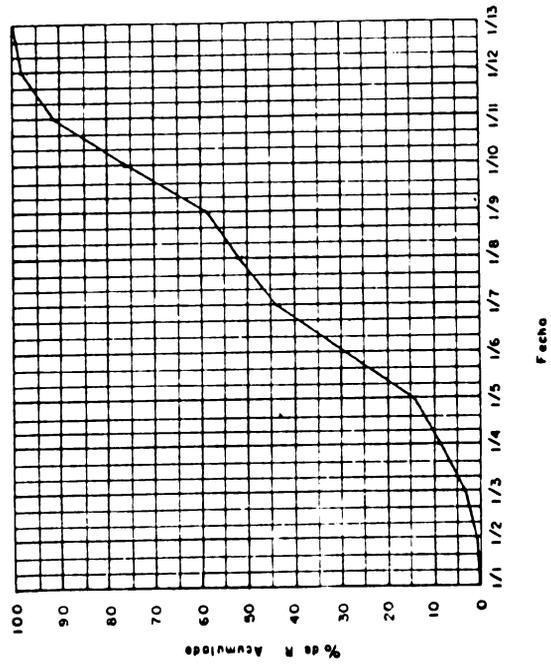


Figura 57. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Resolif (4602).

Prom		% de R		% Acum	
E	I	E	I	E	I
ENE	1.6	0.1	0.1	0.1	0.1
FEB	18.7	1.5	1.6	1.6	1.6
MAR	28.0	2.3	3.9	3.9	3.9
ABR	36.3	3.0	6.9	6.9	6.9
MAY	32.0	27.1	34.0	34.0	34.0
JUN	259.5	21.2	55.2	55.2	55.2
JUL	59.7	4.9	60.1	60.1	60.1
AGO	62.5	5.1	65.2	65.2	65.2
SET	139.0	11.4	76.6	76.6	76.6
OCT	232.6	19.0	95.6	95.6	95.6
NOV	51.3	4.2	99.8	99.8	99.8
DIC	2.8	0.2	100.0	100.0	100.0
R TOTAL		1223	100		

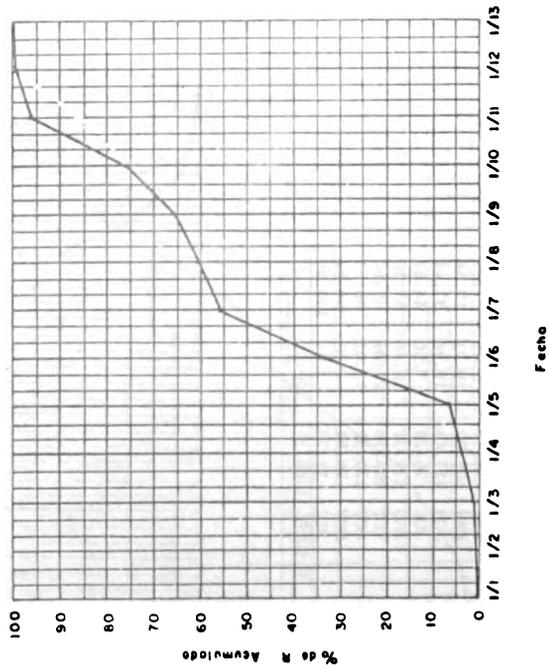


Figura 56. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Feralta (4601).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	4.51	1.19	1.19
FEB	0.08	0.02	1.21
MAR	2.89	0.76	1.97
ABR	1.26	0.33	2.3
MAY	21.05	5.55	7.85
JUN	235.00	61.99	69.84
JUL	11.08	2.92	72.76
AGO	20.03	5.28	78.04
SET	61.54	16.23	94.27
OCT	20.86	5.51	99.78
NOV	0.17	0.05	99.83
DIC	0.63	0.17	100.00

R TOTAL 379.1 100.00

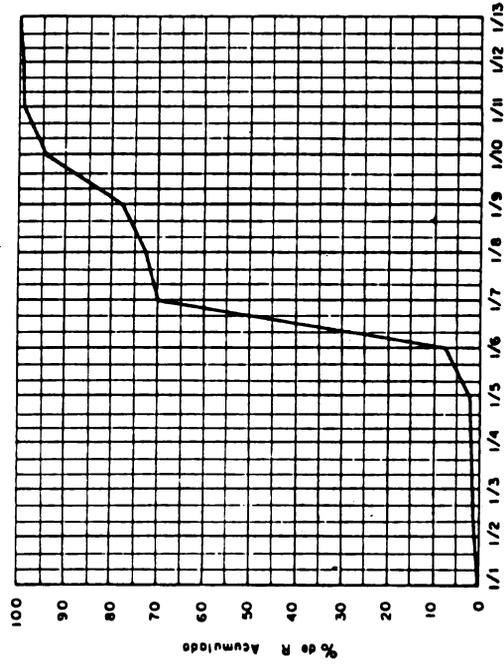


Figura 99 Valor R y distribución Mensual del Índice de la Erosión en la Estación Peñon. (4904)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	0.70	0.21	0.21
FEB	3.18	0.97	1.18
MAR	17.48	5.31	6.49
ABR	12.44	3.78	10.27
MAY	43.05	13.07	23.34
JUN	46.79	14.21	37.55
JUL	24.00	7.29	44.84
AGO	33.67	10.22	55.06
SET	55.79	16.93	71.99
OCT	60.82	18.45	90.44
NOV	21.86	6.63	97.07
DIC	9.64	2.93	100.00

R TOTAL 329.38 100.00

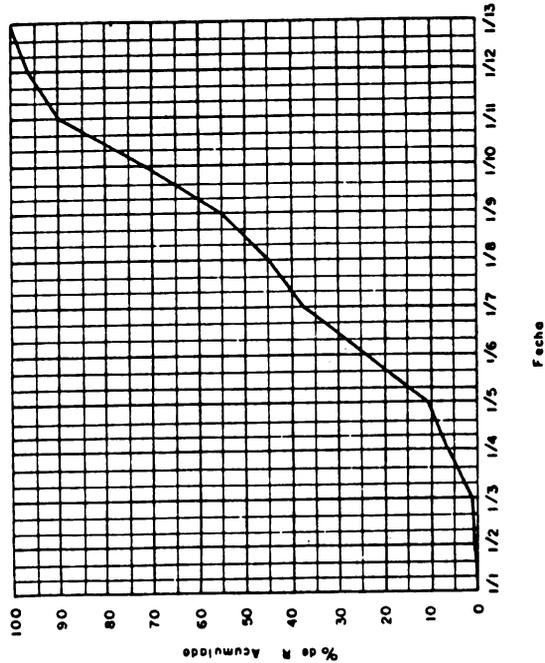


Figura 98 Valor R y distribución Mensual del Índice de la Erosión en la Estación de San Juan de la Maguana. (4903)

Prom		%	
E	I	de	R
E I		R Acum	
ENE	1.6	0.1	0.1
FEB	18.7	1.5	1.6
MAR	28.0	2.3	3.9
ABR	36.3	3.0	6.9
MAY	332.0	27.1	34.0
JUN	259.5	21.2	55.2
JUL	59.7	4.9	60.1
AGO	62.5	5.1	65.2
SET	139.0	11.4	76.6
OCT	232.6	19.0	95.6
NOV	51.3	4.2	99.8
DIC	2.8	0.2	100.0
R TOTAL		1223	100

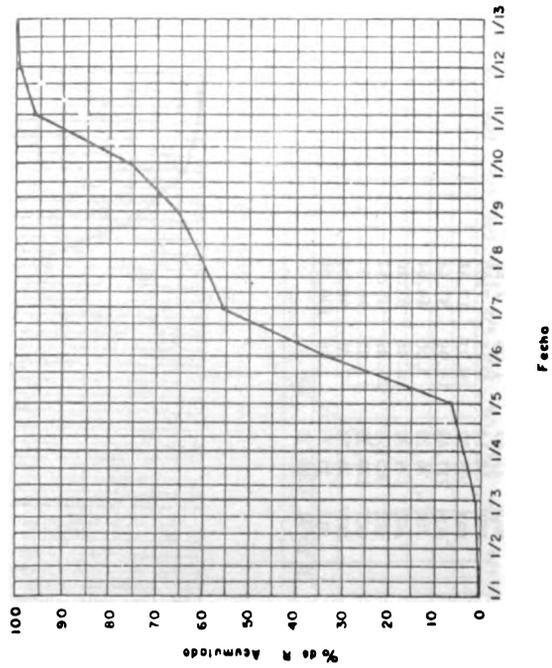


Figura 56. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en La Estación de Feralta (4601).

Prom		%	
E	I	de	R
E I		R Acum	
ENE	2.2	1.0	1.0
FEB	4.6	2.2	3.2
MAR	13.0	6.1	9.3
ABR	10.8	5.1	14.4
MAY	31.2	14.8	29.2
JUN	30.7	14.5	43.7
JUL	17.8	8.4	52.1
AGO	13.7	6.5	58.6
SET	37.1	17.6	76.2
OCT	32.2	15.3	91.5
NOV	13.0	6.1	97.6
DIC	5.3	2.4	100
R TOTAL		211	100

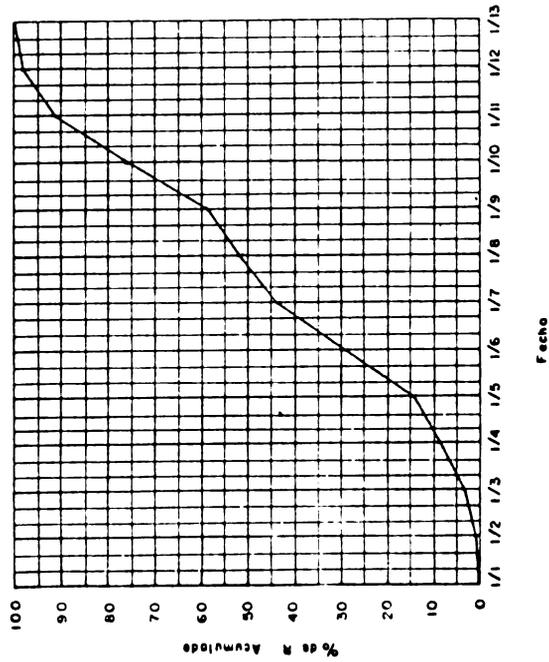


Figura 57. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en La Estación de Resolí (4602).

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	4.51	1.19	1.19
FEB	0.08	0.02	1.21
MAR	2.89	0.76	1.97
ABR	1.26	0.33	2.3
MAY	21.05	5.55	7.85
JUN	235.00	61.99	69.84
JUL	11.08	2.92	72.76
AGO	20.03	5.28	78.04
SET	61.54	16.23	94.27
OCT	20.86	5.51	99.78
NOV	0.17	0.05	99.83
DIC	0.63	0.17	100.00
R TOTAL			379.1
			100.00

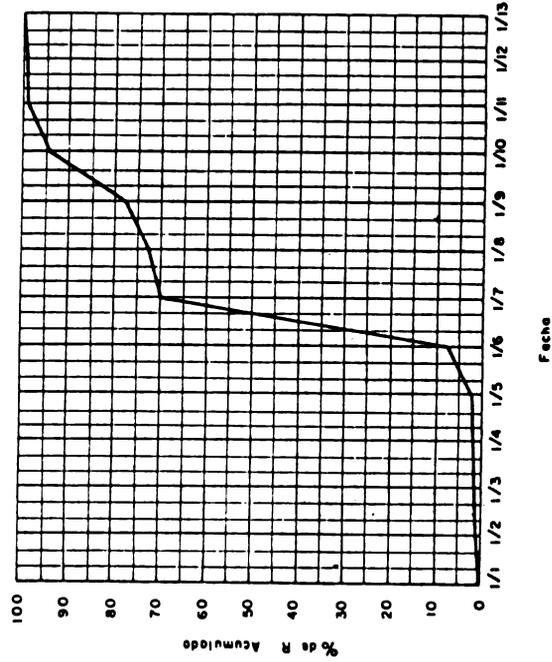
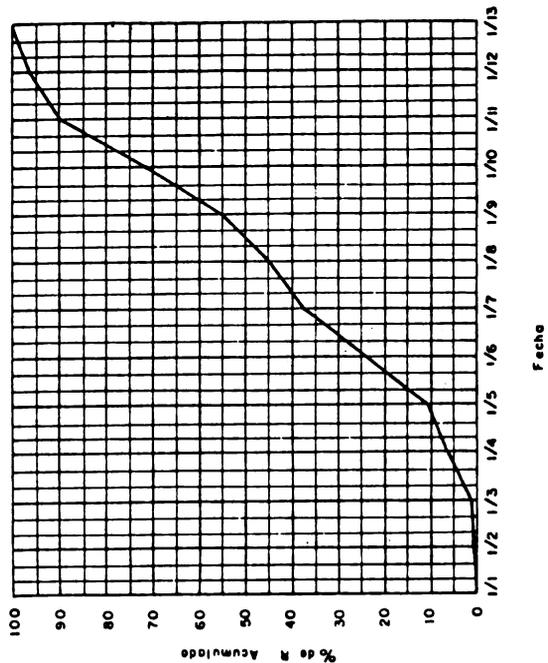


Figura 59 Valor R y distribución Mensual del Índice de la Erosión en la Estación Peñon. (4904)

	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	0.70	0.21	0.21
FEB	3.18	0.97	1.18
MAR	17.48	5.31	6.49
ABR	12.44	3.78	10.27
MAY	43.05	13.07	23.34
JUN	46.79	14.21	37.55
JUL	24.00	7.29	44.84
AGO	33.67	10.22	55.06
SET	55.79	16.93	71.99
OCT	60.82	18.45	90.44
NOV	21.86	6.63	97.07
DIC	9.64	2.93	100.00
R TOTAL			329.38
			100.00



	Prom E I	% de R	% Acum
ENE	4.11	0.38	0.38
FEB	13.08	1.19	1.57
MAR	28.78	2.63	4.2
ABR	59.82	5.46	9.66
MAY	124.04	11.32	20.98
JUN	147.62	13.48	34.46
JUL	152.60	13.93	48.39
AGO	146.71	13.39	61.78
SET	180.73	16.50	78.28
OCT	160.50	14.65	92.93
NOV	59.87	5.47	98.4
DEC	17.59	1.60	100.00
R TOTAL			1095.45
%			100.00

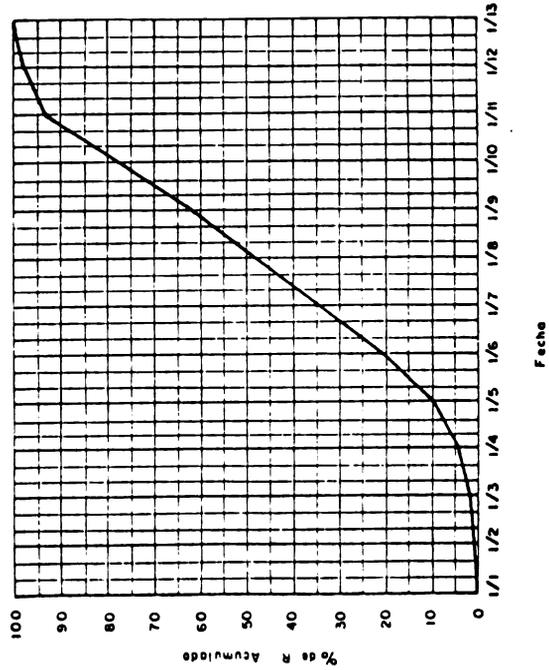


Figura 61 Valor R y distribución mensual del Índice de Erosión en la Estación de La Florida. (4907)

	Prom E I	% de P	% Acum
ENE	11.92	1.63	1.63
FEB	3.65	0.50	2.13
MAR	28.68	3.93	6.06
ABR	60.54	8.30	14.36
MAY	125.62	17.22	31.58
JUN	65.90	9.04	40.62
JUL	76.13	10.44	51.06
AGO	81.05	11.11	62.17
SET	135.94	18.64	80.81
OCT	103.70	14.22	95.03
NOV	27.22	3.73	98.76
DEC	8.94	1.24	100.00
R TOTAL			729.29
%			100.00

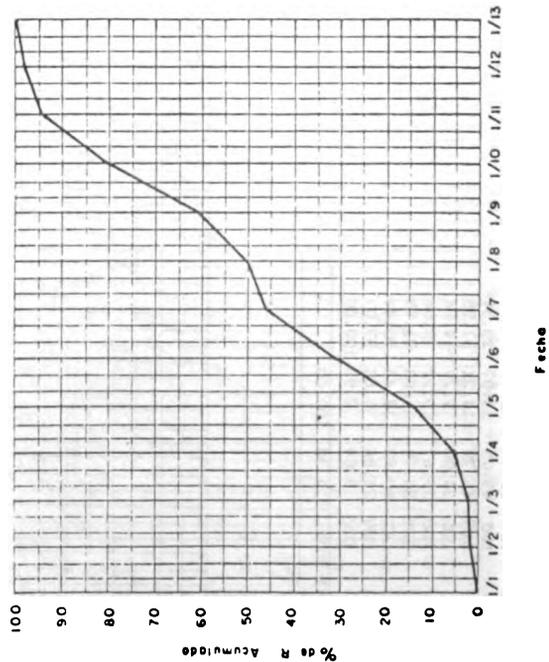


Figura 60 Valor R y distribución mensual del Índice de Erosión en la Estación La Ciénega. (4906)

	Prom E I	% de R	% Acum.
ENE	0.0	0.0	0.0
FEB	0.57	0.43	0.43
MAR	2.54	1.90	2.33
ABR	7.32	5.48	7.81
MAY	33.97	25.44	33.25
JUN	9.31	6.97	40.27
JUL	10.72	8.03	48.25
AGO	14.46	10.83	59.08
SET	24.65	18.46	77.54
OCT	22.88	18.64	96.18
NOV	3.39	2.54	98.72
DIC	1.70	1.28	100.00
R TOTAL	133.51		100.00

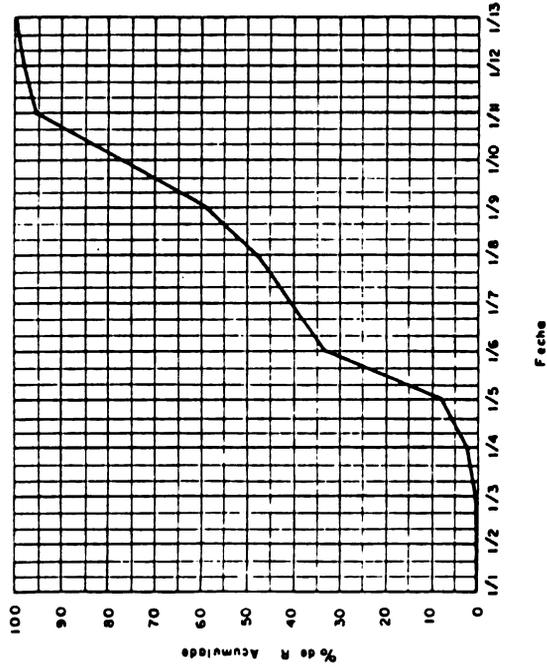


Figura 63 Valor R, y distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Puerto Escondido. (5302)

	Prom E I	% de R	% Acum.
ENE	1.49	0.96	0.96
FEB	27.54	17.78	18.74
MAR	6.69	4.32	23.06
ABR	3.26	2.10	25.16
MAY	19.34	12.48	37.64
JUN	59.47	38.39	76.03
JUL	0.00	0.00	76.03
AGO	12.48	8.06	84.09
SET	8.01	5.17	89.26
OCT	10.06	6.49	95.75
NOV	4.41	2.85	98.60
DIC	2.18	1.40	100.00
R TOTAL	154.93		100.00

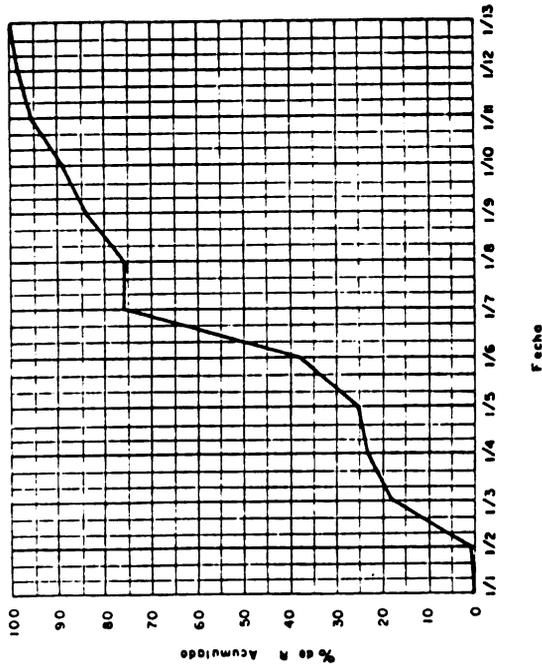


Figura 62 Valor R y Distribución mensual del índice de Erosión en la Estación Neyba. (5301)

Prom E I		de R		Acum	
ENE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FEB	1.81	0.42	0.42	0.42	0.42
MAR	18.78	4.35	4.77	4.77	4.77
ABR	2.16	0.50	5.27	5.27	5.27
MAY	24.1	5.58	10.85	10.85	10.85
JUN	45.69	10.57	21.42	21.42	21.42
JUL	77.60	17.96	39.38	39.38	39.38
AGO	44.58	10.32	49.7	49.7	49.7
SET	25.22	5.84	55.54	55.54	55.54
OCT	37.15	8.60	64.14	64.14	64.14
NOV	122.25	28.29	92.43	92.43	92.43
DIC	32.73	7.57	100.00	100.00	100.00
R TOTAL		432.07	100.00		

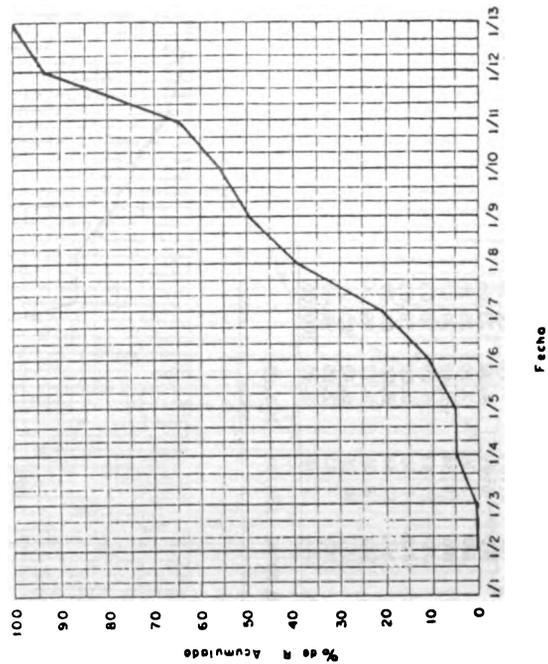


Figura 64 Valor R y distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Angostura. (5312)

Prom E I		de R		Acum	
ENE	0	0	0	0	0
FEB	1.7	0.3	0.3	0.3	0.3
MAR	3.0	0.5	0.8	0.8	0.8
ABR	32.0	5.2	6.0	6.0	6.0
MAY	123.0	20.0	26.0	26.0	26.0
JUN	95.7	15.6	41.6	41.6	41.6
JUL	79.2	12.9	54.5	54.5	54.5
AGO	43.9	7.1	61.6	61.6	61.6
SET	103.9	16.9	78.5	78.5	78.5
OCT	111.8	18.2	96.7	96.7	96.7
NOV	19.9	3.2	100	100	100
DIC	0	0	100	100	100
R TOTAL		614	100		

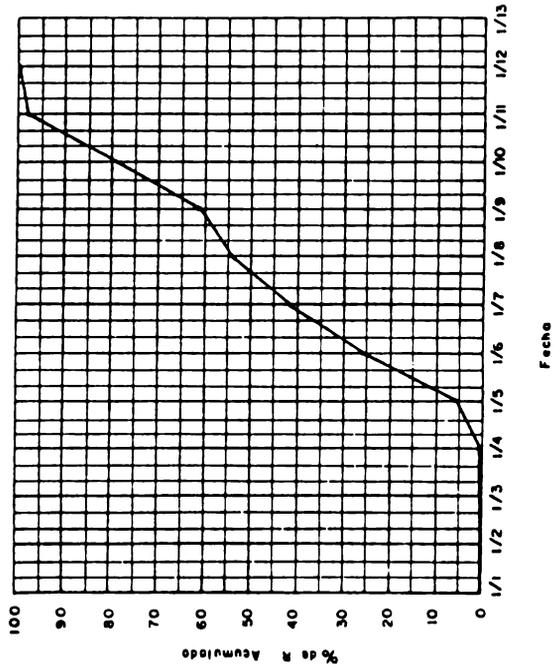


Figura 65. Valor R y Distribución Mensual del Índice de Erosión en la Estación de Matayaya (5401).

ANEXO A

Procedimiento para la Obtención
de las Intensidades Máximas de las Lluvias
y de su Energía Erosiva

ANALISIS DE INTENSIDADES DE LAS LLUVIAS

Por: Manuel Paulet Iturri ^{1/}

La intensidad de la lluvia se define como la cantidad de agua precipitada por unidad de tiempo y generalmente se expresa en cm/hora o mm/hora. La unidad de tiempo podría ser también de mayor duración que una hora pero, debido a la gran variación de las cantidades de agua que caen en períodos cortos de tiempo para una misma lluvia, convencionalmente se aceptan estas unidades. El análisis de las intensidades de las lluvias es importante porque existen algunos efectos de la lluvia sobre los terrenos que se deben más a la forma y velocidad de caída que a la cantidad total precipitada. Entre sus principales efectos está la correntía o escurrimiento superficial y la erosión de los terrenos. Dos lluvias que totalizan la misma cantidad de agua en un período de dos horas, por ejemplo, sobre un mismo terreno, una puede producir escorrentía y erosión en magnitudes insignificantes y la otra ser responsable de gran cantidad de escorrentía y erosión, dependiendo de la forma de distribución de sus intensidades y de las magnitudes que éstas alcancen.

^{1/} Especialista en Manejo y Conservación de Tierras y Aguas, IICA, Apartado No.711, Santo Domingo, República Dominicana. Documento elaborado para el Programa PIDAGRO, Proyecto 011. Departamento de Suelos, CNECA, San Cristóbal, República Dominicana. (Segunda Edición, Octubre de 1978).

La forma de utilización de los análisis de intensidades para el diseño de estructuras de control y conducción del escurrimiento, así como, de la erosión, se puede encontrar en referencias sobre hidrología. ^{1/}

Este documento presenta una metodología para obtener de las bandas de registro pluviográficas, por lluvia, la energía total de la lluvia y su distribución de intensidades máximas para duraciones de 15, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos. El método se basa en el registro de las coordenadas de los cambios de pendiente de las curvas del pluviograma, el procesamiento de ésta información y el cómputo de las variables mencionadas mediante, programa ad-hoc.

Explicación del Programa

Con los datos de los registros pluviográficos leídos por la computadora en la forma como se indica más adelante, para cada lluvia el programa determina las intensidades para cada intervalo de tiempo en que la intensidad es distinta.

^{1/} Schwab, G. O., and others. 1966. Soil and Water Conservation Engineering (2d. Edition). John Wiley and Sons, Inc. New York.

Linsley, R.K., and others. 1949. Applied Hydrology McGraw Hill Book Co., New York.

U.S. Soil Conservation Service. 1964. Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4, Pt. I, Watershed Planning, Washington, D. C.

Paulet, M. 1971. Guía para el Planeamiento del uso de las Tierras Agrícolas. Universidad Agraria, La Molina, Lima, Perú.

Con estas intensidades forma un arreglo con el cual, por selección y suma, obtiene las intensidades máximas de las duraciones 15, 30, 60, 120, 240 y 360 minutos. ^{1/} Además, con cada intervalo de intensidad calcula la energía correspondiente, y por suma, la energía total (E). La energía total multiplicada por la intensidad máxima de 30 minutos es el índice de erosión de la lluvia. ^{2/} Además, de los datos mencionados, en la salida del computador se obtienen, por lluvia, la duración de la lluvia en minutos, la cantidad total de lluvia en cm, código de la estación y fecha de la lluvia. Cuando existen errores de registro en la hoja de impresión aparecen mensajes para identificarlos y corregirlos.

Instrucciones para el Registro de los Datos del
Pluviógrafo

1. Llenar el encabezamiento de la hoja de registro (una vez por cada estación).
2. Leer las notas que aparecen al pie de la hoja de registro.
3. En el pluviograma marcar con un lápiz todos los cambios de pendiente de la línea trazada por la aguja del pluviógrafo.
4. Escribir con lápiz en la hoja de registro la fecha de inicio de la lluvia y las coordenadas de tiempo y altura de agua de cada punto marcado en el pluviograma.

Por ejemplo, si la fecha es 20 de Enero de 1965, se pone 200165; este dato se registra una sola vez por cada lluvia.

^{1/} Este procedimiento se describe en: Molina, M. 1975. Hidrología, Universidad Agraria, La Molina, Lima, Perú.

^{2/} Este procedimiento proviene de W.H. Wischmeier (US. Agricultural Research Service, en Purdue University, Lafayette, Ind. U.S.A.)

Si la hora de inicio de la lluvia es las 15 horas con 35 minutos, se pone 15 en la columna HOR y 35 en la columna RMIN. Si la lluvia continua hasta pasadas las 24 horas, continuar los registros de tiempo en forma normal, es decir, registrar las 01, 02, etc. horas, hasta que termine la lluvia.

Si la ordenada de altura de agua indica 2.6 mm, registrar en la columna (CM) la cifra 0026.

En esto se debe ser muy cuidadoso, sobre todo con los pluviógrafos que acumulan hasta 10 mm y luego cae la aguja para comenzar de nuevo a ascender. Se trata de acumular para una misma lluvia las ordenadas de altura de agua precipitada. O sea, si en un primer ciclo hemos llegado a 10 mm (0100, en nuestro registro) y la lluvia continua y en un segundo ciclo la siguiente ordenada es 3.7 mm, nosotros registraremos 0137, y así sucesivamente hasta terminar la lluvia. La lluvia termina cuando hay por lo menos un período de 6 horas sin lluvia.

5. El registro de una lluvia termina al contar el número de líneas que tomó esa lluvia de nuestra hoja de registro (número de coordenadas). Ese número es N y se pone en la primera línea de la lluvia.
6. Al comenzar una nueva lluvia, se deja un espacio, se registra la fecha, y se inician los registros de hora, minutos y centímetros sin tener en cuenta los datos acumulados de la lluvia anterior.

Instrucciones para la entrada de datos al medio de Cómputo.

1. Preparar las hojas de registro previamente llenadas de la siguiente manera:

-Trazar una línea con lápiz de color dividiendo los registros de cada lluvia en grupos de ocho (8) líneas. Cada grupo se numera en orden correlativo; así, el primer grupo es el número 1, el segundo el número 2, etc. El último grupo de la lluvia puede tener menos de 8 líneas. El número de los grupos corresponde al número de cada tarjeta y se pone con el mismo lápiz de color circunscrito por un círculo, siendo consistente, en cualquier sitio del espacio en blanco del grupo.

Hecho esto se procede a la perforación.

2. Ver la Figura con el Diseño de las Tarjetas, por cada lluvia:

(No se pone ningún punto decimal en ningún sitio)

Primera Tarjeta.^{1/}

Columnas.

- | | |
|---------|---|
| 1 a 4 | Código de la Estación. Ejemplo, 4701 si la estación tiene un código con menos de 4 cifras, 23 por ejemplo, se pone 0023. |
| 5 a 10 | Fecha. Si la fecha es 25 de marzo de 1968, se pone 250368. |
| 11 y 12 | Número de líneas. Se pone el valor de N. Si N es menor de 10, 5 por ejemplo, se pone 05. |
| 13 | Número de la tarjeta. Se pone el número del grupo de datos que aparece circunscrito por un círculo con lápiz de color en la hoja de registro. |

^{1/} 0 línea de datos a imagen de tarjeta.

- 14 y 15 Hora. Se pone el valor de HOR de primera línea de la lluvia. Si el número de cifras es menor de dos, se pone precedido por un cero. Ejemplo, 05 para las 5 de la mañana.
- 16 y 17 Minutos. Se pone el valor de RMIN de la primera línea de la lluvia. Como en el caso anterior 03 si son tres minutos.
- 18 a 21 Centímetros. Se pone el valor de CM de la primera línea. Ejemplo 0041, que indica 0.41 cm.
- 22 a 29 Se repite lo mismo que las columnas 14 a 21, con la segunda línea de la lluvia.
- 30 a 37 Se repite lo mismo que en lo anterior, con la tercera línea de la lluvia.
- 38 a 77 Se repite lo mismo que las anteriores, con las siguientes líneas de la lluvia en campos de ocho columnas. Al llegar a la columna 77 se ha completado un grupo de datos. Si la lluvia continua se pasa a otra tarjeta.
- Segunda Tarjeta. 1/
- 1 a 12 Según como sea más fácil se puede duplicar de la tarjeta anterior o dejar en blanco.
Es preferible duplicarlo para poderlas identificar en caso de que se mezclen.
- 13 Se pone el número del grupo de datos. Se pone 2 en este caso.

1/ 0 línea de datos a imagen de tarjeta.

14 a 77 Se continua con el procedimiento anterior de perforación de HOR,
RMIN y CM.

Se continua este procedimiento hasta completar la lluvia. Luego
se sigue todo este procedimiento para cada lluvia.

(EJEMPLO)

REGISTRO DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA

Hoja N° _____

Nombre del registrador _____

Localidad _____

Codigo de la Estacion (IEST) 1804

Lat y Long _____

Nombre estación LA SALVIA

Fecha		Hora	Minutos	Lectura de lluvia (cm)	Fecha		Hora	Minutos	Lectura de lluvia (cm)
(IECHA)	(N)	(HOR)	(RMIN)	(CM)	(IECHA)	(N)	(HOR)	(RMIN)	(CM)
121061	18	06	00	0100					
		07	00	0110					
		08	00	0120					
		08	15	0150					
		12	00	0155					
		13	00	0200					
		15	30	0210					
		16	00	0220					
		17	00	0220					
		17	15	0230					
		20	00	0230					
		20	10	0250					
		22	15	0250					
		22	30	0270					
		23	58	0270					
		24	00	0280					
		01	58	0280					
		02	00	0290					

Notas: Comenzar una estación con una hoja nueva. La fecha de la lluvia es del día que comienza. Los cm de lluvia se acumulan hasta terminar la lluvia (fijarse que en la banda de registro las unidades son mm). La lluvia termino cuando hay por lo menos seis horas sin lluvia. Dejar un espacio entre lluvias. Contar el número de líneas de una lluvia y registrar N.

CODIGO DE LA ESTACION= 1804

Fecha	N	HOR	RMIN	CM	Líneas
121061	18	06	00	01 00	registro 1
	1	07	00	01 10	registro 2
					(registros 3 al 8)
	2	17	00	02 20	registro 9
		17	15	02 30	registro 10
					(registros 11 al 16)
	3	01	58	02 80	registro 17
		02	00	02 90	registro 18

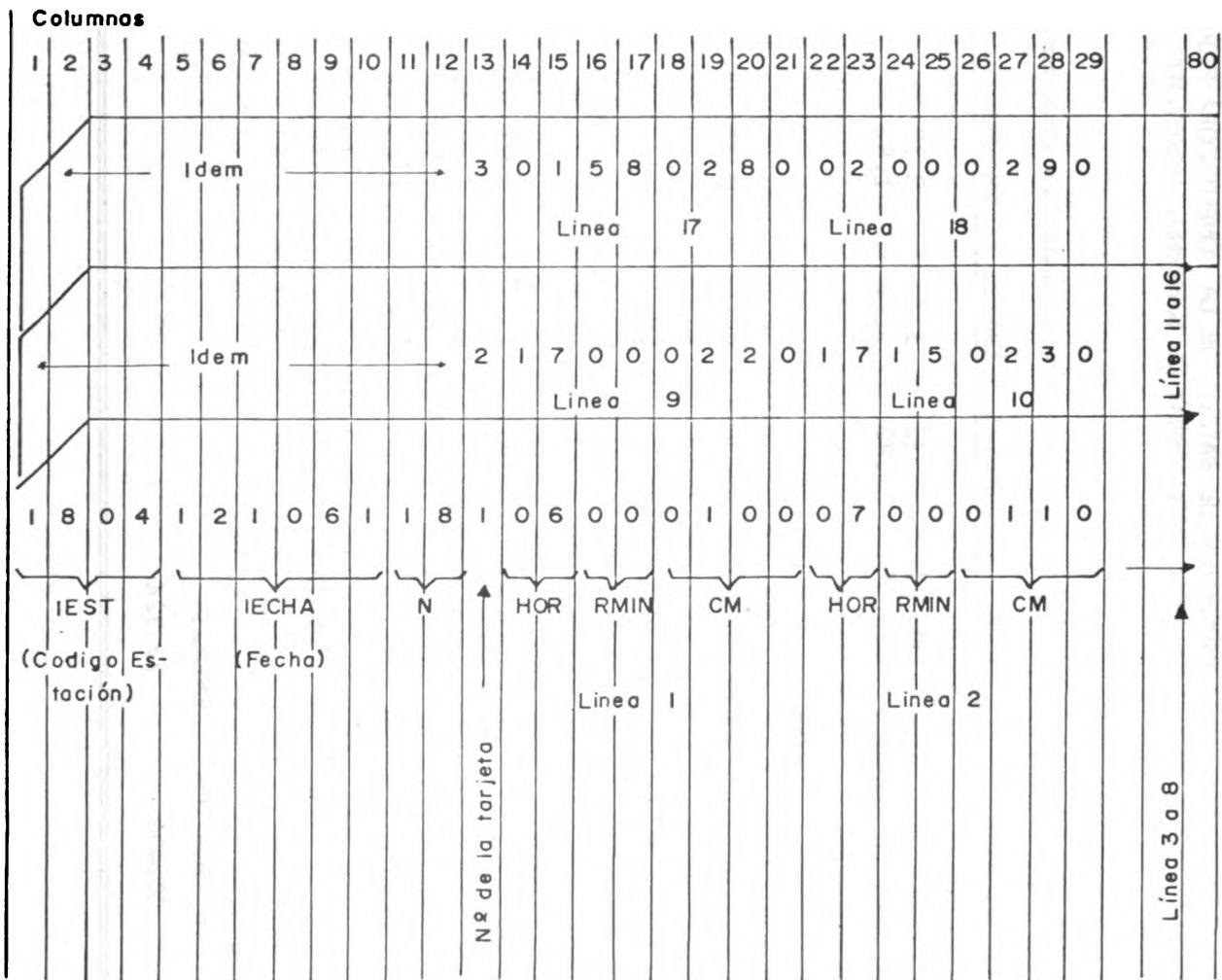


Figura A1. Registro de una lluvia de 18 líneas (ó coordenadas) observados en el Pluviografo de la Estación 1804 el 12 de octubre de 1961. Diseño de las tarjetas para el cómputo de las Intensidades.

(Se puede utilizar también como diseño para la entrada de datos en el medio de cómputo -pantalla por ejemplo- a imagen de tarjeta).

IMPRESION DE SALIDA DE LA COMPUTADORA PARA OCTUBRE
DE 1961 INCLUYENDO EL EJEMPLO. ESTACION 1804.

Est.	Fecha	Duración	Cm	EI	IMAX15	IMAX30	IMAX60	IMAX120	IMAX240	IMAX360
1804	11061	65.	3.60	30.711	3.32	3.32	3.32	0.0	0.0	0.0
1804	21061	120.	3.65	15.558	1.82	1.82	1.82	1.82	0.0	0.0
1804	31061		0.20							
1804	61061		0.70							
1804	91061		0.50							
1804	111061		0.55							
1804	121061	1200.	1.90	2.109	1.20	0.61	0.45	0.25	0.16	0.15
1804	131061		0.40							
1804	131061		0.65							
1804	141061		0.55							
1804	141061		0.40							
1804	161061		0.15							
1804	161061		0.50							
1804	231061	140.	2.50	5.704	1.07	1.07	1.07	1.07	0.0	0.0
1804	241061	180.	1.80	6.358	1.60	1.60	1.60	0.80	0.0	0.0
1804	251061		0.20							
1804	251061	360.	1.75	9.125	2.20	2.20	1.65	0.82	0.41	0.29
1804	281061	60.	1.60	5.849	1.60	1.60	1.60	0.0	0.0	0.0
1804	301061		0.20							
1804	301061	1040.	3.60	2.510	0.44	0.42	0.42	0.42	0.42	0.36

TOTALES DEL MES

DURADORAS	HTEROSIVOS	ENERGIA
52.750	20.400	77.924

```

C CALCULO DE LA CAPACIDAD EROSIVA DE LAS LLUVIAS E INTENSIDADES
C PARA VARIAS DURACIONES AUTOR RESPONSABLE MANUEL PAULET
C SE LEEN DOS ARREGLOS FORMADOS POR LAS COORDENADAS DE TIEMPO Y ALTURA
C DE LLUVIA EN LOS PUNTOS DE CAMBIO DE PENDIENTE DE UN PLUVIOGRAMA
C HOR=HORAS RMIN= MINUTOS CM= CENTIMETROS IBM1130
0001 DIMENSION HOR(100),RMIN(100),A(100),DT(100),DH(100),
      *RINT(100),Y(100),DY(100),CM(100)
0002 LAST=1
0003 IULT=1
0004 SUM1=0.
0005 SUM2=0.
0006 SUM3=0.
0007 SUM4=0.
0008 ROUR=0.
0009 RHT=0.
0010 REI=0.
0011 RTH = 0.
0012 WRITE(3,11)
0013 1 READ(1,6)IEST, IDIA, MES, IAN, N, (HOR(I),RMIN(I),CM(I), I=1,8)
0014 IF(N)64,64,4
0015 4 IF(N-8)66,66,65
0016 65 READ(1,8)(HOR(I),RMIN(I),CM(I), I=9,N)
0017 66 HT=CM(N)-CM(1)
C CONVERSION DE LOS TIEMPOS A MINUTOS ARREGLO A(I) NUEVO
0018 42 L=N-1
0019 DO 31 I=1,L
0020 K=I+1
0021 20 IF(HOR(K)-HOR(I))21,31,31
0022 21 HOR(K)=HOR(K)+24.
0023 GO TO 20
0024 31 CONTINUE
0025 DO 32 I=1,N
0026 32 A(I)=60.*HOR(I)+RMIN(I)
C COMPROBAR SI LA DIFERENCIA ES MENOR DE SEIS HORAS
0027 DO 110 I=1,L
0028 K=I+1
0029 SEIS=A(K)-A(I)
0030 IF(SEIS-360.)110,110,120
0031 120 WRITE(3,310)IEST, IDIA, MES, IAN
0032 310 FORMAT(2X, I4, 6X, 3I2, 2X, 'INTERVALO MAYOR DE SEIS HORAS')
0033 110 CONTINUE
C COMPROBAR CM AL COMIENZO O FINAL
0034 IF(CM(2)-CM(1))150,150,160
0035 160 IF(CM(N)-CM(1))150,150,170
0036 150 WRITE(3,330)IEST, IDIA, MES, IAN
0037 330 FORMAT(2X, I4, 6X, 3I2, 2X, 'ERROR EN CM AL COMIENZO O FINAL')
0038 GO TO 1
C DURACION DE LA LLUVIA EN MINUTOS DUR
0039 170 DUR=A(N)-A(1)
C CALCULO DE LA INTENSIDAD POR INTERVALOS DE TIEMPO RINT(I)
0040 SUM=0.
0041 DO 293 I=1,L
0042 J=I+1
0043 DT(I)=A(J)-A(I)
0044 IF(DT(I))1290,1290,1291
0045 1290 WRITE(3,642)IEST, IDIA, MES, IAN
0046 642 FORMAT(2X, I4, 6X, 3I2, 2X, 'INTERVALO DE TIEMPO IGUAL A CERO O NEGATIV
      *0')
0047 GO TO 1
0048 1291 DH(I)=CM(J)-CM(I)
C COMPROBAR LOS VALORES DE CM Y N
0049 IF(DH(1))130,293,293
0050 130 WRITE(3,320)IEST, IDIA, MES, IAN
0051 320 FORMAT(2X, I4, 6X, 3I2, 2X, 'ERROR EN CM O EN N')
0052 GO TO 1
0053 293 CONTINUE
0054 IF(HT-.95)297,140,140
0055 297 TH=0.
0056 GO TO 294
0057 140 TH=HT
C CALCULO DE LA ENERGIA
0058 DO 295 I=1,L
0059 RINT(I)=60.*DH(I)/DT(I)
0060 IF(RINT(I))295,295,68
0061 68 IF(RINT(I)-7.62)30,30,67
0062 67 RINT(I)=7.62
0063 30 AB=ALOG(RINT(I))*4343./10000.
0064 Y(I)=210.3+89.*AB
0065 DY(I)=Y(I)*DH(I)
0066 SUM=SUM+DY(I)
0067 295 CONTINUE

```

```

C CALCULO DE LA INTENSIDAD MAXIMA DE TI MINUTOS
0068 294 TI = 15.
0069 IF(DUR-10.)70,71,71
0070 71 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W15)
0071 TI=30.
0072 IF(DUR-20.)72,73,73
0073 73 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W30)
0074 TI=60.
0075 IF(DUR-50.)74,75,75
0076 75 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W60)
0077 TI=120.
0078 IF(DUR-110.)76,77,77
0079 77 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W120)
0080 TI=240.
0081 IF(DUR-220.)78,79,79
0082 79 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W240)
0083 TI=360.
0084 IF(DUR-340.)80,81,81
0085 81 CALL IMAX(DH,DT,TI,L,W360)
0086 GO TO 82
0087 70 W15=0.
0088 72 W30=0.
0089 74 W60=0.
0090 76 W120=0.
0091 78 W240=0.
0092 80 W360=0.

C CALCULO DEL INDICE DE EROSION DE ESTA LLUVIA
0093 82 EI=SUM*W30/100.

C SUMARIAS DE LLUVIAS EROSIVAS
0094 IF(MES-LAST)91,296,91
0095 296 IF(IULT-IAN)298,90,298
0096 298 IF(IULT-1)95,90,95
0097 90 SUM1=SUM1+DUR/60.
0098 SUM2=SUM2+HT
0099 WRITE(3,13)TEST, IDIA, MES, IAN, DUR, HT, EI, W15, W30, W60, W120, W240, W360

0100 SUM3=SUM3+EI
0101 SUM4=SUM4+TH
0102 LAST=MES
0103 IULT=IAN
0104 GOTO1
0105 91 IF(IULT-IAN)93,92,93
0106 92 WRITE(3,520)SUM1, SUM2, SUM3, SUM4
0107 RDUR=RDUR+SUM1
0108 RHT=RHT+SUM2
0109 REI=REI+SUM3
0110 RTH=RTH+SUM4
0111 SUM1=0.
0112 SUM2=0.
0113 SUM3=0.
0114 SUM4=0.
0115 GOTO90
0116 93 IF(RDUR)95,90,95
0117 95 WRITE(3,520)SUM1, SUM2, SUM3, SUM4
0118 RDUR = RDUR + SUM1
0119 RHT = RHT + SUM2
0120 REI = REI + SUM3
0121 RTH=RTH+SUM4
0122 WRITE(3,522)RDUR, RHT, REI, RTH
0123 WRITE(3,11)
0124 RDUR=0.
0125 RHT=0.
0126 REI=0.
0127 RTH=0.
0128 SUM1=0.
0129 SUM2=0.
0130 SUM3=0.
0131 SUM4 = 0.
0132 GOTO90
0133 520 FORMAT(//2X,'TOTALES DEL MES'/2X,15('**')//6X,'HORAS DE LLUVIA CM
*DE LLUVIA ENERGIA EROSIVA CM LLUVIA EROSIVA'//9X,F7.3,11X,F7.3
*,9X,F8.3,10X,F7.3//)
0134 522 FORMAT(2X,'TOTALES DEL AÑO'/2X,15('**')//8X,F8.3,10X,F8.3,8X,F9.3,9
*X,F8.3)
0135 11 FORMAT(1H1,'ESTACION FECHA MINUTOS CENTIMETROS INDEROSION IMAX
115 IMAX30 IMAX60 IMAX120 IMAX240 IMAX360'//)
0136 12 FORMAT(2X,14,6X,3I2,13X,F5.2)
0137 13 FORMAT(2X,14,6X,3I2,F8.0,F10.2,F11.3,6F8.2)
0138 6 FORMAT(14,3I2,12,1X,8(2F2.0,F4.2))
0139 8 FORMAT(13X,2F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2,
12F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2,2F2.0,F4.2)
0140 64 WRITE(3,520)SUM1, SUM2, SUM3, SUM4
0141 WRITE(3,522)RDUR, RHT, REI, RTH
0142 WRITE(3,641)
0143 641 FORMAT(1H0,110('**'))
0144 CALL EXIT
0145 END

```

```

SUBROUTINE IMAX(A,B,I,N,WMAX)
CALCULO DE LA INTENSIDAD MAXIMA DE TI MINUTOS
DIMENSION A(100),B(100),X(100)
DO 298 J=1,N
ASUM=0.
TSUM=0.
DO 20 I=J,N
RT=8410
IF(XT-TI)22,23,23
C XJ=FS ENREGLO DE INTENSIDADES DE TI MINUTOS
22 TSUM=TSUM+RT
IF(XT-TI)24,24,29
29 TSUM=TSUM-RT
23 RT=TI-TSUM
TSUM=TI
24 ASUM=ASUM+X(100)*60.*RT/(X(100)+TI)
IF(XT-TI)20,297,297
20 CONTINUE
297 XJ=ASUM
298 CONTINUE
C BUSQUEDA DE WMAX
WMAX=X(10)
DO 31 J=2,N
IF(WMAX-X(J))32,31,31
32 WMAX=X(J)
31 CONTINUE
RETURN
END
    
```

Ejemplo de Impresión de Resultados

ESTACION	FECHA	MINUTOS	CENTIMETROS	INDEROSION	IMAX 15	IMAX30	IMAX60	IMAX120	IMAX240	IMAX360
102	17 779	360.	0.13	0.0	0.14	0.12	0.06	0.03	0.02	0.02
102	18 779	268.	0.10	0.0	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02	0.0
102	19 779	820.	0.14	0.0	0.17	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02
102	20 779	3.	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
102	21 779	2.	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
102	22 779	3.	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TOTALFS DEL MES

HORAS DE LLUVIA	CMDE LLUVIA	ENERGIA EROSIVA	CM LLUVIA EROSIVA
24.267	0.430	0.0	0.0

102	11 979	150.	1.92	10.378	4.00	2.47	1.52	0.89	0.0	0.0
102	12 979	205.	0.31	0.0	0.17	0.17	0.17	0.13	0.0	0.0
102	19 979	98.	0.37	0.0	0.56	0.56	0.32	0.0	0.0	0.0
102	20 979	295.	1.65	3.797	1.18	1.18	0.98	0.49	0.41	0.0
102	23 979	123.	0.93	0.0	0.56	0.56	0.54	0.45	0.0	0.0
102	24 979	210.	0.78	0.0	0.40	0.38	0.37	0.37	0.0	0.0
102	26 979	280.	1.10	3.216	1.41	1.41	0.82	0.54	0.27	0.0
102	29 979	3.	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
102	30 979	45.	0.70	0.0	0.96	0.96	0.0	0.0	0.0	0.0

TOTALES DEL MES

HORAS DE LLUVIA	CMDE LLUVIA	ENERGIA EROSIVA	CM LLUVIA EROSIVA
23.483	7.680	17.390	4.570

TOTALES DEL ANC

117.050	15.400	25.234	8.580
---------	--------	--------	-------

ANEXO B

Procedimiento para el Análisis
de Probabilidades y Obtención de la Relación
Intensidad Máxima Vs. Duración de las Lluvias

RELACION INTENSIDAD-DURACION DE LAS LLUVIAS ^{1/}

De la experiencia se observa que las magnitudes de máximas intensidades de las lluvias están inversamente relacionadas a sus duraciones. Es decir, las más altas intensidades que se observan dentro de una lluvia corresponden a los períodos más cortos y la intensidad máxima promedio que se observa, es menor cuando la duración elegida^{2/} es mayor. La relación intensidad-duración generalmente se presenta en un gráfico tal como la Figura B2 y es producto del análisis de frecuencias de las intensidades máximas ocurridas para diversas duraciones. Esta relación es importante para hallar las intensidades críticas para el diseño de estructuras de control, conducción ó evacuación de escorrentía. Se entra en el gráfico con la duración equivalente al tiempo de concentración de la cuenca y se halla la intensidad de diseño.

En este documento se presenta un procedimiento para hallar la relación intensidad-duración para períodos menores de 24 horas. Se presenta además, como un ejemplo los resultados de éste análisis para la estación Partido (0103) en la Provincia de Dajabón.

1/ Preparado por Manuel Paulet. Consultor en Conservación de Suelos. Convenio IICA-FEDA-SEA. Depto. de Suelos CNECA. San Cristóbal, República Dominicana.

2/ Se refiere a que generalmente se trata de buscar, para una duración dada, la máxima intensidad entre las lluvias observadas.

Análisis de Frecuencias de Intensidades

El procedimiento para el análisis de frecuencias, consiste de dos partes, (a) la selección de la información, su ordenamiento en orden de magnitud mayor a menor, determinación de los puntos a graficar y representación gráfica de los mismos, (b) trazo de una curva sobre el gráfico para representar el comportamiento promedio de los datos observados. Trabajaremos con el ejemplo del Cuadro B1.

Selección de la Información

Como para otras variables hidrológicas, para el análisis de lluvias máximas se trabaja con la serie anual ó con la serie parcial según el número de años de registro. Es importante trabajar con un número de datos superior a 20 para conseguir mayor confiabilidad en los resultados. En la serie anual, para una duración dada, elegimos 60 minutos, se toman los valores máximos observados uno por año. Si hay menos de 10 años de registro, se puede trabajar con los valores de la serie anual más todos los valores iguales o superiores al menor de los valores máximos de la serie anual. Esta última es una serie parcial.

El criterio de la serie parcial es que los datos adicionales encima de un valor mínimo elegido pueden corresponder a las máximas de una serie anual en que el número de años de registro es grande. También se forma una serie parcial con todos los valores observados mayores que una magnitud crítica conocida. Esto es debido a que en un mismo año pueden ocurrir varias magnitudes superiores a las críticas.

Ordenamiento y Determinación de Puntos a Graficar

En el Cuadro B1, se presenta un ejemplo con datos de intensidad máxima (serie anual) de 60 minutos de duración observados en Dajabón. Registrados los datos se ordenan de mayor a menor y se determinan el período de retorno $(T)^{1/}$ y su posición de probabilidad, $P(X \leq x)$. Para ello se usan las siguientes fórmulas:

$$T = \frac{N + 1}{M} = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (1)$$

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{M}{N + 1} \quad (2)$$

donde,

T = período de retorno

N = número de datos observados

M = número de orden del dato después de arreglarlos de mayor a menor

$P(X \leq x)$ = probabilidad de ocurrencia de un evento^{2/} (en este caso, intensidad máxima de 60 minutos) de una magnitud igual o menor que aquel que se elija.

Hechos los cálculos se grafican las cifras de la columna (4) vs las cifras de las columnas (5) ó vs T según el tipo de papel que se elija para representar el gráfico.

^{1/} Para simplificar, T no se ha determinado en el ejemplo del Cuadro 1, ya que se puede graficar con cualquiera de las dos fórmulas (1) ó (2).

^{2/} En este caso representa a la Intensidad I60, pero puede representar otras variables hidrológicas.

Determinación de la Curva Promedio de Frecuencias

Los puntos determinados por las coordenadas de magnitud y probabilidad de ocurrencia (o períodos de retorno) representados sobre un papel y dos ejes de coordenadas, tienen el comportamiento de una curva cuyo trazo puede hacerse al ojo o utilizando algún método que permita un mejor ajuste de los datos observados.

Como la finalidad del análisis es poder utilizar la curva promedio para estimar la probabilidad de ocurrencia de cualquier magnitud, generalmente, es preferible utilizar algún método matemático que permita el trazo de una curva que exprese lo más correctamente posible el comportamiento de todos los datos observados. Para ello, existen varios métodos diseñados especialmente para variables hidrológicas^{1/}.

Discusión Teórica del Análisis.

Si de una secuencia de magnitudes observadas extraemos una observación X_i , su posición con respecto a las demás está compuesta por las siguientes contribuciones,

$$X_i = \bar{X} + \Delta X \quad (3)$$

(asumiendo con fines de ilustración que la población y la muestra tienen las mismas dimensiones).

^{1/} Por su naturaleza, las frecuencias de datos hidrológicos tienen distribución diferente a la "normal" y generalmente requieren análisis especiales para poder "generalizar" mejor su comportamiento. Para una mejor comprensión ver, Chow, Ven, Te. 1964. Handbook of Applied Hydrology. Section 8-1, Part I. McGraw Hill Book Co.

donde,

\bar{X} = Promedio de los valores de X

ΔX = Desviación de la observación X_i
con respecto al promedio ($X_i - \bar{X}$),
pudiendo ser positiva o negativa.

Desde el punto de vista estadístico X_i tiene dos propiedades importantes (1) la tendencia a desviarse de la media, que se mide por la desviación estandar, (S) y (2) la frecuencia de ocurrencia, que se mide por el factor de frecuencias, (K).

Así,

$$\Delta X = SK$$

$$\text{de (3)} \quad \hat{X}_i = \bar{X} + SK \quad (4)$$

(Siendo esta vez \hat{X}_i el valor estimado de X_i)

Según el tipo de información, habrá un factor de frecuencias K que dé mejores resultados.

Para el método de Gumbel de análisis de valores extremos, el factor K, cuando N es grande, tiende a,

$$K = \frac{-2.45 \left[0.577 + \left[\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right] \right]}{3.1416} \quad (5)$$

donde, T es el período de retorno que se elija. Si el papel donde se va a graficar se ha dibujado de acuerdo con la fórmula (5), sólo es necesario graficar los puntos observados y luego hallar algunos valores de X_i con las ecuaciones (4) y (5) para trazar la curva de mejor ajuste. Para ello, el papel debe tener una escala de K paralela a los ejes de P y T. El método de Gumbel es seguramente el más conocido y de mayor uso.

En la experiencia, este método ha encontrado sus mejores aplicaciones para el análisis de máximas descargas de los ríos.

Según Chow, el método de Gumbel en un caso especial de una distribución "lognormal" en que el sesgo de la distribución de frecuencias C_s es igual a 1.139. El método lognormal puede aplicarse para cualquier coeficiente de sesgo. El coeficiente de sesgo se determina mediante la ecuación,

$$C_s = 3 C_v + C_v^3 \quad (6)$$

donde, C_v es el coeficiente de variación de la distribución lognormal de frecuencias.

El factor de frecuencias (K) para la distribución lognormal, es,

$$K = \frac{e^{(S_y K_y - S_y^2 / 2)} - 1}{(e^{S_y^2} - 1)^{0.5}} \quad (7)$$

donde, S_y = desviación estándar de los logaritmos neperianos de las magnitudes observadas.

$$\ln X_i = Y_i = \bar{Y} + S_y K_y \quad (8)$$

Esta es una ecuación similar a la ecuación (4) en que los valores de X tienen una distribución lognormal, pero los valores de " Y " tienen una distribución normal. Según esto el factor K_y depende de $P(Y \leq y)$ y se puede encontrar en tablas de probabilidades "normal" en muchos libros y manuales de estadísticas. Conocidos los valores de K_y para una probabilidad P o períodos de retorno T dados, utilizando la ecuación (7)

se puede calcular K para la distribución lognormal. La graficación de los puntos observados y de la curva teórica $\hat{X}_i = \bar{x} + SK$ se hacen en un papel de probabilidades normal x logarítmico.

Otras ecuaciones que se requieren para el análisis son,

$$\bar{x} = e^{(\bar{Y} + S_y^2/2)} \quad (9)$$

$$S = \bar{x} (e^{S_y^2} - 1)^{0.5} \quad (10)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{N} \quad (11)$$

$$S_y^2 = (\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N})/N-1 \quad (12)$$

La tabla del Cuadro B2 presenta los factores de frecuencia K para el método lognormal.

En función de estas consideraciones, adoptaremos el siguiente procedimiento para el análisis de frecuencias,

Procedimiento del Método Lognormal.

1. Transformar los valores de X_i a sus logaritmos neperianos ($\ln X = 2.3026 \log_{10} X$). Así, se obtiene la serie de valores de Y_i , donde $Y = \ln X$.
2. Hallar la media \bar{Y} , y la variancia S_y^2 con las fórmulas (11) y (12).
3. Hallar la media \bar{X} y la desviación estándar S, con las fórmulas (9) y (10).
4. Hallar el coeficiente de sesgo con la fórmula (6).

5. Para algunos valores de T o P ($X \leq x$), ecuación (1) y (2) y con ayuda del Cuadro B2, encontrar los valores de K correspondientes al coeficiente de sesgo encontrado en el paso anterior.
6. Utilizando la ecuación (4) encontrar los valores de \hat{X}_i estimados para las probabilidades seleccionadas. Graficar \hat{X}_i vs $P(X \leq x)$ ó T con los valores hallados en este paso, en el papel log x normal, donde están graficados los puntos observados. Trazar la curva que pase por estos puntos. Esta curva representa el mejor estimado de X.

Relación Intensidad-Duración

El análisis se repite para diversas duraciones como 5, 10, 15, 30, 120, 240 y 360 minutos y sus resultados se representan en el mismo gráfico, tal como el de la Figura B1, obteniéndose una curva de frecuencias para cada duración. Luego se elijen los períodos de retorno deseados (ejemplo, T=2, 10, 50 y 100 años) y, para cada uno, se toman las ordenadas de cada curva de probabilidad, obteniéndose las magnitudes correspondientes a cada duración para el respectivo período de retorno; éstas se representan en otro gráfico en el que la ordenada es la magnitud y la abscisa es la duración (Figura B2). Se obtienen así, las curvas de la relación intensidad-duración para diferentes períodos de retorno.

Ejemplo de Aplicación en Dajabón

El Cuadro B1, presenta la tabla de trabajo para análisis de frecuencias, según el método lognormal, con las magnitudes I60 en la estación partido 0103, Dajabón. Se puede hacer un análisis como éste para otras duraciones y así, obtener las curvas de la Figura B2.

En el Cuadro B1 hay tres secciones (1) datos; donde se ponen los datos de máximas intensidades tal como se han observado; (2) puntos a graficar; donde los datos observados se ordenan de mayor a menor y se calcula la probabilidad de ocurrencia de cada uno con fines de graficarlos en forma descendente, (observar que los datos de P pueden calcularse con la fórmula $M/(N + 1)$) y, luego registrarse de abajo hacia arriba. Así,

$$\text{Para } M = 16, P = 1/(16 + 1) = .06;$$

$$\text{Para } M = 15, P = 2/17 = .12;$$

$$\text{Para } M = 1, P = 16/17 = .94;$$

Y (3) análisis estadístico; donde se realizan las transformaciones y cálculos para el trazado de la curva promedio.

En la Figura B1, se presentan los puntos observados graficados de acuerdo a las columnas (4) y (5) del Cuadro B1. La curva teórica promedio que pasa por esos puntos se ha graficado con las columnas (8) y (11) del Cuadro B1.

El resto de las curvas de la Figura B1 se ha graficado con la información simplificada del Cuadro B3 en éstas no se han graficado los puntos observados para simplificar este procedimiento ilustrativo. Sin embargo, es recomendable graficar siempre los puntos observados pues así se tiene una forma de apreciar la bondad del ajuste. Con la información de la Fig. B1, para períodos de retorno seleccionados se han graficado las curvas de la Fig. B2, que son en realidad las de mayor interés -el gráfico es en papel semi-logaritmico-.

Cuadro B1. Análisis de Frecuencias de Intensidades Máximas Observadas de 60 Minutos de Duración en la Estación Partido (0103), Dajabón- Método Lognormal

DATOS		PUNTOS A GRAFICAR			ANALISIS ESTADISTICO	
Año	I60 cm/hora	Orden m	I60 Xi cm/hora (4)	P(X ≤ x) 1(m/N+1) (5)	I60 Yi Y = lnXi	Cálculos
1960	7.59	1	8.3	.94	2.12	$\Sigma Yi = 29.85$
1961	6.60	2	8.18	.88	2.10	$\bar{Y} = 1.87$
1962	5.80	3	7.88	.82	2.06	$\Sigma Yi^2 = 56.29$
1963	8.3	4	7.69	.76	2.04	$\Sigma (Yi)^2 / N = 55.68$
1964	6.9	5	7.59	.71	2.03	$S_y^2 = .0406$
1965	4.92	6	7.02	.65	1.95	$\bar{Y} + S_y^2 / 2 = 1.89$ (1)
1966	5.40	7	7.00	.59	1.95	$\bar{X} = 6.59 = e^{(1)}$
1967	8.18	8	6.90	.53	1.93	$e^{S_y^2 - 1} = 0.04$ (2)
1968	6.30	9	6.60	.47	1.89	$\sqrt{(2)} = 0.20$ (3)
1969	7.02	10	6.58	.41	1.88	$S = 1.34 = \bar{X}$ (3)
1970	7.69	11	6.30	.35	1.84	$Cv = 0.20$
1971	7.00	12	5.80	.29	1.76	$Cs = 0.62$
1972	6.58	13	5.40	.24	1.69	
1973	7.88	14	4.92	.18	1.59	
1974	4.28	15	4.80	.12	1.57	
1975	4.80	16	4.28	.06	1.45	
Valores Teóricos para el Trazo de la Curva					$\hat{X}_i =$	$\bar{X} + KS$
	P(X ≤ x) (8)	K Cs=0.62	KS	\hat{X}_i (11)		
	.99	2.77	3.71	10.3		
	.95	1.79	2.40	8.99		
	.50	-.10	-.13	6.46		
	.20	-.85	-1.14	5.45		
	.05	-1.46	-1.96	4.63		
Media	.539	-	-	6.59		

Cuadro B2. Factores de Frecuencia (K) para la distribución Lognormal

C _s	Probabilidad en la media K=0	Probabilidad P (X ≥ x), porcentaje										Cv
		99	95	80	50	20	5	1	0.1	0.01		
0	50	2.33	1.65	.84	0	.84	1.64	2.33	3.09	3.72	0	
.1	49.3	2.25	1.62	.85	.02	.84	1.67	2.4	3.22	3.95	.033	
.2	48.7	2.18	1.59	.85	.04	.83	1.7	2.47	3.39	4.18	.067	
.3	48.0	2.11	1.56	.85	.06	.82	1.72	2.55	3.56	4.42	.100	
.4	47.3	2.04	1.53	.85	.07	.81	1.75	2.62	3.72	4.70	.136	
.5	46.7	1.98	1.49	.85	.09	.80	1.77	2.70	3.88	4.96	.166	
.6	46.1	1.91	1.46	.85	.10	.79	1.79	2.77	4.05	5.24	.197	
.7	45.5	1.85	1.43	.85	.11	.78	1.81	2.84	4.21	5.52	.230	
.8	44.9	1.79	1.4	.84	.13	.77	1.82	2.9	4.37	5.81	.262	
.9	44.2	1.74	1.37	.84	.14	.76	1.84	2.97	4.55	6.11	.292	
1.0	43.7	1.68	1.34	.84	.15	.75	1.85	3.03	4.72	6.40	.324	
1.1	43.2	1.63	1.31	.83	.16	.73	1.86	3.09	4.87	6.71	.351	
1.2	42.7	1.58	1.29	.82	.17	.72	1.87	3.15	5.04	7.02	.381	
1.3	42.2	1.54	1.26	.82	.18	.71	1.88	3.21	5.19	7.31	.409	
1.4	41.7	1.49	1.23	.81	.19	.69	1.88	3.26	5.35	7.62	.436	
1.5	41.3	1.45	1.21	.81	.20	.68	1.89	3.31	5.51	7.92	.462	
1.6	40.8	1.41	1.18	.80	.21	.67	1.89	3.36	5.66	8.26	.490	
1.7	40.4	1.38	1.16	.79	.22	.65	1.89	3.40	5.80	8.58	.517	
1.8	40.0	1.34	1.14	.78	.22	.64	1.89	3.44	5.96	8.88	.544	
1.9	39.6	1.31	1.12	.78	.23	.63	1.89	3.48	6.10	9.20	.570	
2.0	39.2	1.28	1.10	.77	.24	.61	1.89	3.52	6.25	9.51	.596	

(Continua)

Ver notas al final del cuadro.

Cuadro B2 (continuación).

Cs	Probabilidad en la media K=0	Probabilidad P (X ≥ x), por ciento								Cv	
		99	95	80	50	20	5	1	0.1		0.01
2.1	38.8	1.25	1.08	.76	.24	.60	1.89	3.55	6.39	9.79	.620
2.2	38.4	1.22	1.06	.76	.25	.59	1.89	3.59	6.51	10.12	.643
2.3	38.1	1.2	1.04	.75	.25	.58	1.88	3.62	6.65	10.43	.667
2.4	37.7	1.17	1.02	.74	.26	.57	1.88	3.65	6.77	10.72	.691
2.5	37.4	1.15	1.00	.74	.26	.56	1.88	3.67	6.90	10.95	.713
2.6	37.1	1.12	.99	.73	.26	.55	1.87	3.70	7.02	11.25	.734
2.7	36.8	1.1	.97	.72	.27	.54	1.87	3.72	7.13	11.55	.755
2.8	36.6	1.08	.96	.72	.27	.53	1.86	3.74	7.25	11.80	.776
2.9	36.3	1.06	.95	.71	.27	.52	1.86	3.76	7.36	12.10	.796
3.0	36.0	1.04	.93	.71	.28	.51	1.85	3.78	7.47	12.36	.818
3.2	35.5	1.01	.90	.69	.28	.49	1.84	3.81	7.65	12.85	.857
3.4	35.1	.98	.88	.68	.29	.47	1.83	3.84	7.84	13.36	.895
3.6	34.7	.95	.86	.67	.29	.46	1.81	3.87	8.0	13.83	.930
3.8	34.2	.92	.84	.66	.29	.44	1.8	3.89	8.16	14.23	.966
4.0	33.2	.90	.82	.65	.29	.42	1.78	3.91	8.3	14.70	1.00
4.5	33.0	.84	.78	.63	.30	.39	1.75	3.93	8.6	15.62	1.081
5.0	32.3	.80	.74	.62	.30	.37	1.71	3.95	8.86	16.45	1.155

NOTAS:

(1) $P(X \geq x) = 100 - P(X \leq x)$, Ej.: Para la probabilidad en la media $P(X \geq x) = 42.2$
entonces $P(X \leq x) = 100 - 42.2 = 57.8$

(2) Los valores de K tienen el signo que aparece en el encabezamiento de la columna.

(3) $Cv = S/\bar{X} = (e^{SY^2} - 1)^{0.5}$; sólo para la distribución lognormal.

(4) $Cs = 3Cv + Cv^3$

Fuente: Chow, Ven Te. 1964. Handbook of Applied Hydrology. p. 8-26
McGrawHill Book Co.

Cuadro B3. Datos del Análisis de Frecuencias para Duraciones de 30,120 y 360 minutos Estación Partido (0103), Provincia de Dajabón

	I30 Xi	I120 Xi	I360 Xi
1960	12.6	2.45	0.64
1961	9.60	4.1	1.93
1962	7.4	3.05	1.66
1963	13.6	5.5	2.64
1964	9.8	4.3	1.73
1965	6.39	3.07	0.94
1966	8.78	2.65	1.05
1967	13.53	4.64	1.65
1968	8.48	4.60	0.44
1969	11.95	3.88	1.03
1970	12.12	4.15	0.61
1971	7.72	4.70	1.71
1972	12.46	3.49	1.16
1973	15.65	4.00	1.15
1974	7.79	2.60	0.55
1975	8.54	2.85	0.96
N=16			
\bar{Y}	2.31	1.29	0.10
Sy	0.26	0.25	0.51
\bar{X}	10.43	3.76	1.26
s	2.80	0.94	0.68
Cs	0.83	0.77	1.78
P(X ≤ x)	\hat{X}_i (30)	\hat{X}_i (120)	\hat{X}_i (360)
.99	18.55	6.49	3.60
.95	15.53	5.47	2.55
.50	10.07	3.64	1.11
.20	8.08	2.97	0.73
.05	6.51	2.44	0.48

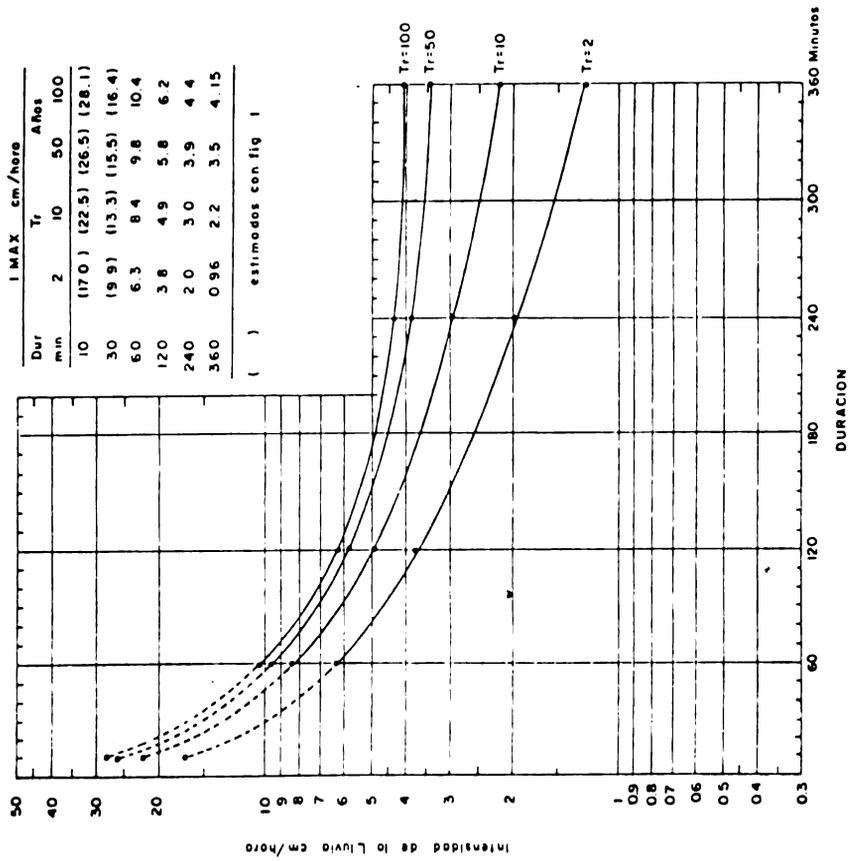


Fig. B-2. Relación Intensidad Máxima Vs. Duración para Diferentes Períodos de Retorno en la Estación Partido (0103) Provincia de Dajabón.

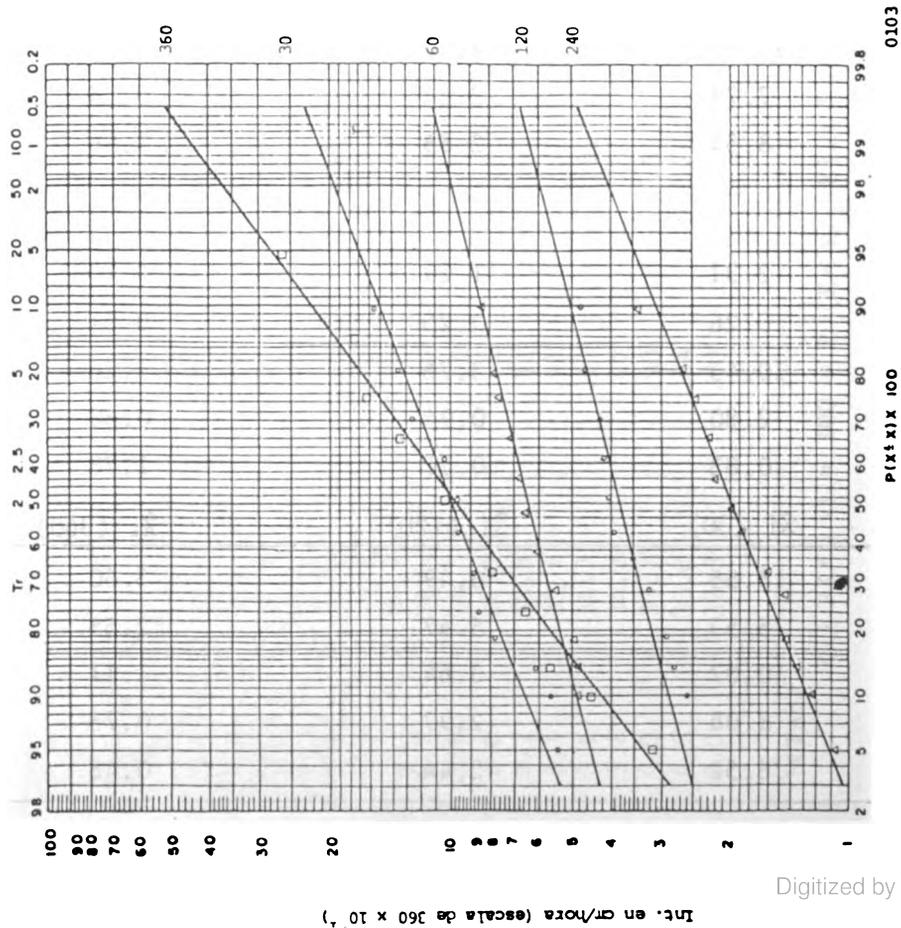


Fig. B-1. Análisis de Probabilidades de Intensidades Máximas para duraciones de 30, 60, 120, 240 y 360 minutos en la Estación de El Partido (0103).

ANEXO C

Procedimiento para Estimar la Escorrentía de Diseño

ESTIMADO DE LA ESCORRENTIA DE DISEÑO^{1/}

La Escorrentía de Diseño se define como la cantidad máxima de flujo para el cual se diseña una estructura^{2/} de conducción, control o evacuación de agua.

La escorrentía de diseño se expresa generalmente en m³/seg o en lit/seg según la magnitud de la descarga esperada. Las estructuras se planean para la escorrentía máxima que se espera que ocurra con determinada frecuencia (período de retorno). Los canales vegetados y estructuras temporales generalmente se diseñan para una escorrentía que puede esperarse que ocurra una vez en diez años; estructuras de alto costo y permanentes se diseñan para escorrentías esperadas sólo una vez en 50 ó 100 años. La selección del período de retorno para el diseño depende del balance económico entre el costo de sus reparaciones periódicas o de su reemplazo, y el costo de proveer una capacidad adicional para reducir la frecuencia de reparaciones o reemplazo. En algunos casos, la frecuencia para el diseño que se elige depende del daño potencial que ocurriría aguas abajo, de fallar la estructura.

En este documento se describe el método "racional" para estimar la escorrentía de diseño.

^{1/} Preparado por Manuel Paulet I., Consultor en Conservación de Suelos, IICA/FEDA/SEA. Departamento de Suelos, ONIECA. Mayo, 1976.

^{2/} Pueden ser canales, vertederos, rápidas, terrazas, alcantarillas, desagües vegetados, etc.

El Método Racional

El método racional se usa para predecir la escorrentía de diseño en áreas menores de 1300 Ha y se expresa por la ecuación

$$Q = \frac{C I A}{36} \quad (1)$$

donde,

Q = Es el gasto crítico o escorrentía crítica; corresponde a la máxima descarga para la cual se diseñan las estructuras (m^3/seg).

I = Intensidad máxima de la lluvia, promedio esperando en un período de retorno igual a la vida de diseño de la estructura, que ocurre por una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca (cm/hora).

A = Area de la cuenca que contribuye a la escorrentía que pasa por la estructura (Ha).

C = Coeficiente de escorrentía; es el cociente de dividir la escorrentía máxima sobre el terreno (expresada en lámina) entre la intensidad de la lluvia (sin dimensiones).

Tc = Tiempo de concentración; tiempo requerido para que el agua fluya desde el punto más remoto de la cuenca hasta el desagüe o estructura que se desea diseñar. Cuando ha transcurrido el tiempo de concentración se dice que todos los puntos de la cuenca están contribuyendo a la descarga (minutos).

Otras definiciones:

Duración. Tiempo que transcurre del comienzo al final de un período de lluvia con determinada intensidad.

Ejemplo: intensidad máxima de 30 minutos, se refiere a la máxima cantidad de agua precipitada en un período de 30 minutos de duración.

Intervalo de retorno de una lluvia.

Medida de la frecuencia promedio con que se presentan lluvias de la magnitud elegida. Esta medida se obtiene de la serie histórica de datos de lluvia registrados, mediante un análisis de frecuencias de los valores máximos anuales observados. Ejemplo: un período de retorno de 10 años indica que se observó en un período de 10 años sólo una lluvia de esa magnitud y que se espera que así ocurra en el futuro.

Supuestos Básicos

El desarrollo del método racional para estimar la escorrentía se basa en ciertos supuestos simplificadorios:

- (1) La lluvia ocurre con intensidad uniforme sobre un período de tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- (2) La lluvia ocurre con intensidad uniforme sobre toda el área de la cuenca.

Si estos supuestos se cumplieran, la lluvia y la escorrentía podrían representarse como la Fig. C1.

Los supuestos básicos nos llevan a la ecuación:

$$Q = \frac{C I A}{36} \quad (1)$$

Que dice, que si una tormenta de intensidad I cae sobre una cuenca de área A por una duración igual al tiempo de concentración T_c , y que si una proporción de esta tormenta escurre, la escorrentía máxima será Q . Si una tormenta de mayor duración que T_c cayera, la escorrentía máxima será menor que Q debido a que la intensidad de esta tormenta de mayor duración será menor que aquella de duración igual a T_c (ver Fig. B2). Si una tormenta de duración menor que T_c cayera, entonces la escorrentía máxima también será menor que Q ya que todas las partes de la cuenca no estarían contribuyendo simultáneamente al flujo en el desague.

Procedimiento

La aplicación del método a un caso específico incluye las siguientes determinaciones:

1. Area de la cuenca (Ha). Gráficamente o utilizando un planímetro.
2. Tiempo de concentración (T_c , minutos u horas). Según como se explica más adelante.
3. Selección de la intensidad de la lluvia (I, cm/hora). Utilizando un gráfico con la relación intensidad Vs duración desarrollado para el lugar donde se piensa ubicar la estructura (ejemplo: Fig. B2). Se entra en el gráfico con el tiempo de concentración utilizando la curva correspondiente al período de retorno seleccionado. En otro documento se explica como elaborar los gráficos de intensidad Vs duración.
4. Selección de un valor razonable del coeficiente de escorrentía C: Según como se explica más adelante.

Determinación del Tiempo de Concentración (T_c)

Procedimiento 1

Uno de los métodos más comúnmente usados para determinar el tiempo de concentración es la fórmula de Kirpich ^{1/}

$$T_c = 0.0195 \quad l^{0.77} \quad S^{-0.385} \quad (2)$$

donde,

T_c = tiempo de concentración, minutos

l = máxima longitud de flujo, metros

S = gradiente de la cuenca en metros por metro o cociente de dividir la diferencia de nivel entre el desague y el punto más lejano de la cuenca sobre la longitud máxima de flujo (l).

Se puede utilizar la tabla del Cuadro C1 para aproximar valores de T_c sin necesidad de utilizar la ecuación. (2).

^{1/} Kirpich, P.Z. 1940. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. Civil Engin. 10:362.

Procedimiento 2

Existe un método desarrollado por Mockus ^{2/} para calcular el tiempo de concentración en función de la longitud del cauce principal, la topografía, la cubierta vegetal y la infiltración. Este método que se expresa en el nomograma de la figura C2 ha dado resultados ligeramente superiores a otros métodos, trabajando con cuencas experimentales en las que el tiempo de retraso (T_L) se tomó como tiempo de concentración T_C . Para trabajar con el nomograma de la figura C2 es necesario convertir las unidades de longitud a pies. Aunque, el nomograma facilita el estimado de T_L , puede trabajarse con las fórmulas correspondientes.

$$T_L = \frac{2.5867 \ell^{0.8} (S + 1)^{1.67}}{9000 Y^{0.5}} \quad (3)$$

donde,

ℓ = longitud del canal o cauce principal hasta la divisoria más lejana, m.

$$S = (1000/N) - 10 \quad (4)$$

Y = pendiente promedio de la cuenca, %

N = número de curva, grupo hidrológico de suelos (del Cuadro C2)

^{2/} Mockus, V. 1961. Watershed lag nomograph. U.S. Soil Conservation Service Drawing No. ES-1015, March 16.

Número de Curva de Escorrentía del Grupo Hidrológico de Suelos (N)

Para hallar el número de curva del grupo hidrológico de suelos, es preciso estimar el grupo hidrológico de suelos a que pertenece la cuenca mediante la información del Cuadro C3. Luego, según la información del Cuadro C2 y el tipo de cobertura, el tratamiento y la condición hidrológica del grupo de suelos, se elige el número de curva N.

La información del Cuadro C2 está hecha para condiciones promedio asumiendo que las lluvias previas corresponden a la condición II. En el Cuadro C4 se presentan indicaciones para modificar los números de curvas elegidos según la condición de lluvias precedentes. La condición de lluvias precedentes con que se trabaje (I, II o III) depende de la zona y podrá precisarse con la experiencia y mediante análisis especiales de los registros pluviométricos. Mientras tanto, se podrá trabajar con la condición II, tal como aparece en el Cuadro 2.

Determinación del Coeficiente de Escorrentía "C"

El coeficiente de escorrentía "C", se determina con ayuda de la Figura C3 y de los Cuadros C5 ó C6 según el caso (si lo que hay en la superficie es roca desnuda, utilizar "C" = de .70 a .95).

Se entra en la Figura C3 con la intensidad de la lluvia obtenida

de un gráfico, tal como la Figura B2, para el tiempo de concentración de la cuenca. Para entrar en el gráfico de la Figura C3, es necesario convertir la intensidad a pulgadas por hora (dividir I entre 2.54). Luego, obtener el valor de "C" utilizando la curva que corresponda.

El coeficiente "C" obtenido con la Figura C3 corresponde al grupo hidrológico de suelos C: (Cuadro 3). En el Cuadro C5 se presentan factores de corrección del coeficiente de escorrentía obtenido con la Figura C3, cuando el grupo hidrológico de suelos es A, B o D.

Ejemplo de Aplicación

Determinar la escorrentía máxima para una lluvia con período de retorno de 10 años ($T_R = 10$) de una cuenca de 100 Ha cerca a Dajabón. con las siguientes características:

Sub-Area Ha.	Topografía gradiente %	Grupo Hidrológico de Suelos (del Cuadro 3)	Uso de la Tierra, tratamiento y con- dición Hidrológica.
60	Plana	C	Cultivo de escarda, en contorno, buena.
40	10 a 30	B	Bosque, buena.

La longitud máxima de flujo es 1500 m y la diferencia de elevación a lo largo del máximo recorrido de flujo es 50 m.

Solución

Procedimiento 1

- (a) El gradiente de la cuenca es $(50/1500) = .033$
 ó 3.3%. Con ayuda del Cuadro 1 (por interpolación)
 o con la ecuación (2) para $S=.033$, $T_r = 20.23$ minutos.
- (b) Entrando en la Figura B2 con $T_c = 20$ para $T_r = 10$ en-
 contramos que $I = 18$ cm/hora.
- (c) Es necesario encontrar un valor ponderado para el coe-
 ficiente de escorrentía C. Utilizando la Figura C3,
 con $I = 18/2.54 = 7.09$ pulgadas/hora.

<u>Grupo de Suelos</u>	<u>Ha.</u>	<u>Coefficiente C</u>	<u>(CxHa)/100 Ha</u>
C	60	0.66	0.396
B	40 (.18 x .79)	0.14	<u>0.057</u>
		"C" =	0.453

Notar que para el área de 40 Ha fué necesario corregir el
 valor de "C" encontrado con la Figura C3 para bosque, 0.18,
 por medio del factor 0.79 (del Cuadro C5).

Esto, debido a que se trata del grupo de suelos B y no C
 como está en la Figura C3.

- (d) Así, la escorrentía máxima esperada para esa cuenca es:

$$Q = \frac{0.453 \times 18 \times 100}{36} = 22.65 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Procedimiento 2

Para T_c hallado con el método de Mockus; nomograma de la Figura C2 ó mediante la ecuación (3).

Para ello es necesario ponderar el número de curva N, utilizando la información del Cuadro C2.

Así,

Ha	Grupo de Suelos	N	(NxHa)/100 Ha
60	C	82	49.2
40	B	55	<u>22.0</u>
		N=	71

Los datos son entonces,

$$S = (1000/71) - 10 = 4.08$$

$$l = 1500 \text{ m } \text{ó} \text{ 4921 pies}$$

$$Y = (50/1500) \times 100 = 3.33\%$$

Utilizando la ecuación (3) ó la Figura C2,

$$T_L = 49 \text{ minutos } 33'' = T_c$$

El resto del procedimiento es igual al anterior, notándose que existe una diferencia considerable en cuanto al tiempo de concentración. Un mayor tiempo de concentración para la misma área indica condiciones menos severas en cuanto a la formación de la escorrentía máxima.

Así,

De la Figura E 2,

$$I = 10 \text{ cm/hora } \text{ ó } 3.94 \text{ pulg/hora}$$

De la Figura C3 y el Cuadro C5

<u>Grupo de Suelos</u>	<u>Ha</u>	<u>"C"</u>	<u>(CxHa)/100 Ha</u>
C	60	0.62	0.372
B	40 (0.13x79)	0.1027	<u>0.0411</u>
		C=	0.413

(con la misma corrección para el grupo B del Cuadro C5)

Así, la escorrentía máxima esperada para esa cuenca es,

$$Q = \frac{0.413 \times 10 \times 100}{36} = 11.48 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Comentario.

De los dos procedimientos, el segundo podría considerarse más preciso debido a que tiene en cuenta el uso de la tierra y las condiciones de infiltración del suelo en la determinación del tiempo de concentración.

La correcta estimación de este parámetro es determinante para el resto de la evaluación, ya que, tanto la intensidad crítica como el coeficiente de escorrentía dependen del mismo.

En este caso particular en que la escorrentía de diseño obtenida es menor que la obtenida mediante el primer procedimiento, se cuenta con dos límites de descarga entre los que se puede elegir la capacidad de la estructura que se desee diseñar.

CUADRO C1 TIEMPO DE CONCENTRACION PARA PEQUEÑAS CUENCAS
(Según la fórmula de Kirpich)

Tiempo de Concentración en Minutos											
l (m)	Gradiente de la Cuenca en % (S x 100)										
	1	2	3	6	9	12	15	20	25	30	35
50	2.3	1.8	1.5	1.2	1.0	.9	.8	.7	.7	.6	.6
100	4	3	2.6	2	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1
200	7	5.2	4.5	3.4	2.9	2.6	2.4	2.1	2	1.8	1.7
300	9.3	7.1	6	4.7	4	3.6	3.3	2.9	2.7	2.5	2.4
400	12	9	7.6	6	5	4.4	4	3.7	3.4	3.1	2.9
500	14	11	9	7	6	5.3	5	4.3	4	3.7	3.5
1000	16	18	15.4	12	10	9	8	7.4	6.8	6.3	6
2000	40	31	26	20	17	15	14	13	12	11	10
3000	55	42	36	27	23	21	19	17	16	15	14
4000	68	52	45	34	29	26	24	22	20	18	17
5000	81	62	53	41	35	31	29	26	23	22	21
6000	93	71	61	47	40	36	33	29	27	25	24

Calculado con la ecuación $T_c = 0.0195 l^{0.77} S^{-0.385}$

l = longitud máxima de flujo en metros

S = gradiente de la cuenca en metros por metro
o cociente de dividir la diferencia de nivel
entre el desagüe y el punto más lejano de la
cuenca sobre la longitud máxima de flujo (l).

CUADRO C2 Números de Curva de Escorrentía (N) para Complejos Hidrológicos Suelo-Cobertura (para condición de lluvia Antecedente II, y $I a = 0.2 S$)

Uso de la Tierra o Cobertura	Tratamiento o Práctica	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico de Suelos			
			A	B	C	D
Suelo desnudo	Sin tratamiento	-	77	86	91	94
Cultivos de Escarda.	Sin tratamiento	Pobre	72	81	88	91
	Sin tratamiento	Buena	67	78	85	89
	En contorno	Pobre	70	79	84	88
	En contorno	Buena	65	75	82	86
	Terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Terrazas	Buena	62	71	78	81
Grano Pequeño	Sin tratamiento	Pobre	65	76	84	88
	Sin tratamiento	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Pobre	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	Terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Terrazas	Buena	59	70	78	81
Leguminosas o pradera en rotación de siembra densa.	Sin tratamiento	Pobre	66	77	85	89
	Sin tratamiento	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Pobre	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	Terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizal		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	En contorno	Pobre	47	67	81	88
	En contorno	Regular	25	59	75	83
	En contorno	Buena	6	35	70	79
Pradera Permanente		Buena	30	58	71	78

CUADRO C2 (Continuación)

Uso de la Tierra o cobertura	Tratamiento o Práctica	Condición Hidrológica	Grupo Hidrológico de Suelos			
			A	B	C	D
Bosque		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Farmsteads		-	59	74	82	86
Camino de Tierra		-	74	84	90	92

Ia = abstracción inicial, consiste de pérdidas por intercepción, almacenamiento superficial, y agua que se infiltra antes del inicio de la escorrentía.

S = máxima diferencia potencial entre la lluvia y la escorrentía expresada en lámina, comenzando en el momento en que principia la lluvia.

$$S = (1000/N) - 10$$

Condición Hidrológica, se refiere a la condición del grupo hidrológico de suelos.

Sin tratamiento, indica que el terreno no tiene prácticas de conservación o que el laboreo del terreno es sin tener en cuenta la topografía.

Condición de lluvia antecedente II, se refiere a la cantidad de lluvia caída en los cinco días precedentes a la lluvia de diseño. En esta condición se estima que cayeron entre 3.5 cm de lluvia. Ver Cuadro C3 para corregir los números de curva correspondientes a otras condiciones de lluvia antecedente.

CUADRO C3 Grupos Hidrológicos de Suelos

Grupo de Suelos	Descripción
A	<p><u>Más bajo Potencial de Escorrentía.</u> Incluye arenas profundas con muy poco Limo y arcilla. También, incluye suelos profundos de alta permeabilidad por razones especiales (oxisoles, por ejemplo).</p>
B	<p><u>Moderadamente bajo Potencial de Escorrentía.</u> Principalmente suelos arenosos menos profundos que A. También, suelos de alta permeabilidad por razones especiales menos profundos que A. Su capacidad de infiltración después de saturados es superior al promedio.</p>
C	<p><u>Moderadamente alto Potencial de Escorrentía.</u> Comprende suelos superficiales y suelos que contienen altos contenidos de arcilla y coloides, aunque menos que aquellos del grupo D. Después de saturación, el grupo tiene una capacidad de infiltración menos que el promedio.</p>
D	<p><u>Más alto Potencial de Escorrentía.</u> Incluye principalmente arcillas expansivas y suelos superficiales con horizontes casi impermeables (o roca) cerca de la superficie.</p>

Fuente: U.S. Soil Conservation Service, Nat. Engineering Handbook Section 4, Part I, 1964.

CUADRO C4 Condiciones de Lluvia Antecedentes y los Números de Curva de grupos Hidrológicos de Suelos.

Número de Curva para la Condición II	Factor para convertir el número de curva de la Condición de Lluvia Antecedente II A	
	Condición I	Condición III
10	0.40	2.22
20	0.45	1.85
30	0.50	1.67
40	0.55	1.50
50	0.62	1.40
60	0.67	1.30
70	0.73	1.21
80	0.79	1.14
90	0.87	1.07
100	1.00	1.00
Condición Descripción	Cantidad de Lluvia en los 5 días Antecedentes (cm)	
	Estación Seca	Estación de Crecimiento
I Condición de Humedad del Suelo Optima	menos de 1.3	menos de 3.5
II Condición de Humedad típica en la ocurrencia de máximas esco- rrentías anuales.	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III Condición de fuertes lluvias.	más de 2.5	más de 5

Fuente: U.S. Soil Conservation Service, Nat. Engin Handbook Section 4, Part I, Watershed Planning. 1964.

CUADRO C5. Factores de Conversión para Grupos Hidrológicos de Suelos para convertir el coeficiente de Escorrentía C, del grupo Hidrológico "C" al grupo hidrológico que se indica en la Columna. a/

Tipo de Cobertura y condición hidrológica	Grupo A	Grupo B	Grupo D
Bosque, buena	0.36	0.79	1.10
Pastizal (permanente), buena	0.53	0.83	1.08
Pradera, segundo año, buena	0.72	0.89	1.05
Trigo, tecnología mejorada buena.	0.75	0.90	1.04
Grano pequeño, tecnología tradicional, pobre.	0.77	0.90	1.05
Maíz, tecnología mejorada, buena.	0.80	0.91	1.04
Maíz, tecnología tradicional, pobre.	0.82	0.92	1.03

a/ Los factores de conversión se calculan utilizando la información del Cuadro C2, dividiendo el número de curva (N) para el grupo deseado entre el número de curva del Grupo "C".

CUADRO C6 Coeficientes de Escorrentía para Areas Urbanas

Tipo de Area de Drenaje	Coeficiente de Escorrentía C		
Area Comercial	.70	a	.95
Centro de ciudad	.50	a	.70
Areas Aledañas (con algo de áreas verdes)			
Areas Residencial	.30	a	.50
Casas independientes (con jardines alrededor) por unidad.			
Casas independientes com- prendiendo varias unidades.	.40	a	.60
Casas independientes uni- das y comprendiendo varias unidades.	.60	a	.75
Areas Suburbanas (más gran- des).	.25	a	.40
Areas con edificios de De- partamentos.	.50	a	.70
Area Industrial			
Unidades dispersas	.50	a	.80
Compacta	.60	a	.90
Parques y cementerios	.10	a	.25
Campos de Juego	.20	a	.35
Areas del Ferrocarril	.20	a	.40
Areas abandonadas o sin trabajo	.10	a	.30
Calles	.70	a	.95
Techos	.75	a	.95
Aceras y Caminos	.75	a	.85

Fuente: Illinois Eng. Expt. Sta. Bull. 462, 1962.

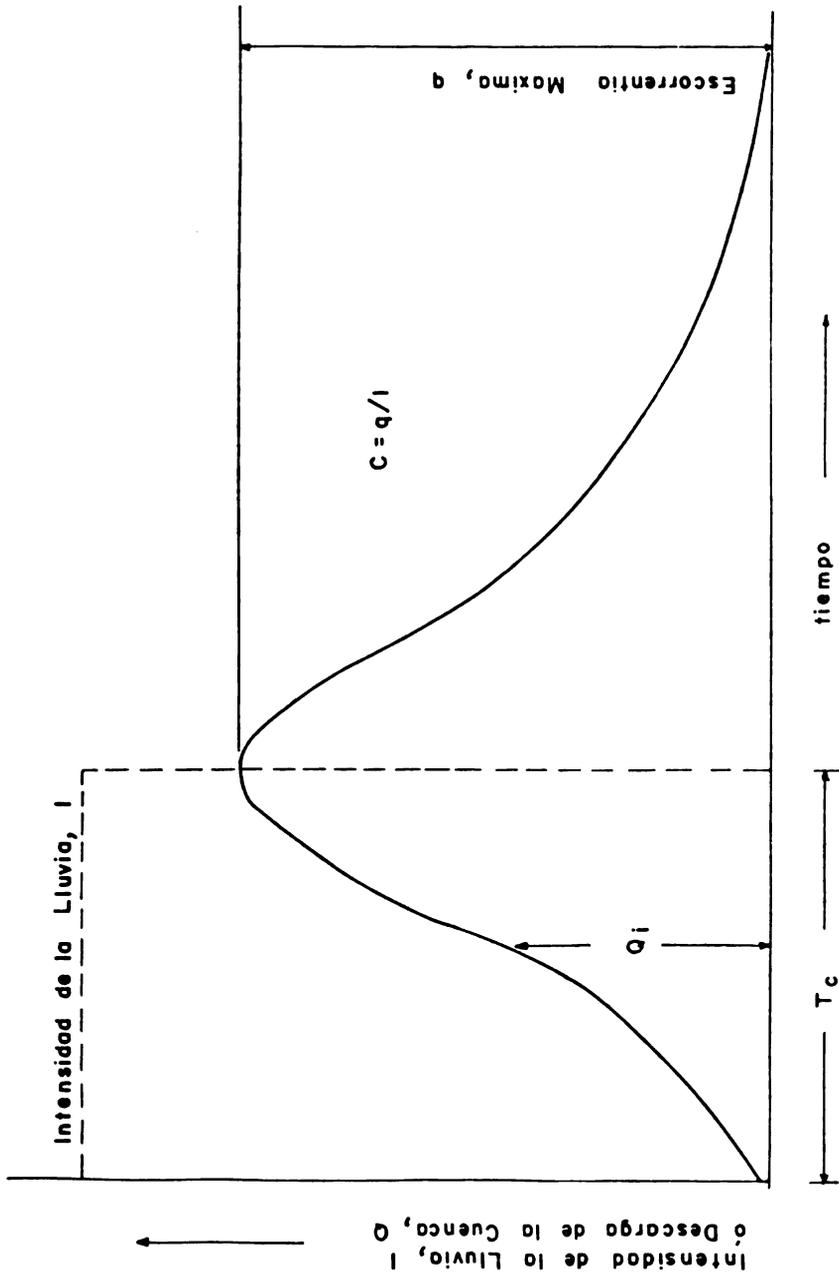


Figura: C-1 SUPUESTOS DEL METODO RACIONAL CON RESPECTO A LA LLUVIA Y ESCORRENTIA

CUADRO C6 Coeficientes de Escorrentía para Areas Urbanas

Tipo de Area de Drenaje	Coeficiente de Escorrentía C		
Area Comercial	.70	a	.95
Centro de ciudad	.50	a	.70
Areas Aledañas (con algo de áreas verdes)			
Areas Residencial	.30	a	.50
Casas independientes (con jardines alrededor) por unidad.			
Casas independientes com- prendiendo varias unidades.	.40	a	.60
Casas independientes uni- das y comprendiendo varias unidades.	.60	a	.75
Areas Suburbanas (más gran- des).	.25	a	.40
Areas con edificios de De- partamentos.	.50	a	.70
Area Industrial			
Unidades dispersas	.50	a	.80
Compacta	.60	a	.90
Parques y cementerios	.10	a	.25
Campos de Juego	.20	a	.35
Areas del Ferrocarril	.20	a	.40
Areas abandonadas o sin trabajo	.10	a	.30
Calles	.70	a	.95
Techos	.75	a	.95
Aceras y Caminos	.75	a	.85

Fuente: Illinois Eng. Expt. Sta. Bull. 462, 1962.

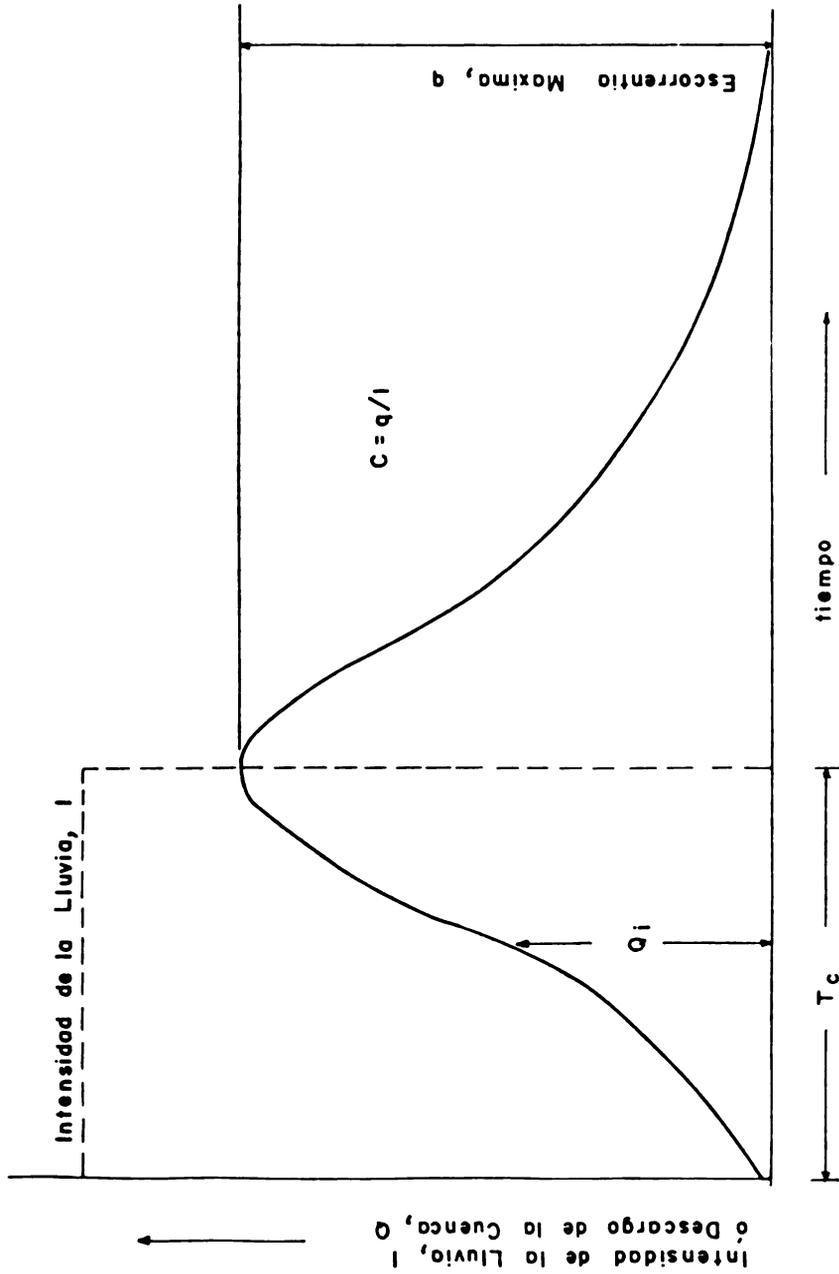


Figura: C-1 SUPUESTOS DEL METODO RACIONAL CON RESPECTO A LA LLUVIA Y ESCORRENTIA

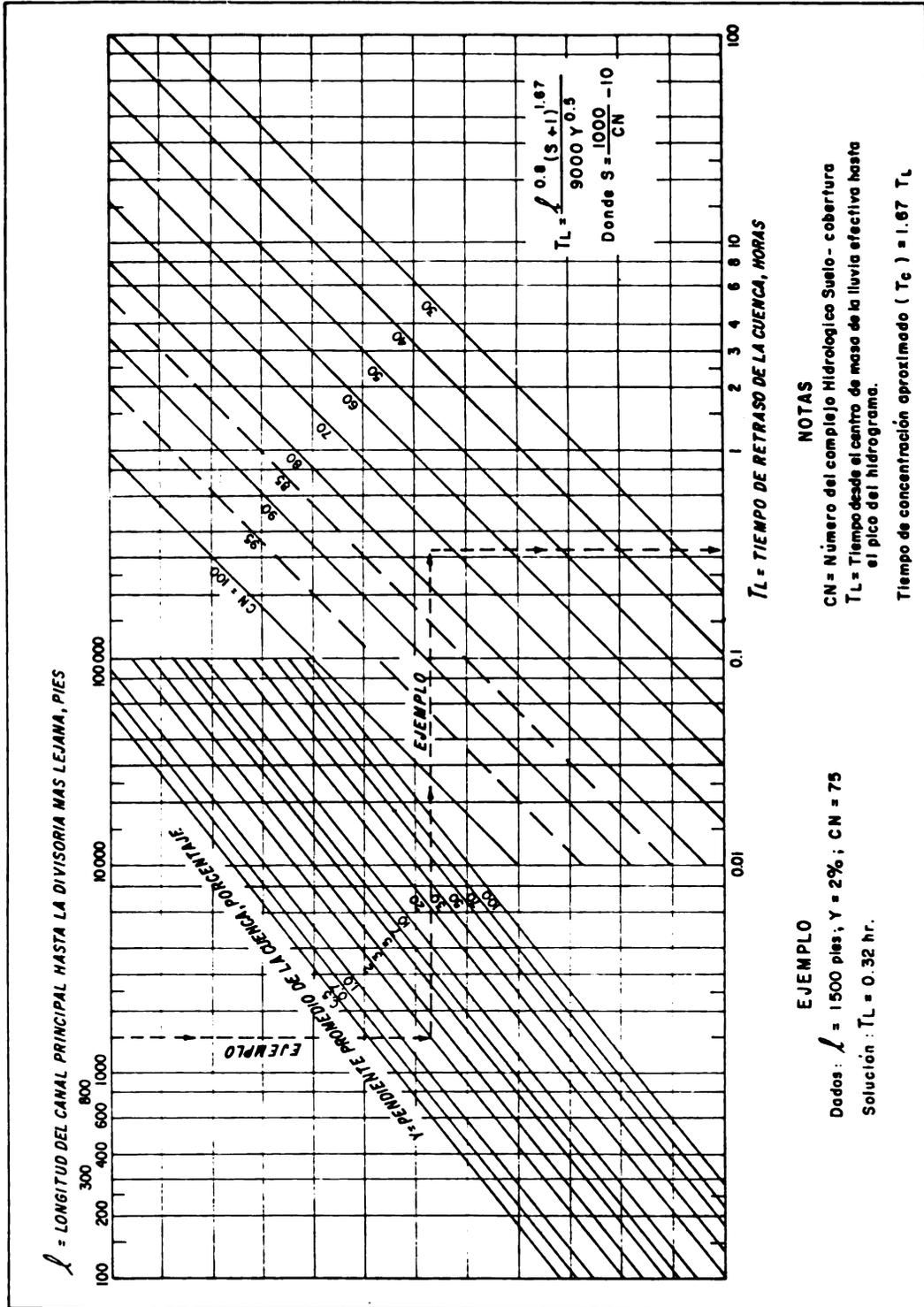


Figura C2 - Nomograma para calcular el tiempo de retraso y tiempo de concentración de una cuenca.

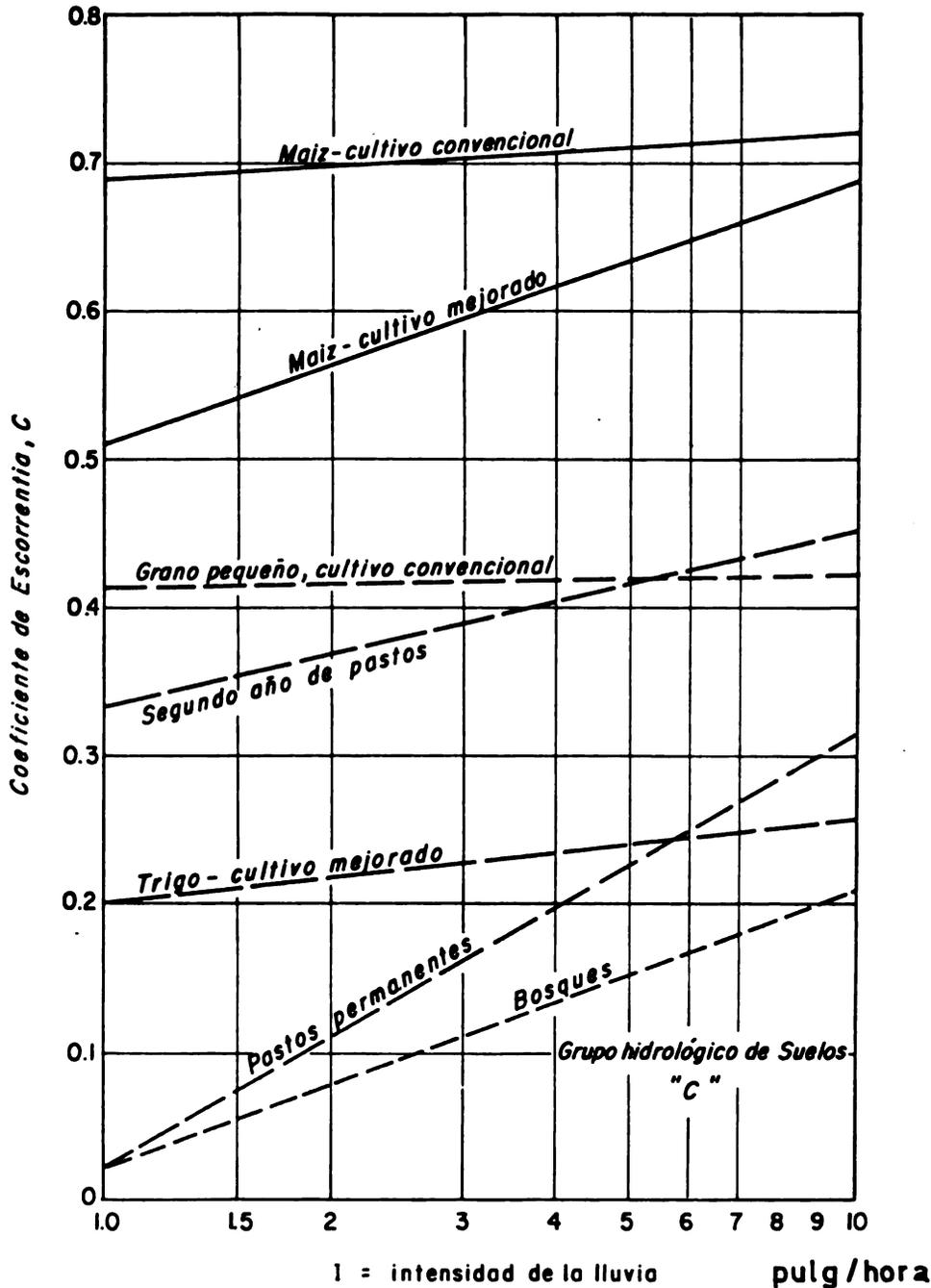


Figura C3- Coeficientes de Escorrentia para Terrenos Agrícolas (de Horn and Schwab, Am. Soc. Agr. Eng. Trans., 6(3): 195 - 198, 201, 233, 1963).



