

# El potencial erosivo de la lluvia en el Uruguay\*\_\_\_\_\_

MICHEL H KOOLHAAS\*\*

## ABSTRACT

*Two types of distribution of rainfall erosion potential established for Uruguay are reported in this paper. One involves geographic differences in the ability of the average annual rainfall to cause erosion. The other type involves location differences, only in the South, regarding the distribution of erosive rains within the year.*

*The erosion potential of rainfall at different locations was measured by an erosion index which is based on the kinetic energy and maximum sustained intensity of each rainstorm. This index was mathematically evaluated from one recording rain-gage situated in Montevideo. For the additional rain-stations, a regression equation with a high correlation was employed, the same as used by the U.S. Agricultural Research Service. The erosion-index values recorded on the iso-erodent map are the location values of the rainfall factor, R, in the universal soil loss equation. The index values found for Uruguay ranged from 240 to 600 in metric units.*

*The new information provided by the iso-erodent map, related to our conditions, can greatly enhance the precision of field soil-loss estimates in guiding farm planning of soil and water conservation.*

### Introducción

**L**A erosión del suelo por el agua puede considerarse como función del potencial de la lluvia para provocar erosión, "erosividad", y de la susceptibilidad del suelo a erosionarse bajo ese potencial erosivo, "erodabilidad" (7).

El indicador simple, más preciso y práctico a su vez, de la erosividad de la lluvia en una localidad, es el índice de erosión EI, definido por Wischmeier (14). Este índice fue deducido en el "National Runoff and Soil-Loss Data Laboratory", del Servicio de Conservación de Suelos de los EE.UU. (14,17). El término EI es una caracterización de la lluvia, para cuantificar el potencial erosivo de la misma, que define el factor lluvia R, en la ecuación universal de pérdida de suelo (22).

En este trabajo se describe el procedimiento empleado para establecer la primera carta de iso-erodentas del Uruguay, con la metodología de Wischmeier (16). Iso-erodentas son líneas que unen áreas con igual erosividad de la lluvia.

El trabajo está enmarcado dentro del proyecto de investigación, conducente a la mejor adaptación posible a las condiciones del Uruguay, de la ecuación universal. Los objetivos primarios son las aplicaciones originales del modelo de predicción (22).

La importancia de la ecuación universal en la agricultura radica en que sirve como guía en el establecimiento a nivel predial, de sistemas de producción y medidas mecánicas conservacionistas.

### Revisión de literatura

La erosión del suelo es un proceso mecánico, que requiere energía y gran parte de ella es aportada por la caída de las gotas de lluvia en el impacto con el suelo húmedo. En efecto, el mayor agente erosivo causante de la erosión por salpicadura y laminar, es el impacto de las gotas de lluvia (10, 11, 13).

Es aceptado en general, que el potencial erosivo de la lluvia es alguna función de la energía cinética de la lluvia (7, 20). Wischmeier y Smith (20), obtuvieron la mejor estimación conocida de la cuantificación de la energía cinética de los aguaceros. Para ello se basaron en estudios relativos a la velocidad terminal (6, 8) y a la distribución del tamaño de las gotas

\* Recibido para la publicación el 21 de setiembre de 1977.  
\*\* Ingeniero agrónomo, Asistente de Conservación de suelos de la Facultad de Agronomía (avenida E-Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Domicilio: Cardona 1007, Montevideo, Uruguay.

(9), en función de la intensidad de lluvia. Así también, utilizaron los datos experimentales de más de 8.000 parcelas-años (14).

La ecuación de regresión que permite la estima de la energía cinética (20), presenta diferencias sustanciales con las obtenidas por Mihara en Japón y Hudson de Rodesia, citados por Kinell (7). La razón de estas diferencias radica en el hecho de que el índice EI, calculado por Wischmeier y Smith (15, 20), no explica satisfactoriamente la erosividad en zonas tropicales y en donde predominan precipitaciones de origen orográfico (7, 19, 12). En dichas zonas existen o se estudian parámetros sustitutivos (19).

Wischmeier y Smith (20) propusieron la siguiente ecuación:

$$I) \quad y = 916 + 331 \lg x$$

donde,  $y$  = ton. corta - pie/pulgada - acre,  $x$  = intensidad en pulg./hora. La ecuación I) es una excelente regresión (19,20) para la cual existe una tabla (21) y cuya equivalencia métrica se presenta en el título "Procedimiento".

En los EE UU. se disponía en 1950 (13) de gran cantidad de información sobre escurrimiento y pérdida de suelo, proveniente de 37 proyectos de investigación en 21 Estados. Estos datos se obtuvieron de parcelas mantenidas en el barbecho continuo y libres de vegetación a través de todo el período de estudio. Los mismos sirvieron para determinar la óptima caracterización de erosividad, sin la influencia perturbadora de diferencias en cobertura, cantidad de materia orgánica en el suelo o cualquier otra práctica de manejo.

Del análisis estadístico de unas 40 variables simples e interacciones, la mejor variable encontrada para predecir la pérdida de suelo en barbecho continuo cultivado, fue la variable EI, producto de la energía cinética total de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos. Se definen como aguaceros, en razón de la más alta correlación observada con las pérdidas de suelo, las lluvias mayores a 12,7 mm separadas en el tiempo por 6 horas (14, 20).

El coeficiente de determinación entre pérdida de suelo y los valores EI por aguacero, osciló entre el 71 y 96 por ciento de la variación total de pérdida de suelo, parcela a parcela. En cambio, la cantidad de precipitación explicó entre el 7 y 70 por ciento de la variación total parcela a parcela. Otros análisis mostraron resultados semejantes, por lo que se demostró que la pérdida de suelo no es necesariamente proporcional a la mayor cantidad de lluvia ni a una específica duración de intensidad de lluvia (14). Por tanto, el índice EI fue la mejor caracterización de la erosividad de la lluvia. El índice de erosión por lluvia anual siempre explicó por lo menos un 80 por ciento de la varianza total. El índice EI anual se obtiene por la suma de los EI de cada lluvia.

La carta de iso-erodentas en los EE.UU. (17,22), se obtuvo por análisis de 181 pluviómetros registradores y en 1700 localidades se utilizó una ecuación de regresión simple, cuya variable independiente era una función compuesta. En efecto, el producto de tres parámetros de la lluvia, estaba altamente correlacionado

con los valores del índice EI. Estos parámetros son: para un período de retorno de 2 años, la intensidad máxima en 60 minutos y la intensidad máxima en 24 horas, y la lluvia anual. El producto de estos tres parámetros, explicó entre el 90 y el 98,5 por ciento de la varianza entre los índices EI, para toda el área comprendida al este de las Montañas Rocosas en los EE UU.

Así, es posible obtener buenas estimaciones del índice EI, recurriendo a los parámetros correlacionados, en localidades donde se carece de información pluviográfica suficientemente precisa para la estimación directa, mediante el análisis de las bandas registradoras.

### Materiales y métodos

#### Datos

Se analizó una serie de 20 años, de bandas diarias del pluviógrafo de la Estación Meteorológica "El Prado" en Montevideo, para estimar directamente el índice EI.

Se utilizó la información obtenida para una serie de 30 años\*, acerca de la intensidad de 60 minutos para un período de retorno de 2 años, la cual es coincidente en general con la proporcionada por Gianoni (5).

Finalmente, con los datos de máxima cantidad de lluvia en 24 horas, de las 100 estaciones pluviométricas que componen la Red Básica de la D.G.M.U., se ajustó una función tipo Gumbel mediante la ecuación general de Chow (1). Los datos proceden de una serie de 30 años, seleccionando máximos valores anuales (2,3), para calcular la precipitación probable en 24 horas para un intervalo de recurrencia de 2 años.

#### Procedimiento

El índice de erosión EI es función de las características de cada aguacero individual. El valor de EI para cada lluvia erosiva, es el producto de la energía cinética total  $\times$  máxima intensidad en 30 minutos  $\times 10^{-2}$ . La energía cinética se cuantificó mediante la siguiente ecuación:

$$II) \quad \frac{E \text{ (tm} \cdot \text{ m)}}{\text{(há} \cdot \text{ mm)}} = 12,142 + 8,877 \lg i;$$

donde,  $i$  es la intensidad en mm/h para el intervalo de tiempo considerado.

Para estimar la energía de las lluvias erosivas, la ecuación II) se utilizó con la información contenida en las bandas registradoras del pluviógrafo. Se tomaron incrementos de intensidad en una hora, calculando  $E_i$  por II) y por tanto:

$$III) \quad E_{\text{total}} = \sum_{i=1}^6 E_i \text{ donde, } i = 1 \dots 6 \text{ horas}$$

\* Koolhaas M H. Intensidad-duración-frecuencia de la lluvia en el Prado Montevideo, Facultad de Agronomía, 1977. Trabajo no publicado.

Lógicamente, si pudiésemos calcular la energía para tiempos menores de una hora, lograríamos mayor exactitud, pero de hecho esa duración es el límite práctico y suficientemente preciso (20).

Los valores anuales del índice de erosividad EI y los EI por aguaceros máximos anuales se ajustan a una función de densidad de probabilidad log-normal (14,17,18).

Para el análisis de los datos se disponía de varias alternativas (1,2,3), optándose por el método analítico más exacto, originalmente expuesto por Chow (2). Se realizó un gráfico de los EI anuales y su respectiva probabilidad de ocurrencia, de acuerdo con la fórmula  $m/(n+1)$ . En ésta, m es el número de orden, establecido en sentido decreciente y n es el número de años de la serie continua. El período de retorno de los EI anuales se estableció por un ajuste de densidad log-normal.

Según Chow (2), la estimación de los parámetros de la función log-normal es la siguiente:

IV)  $y = \ln x$ , donde x = valores EI

V)  $\bar{X} = \exp(y + 1,5 \sigma^2)$

VI)  $\sigma x = \exp(\sigma^2 y - 1)^{1/2} \cdot \bar{X}$

VII)  $cv = \exp(\sigma^2 y - 1)^{1/2}$ , donde cv coeficiente variación.

VIII)  $Cs = \frac{\exp(3\sigma^2 y) - 3 \exp(\sigma^2 y) + 2}{(\exp(\sigma^2 y) - 1)^{3/2}}$

Para hallar los valores de EI, que es de esperar sean igualados en promedio una vez en X años, se procedió de la manera siguiente:

IX)  $\frac{y_c - y}{\sigma y} = z_c$  se distribuye según una normal

set distribuye según una normal típica, entonces,

X)  $y_c = z_c \sigma y + y$ , donde los  $z_c$  se toman de la normal tipificada a la probabilidad de ocurrencia.

donde los  $z_c$  se toman de la normal tipificada, de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia

Para obtener una tabla de los máximos EI por lluvia, con su correspondiente probabilidad de ocurrencia (22), se analizaron los máximos EI por aguacero erosivo de cada año, realizándose luego un análisis similar al indicado anteriormente.

La distribución porcentual media del índice EI, se debe conocer para establecer el patrón de erosividad de la lluvia en la localidad y derivar el factor cultivo-manejo (16), en las aplicaciones de la ecuación universal. Para ello ajustamos una curva log-normal a cada uno de los meses en la serie de 20 años, interesando luego el valor EI correspondiente a un

período de retorno de 2 años. Ese valor se relacionó con la media anual, obteniéndose el porcentaje de ese mes en el 50 por ciento de los años.

Finalmente, en cada una de las estaciones pluviométricas se aplicó la siguiente ecuación de regresión, derivada por Wischmeier (16):

XI)  $EI_{\text{métrico}} = 1,735 \times [0,87 \times Q^{22}]$

donde Q es el índice, resultado del producto de la máx. I 24 h - 2 años  $\times$  máx I 60 min - 2 años  $\times$  lluvia media anual, expresando todos los valores en pulgadas. La relación entre el índice en unidades métricas e inglesas es la siguiente:  $EI_{\text{métrico}} \times 0,5764 = EI_{\text{inglés}}$ .

Resultados

En el Cuadro 1 se presentan los valores calculados del índice de erosión anual y la amplitud observada en la serie continua de 20 años.

Se realizó un gráfico con los valores del índice en El Prado y con su frecuencia de ocurrencia que se ilustra en la Fig. 1, junto con la curva ajustada.

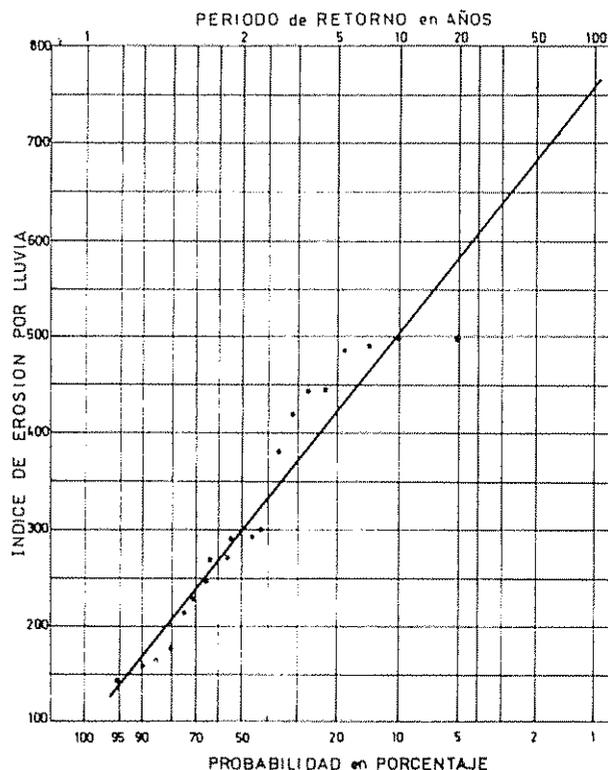


Fig 1 Curva de probabilidad del índice de erosión anual en "El Prado". Los puntos trazados son  $m/n+1$ . Curva basada en bandas de 20 años.

Los valores máximos por aguacero se exponen en el Cuadro 2.

En la Fig. 2. se presenta la estimación de la erosividad media anual de la lluvia con relación a distin-

tas áreas geográficas del Uruguay. La obtención de esta carta de iso-erodentas fue el objetivo primordial de este trabajo.

En la Fig 3 y Cuadro 3. se representan las diferencias locales en la distribución de la erosividad media

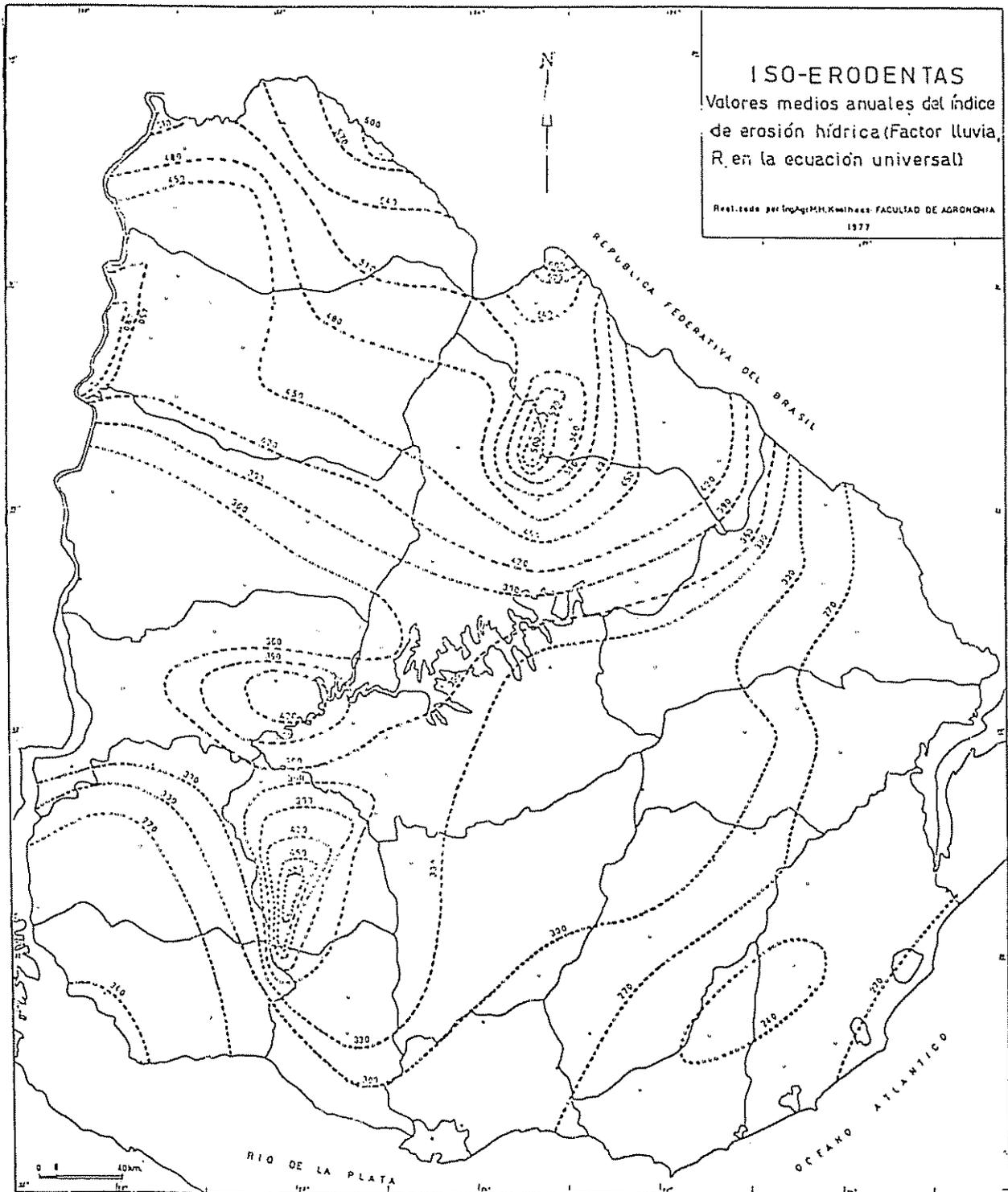


Fig 2. Promedio anual de valores del factor lluvia (periodo de retorno de 2 años).

Cuadro 1. Amplitud observada y valores del índice de erosión al 5-, 10-, 20- y 50 por ciento de probabilidad.

Localidad	Amplitud observada	50%	20%	10%	5%
Montevideo	142 - 490	295	416	497	576

a lo largo del año, únicamente para Montevideo. En la misma es preciso aclarar que el porcentaje acumulado es hasta el 1º de cada mes.

En el Cuadro 4, se muestra la distribución del tamaño de los aguaceros observados. El número total de lluvias erosivas fue de 526, lo que da un número medio de lluvias erosivas de 26 por año.

Cuadro 2. Magnitudes máximas esperadas del índice EI por aguacero individual.

Valores del índice normalmente excedidos una vez en

Localidad	1 año	2 años	5 años	10 años	20 años	50 años
Montevideo	15	35	55	70	85	105

Cuadro 3. Distribución porcentual media del índice EI mensual

	EI	%	% Acumulado
Enero	57	12,5	0
Febrero	34	11,5	12,5
Marzo	22	7,5	24,0
Abril	23	7,8	31,5
Mayo	25	8,5	39,3
Junio	23	7,8	47,8
Julio	17	5,8	55,6
Agosto	18	6,1	61,4
Setiembre	19	6,4	67,5
Octubre	22	7,5	73,9
Noviembre	29	9,8	81,4
Diciembre	26	8,8	91,2
	295	100,0	

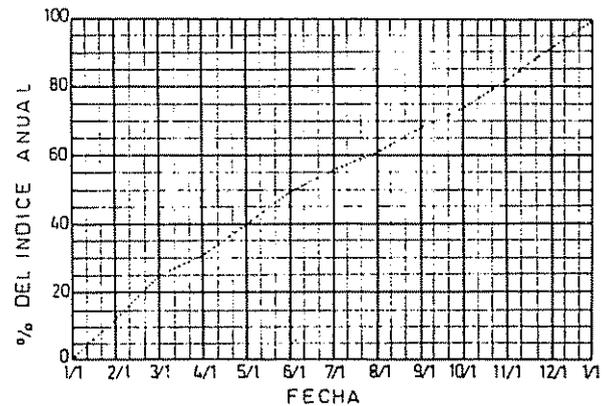


Fig 3. Curva de distribución del índice de erosión

Discusión

Una estimación como la que se presenta puede sufrir modificaciones, que no se cree sean sustanciales, si en el futuro se analizan las bandas correspondientes a uno o dos pluviómetros registradores que no pertenecen a la D.G.M.U. (Dirección General de Meteorología del Uruguay). La información utilizada para establecer la primera carta de isoerodentas, es la mejor disponible en el país.

La estimación del índice EI en Montevideo, sin utilizar el análisis de bandas, conduce al siguiente resultado:

- I 24 hs. = 3,68 mm/h → 88,44 mm → 3,48 pulg
- I 60 min = 30,70 mm/h → 30,70 mm → 1,21 pulg
- Lluvia media anual = 1012 mm → 39,84 pulg;

Cuadro 4. Distribución del tamaño de los aguaceros.

Indice EI	%	% Acumulado
1 - 5	19	19
6 - 10	40	59
11 - 15	17	76
16 - 20	10	86
21 - 30	8	94
31 - 40	2	96
41 - 50	2	98
51 - 60	1	99
61 - 70	0,4	99,4
71 - 80	0,4	99,8
81 - 90	0,2	100,0

por tanto, el índice  $Q = 167,76$  ( $Q = 3,48 \times 1,21 \times 39,84$ ).

Aplicando la ecuación XI) se obtiene  $E_{\text{métrico}} = 291,4$ , siendo el calculado por análisis de bandas,

$E_{\text{métrico}} = 295,0$ , como se observa en el Cuadro 1

Se constata que existe concordancia entre investigaciones previas y métodos empleados. Esto último, sumado al éxito obtenido en otras partes del mundo, con métodos similares para determinar el factor lluvia de la ecuación universal (12), permite puntualizar la idoneidad aceptable de la carta obtenida.

Con relación a la distribución del potencial erosivo anual de la lluvia en los distintos meses, existe la limitación de extrapolarla a todo el país. No obstante, comparando la extensión territorial, valores, amplitudes de variaciones y distribuciones del índice EI en los EE.UU., con los obtenidos en nuestro país, se observa que:

a) La distribución en Montevideo es similar a la única curva que en los EE.UU. se aproxima más a una recta. Esta corresponde a parte de los Estados de Tennessee, Arkansas, Louisiana, Mississippi y Alabama

b) el EI anual en los Estados mencionados, varía entre 347 y 1041 (valores métricos). Es decir, que una misma distribución del índice EI se corresponde con valores anuales muy diferentes y con una doble amplitud de variación aproximadamente.

c) Las curvas de distribución correspondientes a zonas con un EI anual semejante al de Montevideo, permiten visualizar que en toda la zona al este de las Montañas Rocosas, excepto en las zonas de a), existe una época, siempre primavera o verano, asociada con un alto o muy alto incremento de la erosividad de la lluvia (17).

Por tanto, suponer la curva de distribución obtenida como válida para todo el país es aventurado, es una limitante real. No obstante, la hipótesis tiene posibilidad de ser cierta, teniendo en cuenta la homogeneidad de las lluvias anuales y mensuales que no permiten diferenciar regímenes pluviométricos distintos.

### Conclusiones

La carta obtenida permite un uso más seguro de la ecuación universal en nuestras condiciones. La ecuación universal estima la pérdida de suelo por causa de la erosión laminar y en surcos. La pérdida de suelo que la misma predice, es el movimiento pendiente abajo del suelo de una ladera específica caracterizada por el factor topográfico LS. "Esta es precisamente la información que necesitamos para el planeamiento conservacionista" (19).

Las características del modelo de predicción, sus modificaciones y limitaciones han sido tratadas ampliamente por diversos autores en distintos países (12, 19,22)

La aplicación del modelo en el Uruguay está sujeta a limitaciones importantes, como ser estimaciones locales del factor suelo y del factor cultivo-manejo. Sin embargo, es posible ahora obtener estimaciones razonables de pérdida de suelo que sirvan como guía del planeamiento conservacionista de un predio o una cuenca pequeña. Es evidente la necesidad de la investigación orientada a verificar, adaptar y generar valores para los restantes factores de la ecuación, adecuados a las condiciones de suelo y clima particulares, a los efectos de disminuir aquellas limitantes

La erosividad de la lluvia es máxima en verano y mínima en invierno, alcanzando un valor intermedio en otoño y primavera, siendo las diferencias estacionales de erosividad mucho más evidentes que la cantidad de lluvia. Las mismas diferencias se observan en la comparación mensual de lluvias y valores del índice. La amplitud de variación del índice en términos porcentuales es mucho mayor que la cantidad de lluvia anual.

### Resumen

En este trabajo se presentan dos tipos de distribuciones del potencial erosivo de la lluvia establecidas para el Uruguay. Una involucra la erosividad media anual de la lluvia y sus diferencias por zonas geográficas. La otra considera las diferencias por localidad, sólo al sur del país, de la distribución de la erosividad a lo largo del año.

El potencial erosivo de la lluvia en las distintas localidades fue medido por un índice de erosión basado en la energía cinética y la máxima intensidad sostenida de cada aguacero. Este índice fue evaluado matemáticamente en las bandas de un pluviómetro registrador instalado en Montevideo. Para las demás estaciones pluviométricas, se empleó la misma ecuación de regresión, que la usada por el U. S. Agricultural Research Service, con una alta correlación. Los valores del índice de erosión obtenidos, son los valores aplicables al factor lluvia, R, en la ecuación universal de pérdida de suelo. Los valores del índice hallados en el Uruguay tienen una amplitud de variación de 240 a 600 en unidades métricas.

La nueva información proporcionada por el mapa de iso-erodentas adaptado a nuestras condiciones, puede aumentar la precisión de las estimaciones de pérdida de suelo para guiar en el planeamiento de sistemas de conservación de suelos y aguas.

### Literatura citada

- 1 CHOW, V. T. A general formula for hydrologic frequency analysis. Transactions of American Geophysical Union 32 (2): 231-237. 1951

- 2 Discussion of a general formula for hydrologic frequency analysis *Transactions of American Geophysical Union* 33 (2): 277-282. 1952.
- 3 ————. The log-probability law and its applications *American Society of Civil Engineers Proceedings*, 80 (536) 1954.
- 4 DANGLER, E. W. y EL-SWAIFY, S. A. Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. *Soil Science Society of American Proceedings* 40 (6): 769-772 1976.
- 5 GIANONI, A. Precipitación pluvial y desagüe. *Revista de Ingeniería (2da época) (Uruguay) No. 7: 20-24* 1973.
- 6 GUNN, R. y KINZER, G. The terminal velocity of fall for water droplets *Journal of Meteorology* 6 (3): 243-248 1949.
- 7 KINELL, P. I. A. The problem of assessing the erosive power of rainfall from meteorological observations *Soil Science Society of American Proceedings* 37 (6): 617-621 1973.
- 8 LAWS, J. O. Measurement of fall velocity of water drops and rain drops *Transactions of American Geophysical Union* 22 (5): 709-721 1941.
- 9 ———— y PARSONS, D. A. The relation of rain drop size to intensity *Transactions of American Geophysical Union* 24(3): 452-459 1943.
- 10 SMITH, D. D. y WISCHMEIER, W. H. Factors affecting sheet and rill erosion. *Transactions of American Geophysical Union* 38 (6): 889-896 1957.
- 11 ———— y WISCHMEIER, W. H. *Rainfall erosion Advances in Agronomy* New York Academic Press, v 14, 1962 pp 109-148.
12. SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. *Soil erosion: prediction and control*. Ankeny, Iowa Soil Conservation Society of America, 1977. 393 p.
- 13 ————. *Resource conservation glossary*. Ankeny, Iowa Soil Conservation Society of America, 1970 52 p.
- 14 WISCHMEIER, W. H. Punched cards record runoff and soil-loss data *Agricultural Engineering* 36 (6): 664-666. 1955.
- 15 ————. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 23 (2): 246-249 1959.
- 16 ————. Cropping management factor evaluations for a universal soil loss equation *Soil Science Society of America Proceedings* 24 (3): 322-326 1960.
- 17 ————. Rainfall erosion potential *Agricultural Engineering* 43 (4): 312-315 1962.
18. ————. Storms and soil conservation *Journal of Soil and Water Conservation* 17 (2): 55-59 1962.
19. ————. Use and misuse of the universal soil loss equation *Journal of Soil and Water Conservation* 31 (1): 5-9 1976.
- 20 ———— y SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss *Transactions of American Geophysical Union* 39 (2): 285-291. 1958.
21. ————, y SMITH, D. D. y UHLAND, R. E. Evaluation of factors in the soil-loss equation *Agricultural Engineering* 39 (8): 458-462 1958.
- 22 ———— y SMITH, D. D. Rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains *U.S. Department of Agriculture Agricultural Handbook N° 282* 1965 47 p.

## Notas y Comentarios

### *Un gran cambio en el desarrollo rural de Asia:*

Se le podría llamar una gran revolución cultural. Pero la verdadera clase de revolución, en la que el sentido común le dice a suficiente gente que tienen que cambiar sus costumbres y cuando tienen los medios tecnológicos para llevar a cabo ese cambio. Inesperadamente, y altamente deseable, en casi toda Asia al este de Pakistán la producción de alimentos está aumentando y la fertilidad humana está bajando. El anticoncepcionismo y los granos de altos rendimientos están produciendo, por fin, un cambio en la condición humana general. Como resume *The Economist* (3 de marzo de 1979) al comentar este proceso: 'más granos y menos bebés constituyen toda la diferencia'

Esta revolución de sentido común está echando raíces en sociedades con antiguas civilizaciones chinas budistas, hindúes y malayas, pero no en aquellas donde el cristianismo o el islam mantienen su influencia en el campo. En la mayoría de las aldeas cristianas o musulmanas, donde una familia grande se equipara con el valer y masculinidad de un hombre, poco es

lo que ha cambiado. La oposición del Vaticano a la anticoncepción y la emergencia de grupos fundamentalistas musulmanes en todo el mundo islámico, han contribuido a congelar las actitudes en estas regiones que dominan.

En el resto, principalmente en las aldeas asiáticas, están sucediendo simultáneamente cuatro cambios. Primero, la anticoncepción está llegando a ser ampliamente aceptada. En lugares tan separados entre sí como el estado de Kerala en la India, Sri Lanka, China, y Java y Bali en Indonesia, las tasas de crecimiento de la población se han desplomado desde 2½ a 3 por ciento a fines de los novecientos sesenta hasta 1 a 1½ en la actualidad, principalmente en los últimos cinco años. En el resto de la región, la fertilidad está también declinando por primera vez en la historia reciente, aunque menos espectacularmente.

Segundo, las prácticas agrícolas científicas modernas (rendimientos altos, fertilización intensiva, variedades precoces de trigo y arroz, cultivos múltiples, y riegos en todo el año) se están extendiendo y aceptando rápidamente. Las buenas cosechas han aliviado la escasez de alimentos. Aun en dos de las regiones de Asia más pobres, ambas con algunos de los más bajos ingresos rurales y poblaciones más densas en todo el mundo, la producción de arroz se está elevando rápidamente: en Java en un 4 por ciento al año, en Bangladesh en un 5 por ciento.

Tercero, las hipertrofiadas grandes ciudades están expeliendo algunos de sus habitantes. En una inversión de la larga marcha fuera del campo hacia las ciudades, ejércitos de excampesinos están abandonando Jakarta y Calcuta para regresar a las aldeas, que una vez más pueden alimentarlos y emplearlos. La comisión de planificación de la India ha ordenado un estudio de este nuevo fenómeno.

Por último, las economías nacionales de estas sociedades largamente campesinas pueden estar comenzando a reflejar el cambio. Un informe del Banco Mundial dijo en setiembre de 1978 que los países en desarrollo no productores de petróleo han expandido sus economías en un promedio de 4,9 por ciento en 1977 (y aquellos entre Corea del Sur y Singapur en 6 a 12 por ciento), contra 3,5 por ciento para las naciones desarrolladas. Sus exportaciones se elevaron 1,1 por ciento en 1977 y sus déficit en la balanza de pagos cayeron a 20 mil millones de dólares, de 37,2 mil millones en 1975.

Paradójicamente, los efectos desestabilizadores del crecimiento demográfico rápido pueden haber sido el catalizador que quebró las actitudes arraigadas de las viejas comunidades que vivían de la tierra. Con poblaciones campesinas que se doblaban cada 30 años, su esquema de vida transmitido por generaciones perdió coherencia, y causó migración masiva a las ciudades, enajenamiento social, creciente violencia y hasta trastornos políticos. Pero las aldeas no podían, por sí mismas, luchar con el crecimiento demográfico, porque los anticonceptivos necesarios y los granos de altos rendimientos no estuvieron disponibles para ellas hasta fines de los novecientos sesenta.

Parece haber sido en los últimos 10 años que los aldeanos consiguieron luchar con el problema en condiciones más favorables. China, por ejemplo, no consiguió las nuevas semillas hasta 1973 y 1974, cuando 30 mil toneladas de semillas de los trigos mexicanos fueron discretamente embarcadas de Pakistán y Australia.

La China encabeza ahora a las sociedades campesinas del mundo en la transformación de la agricultura tradicional mediante el riego, cultivos múltiples, control de plagas y reciclaje de desechos. Pero la agricultura científica le da una potencial agrícola aún más grande a la India que a China. Ya hemos comentado en *Turrialba* (vol 28 p. 13) como en India el éxito de la revolución verde ha hecho a los campesinos más receptivos al cambio tecnológico, con el resultado de que ahora una transferencia de tecnología agrícola se opera en menor tiempo que antes.

La agricultura moderna se está moviendo rápidamente del noroeste islámico de India al llano del Ganges, hacia Bengala. Pero mientras que los campesinos del Punjab se están enriqueciendo más rápido realizando un cambio de una agricultura de subsistencia al cultivo moderno mecanizado en poco menos de una década, sus ideas de superioridad masculina han prevenido que la fertilidad caiga mucho. Las caídas espectaculares en las tasas de nacimiento, en cambio, se están trasladando desde el sur del subcontinente hindú. En la mayormente budista, empobrecida Sri Lanka, y en el estado más pobre de la India, Kerala, que es el más densamente poblado pero mejor educado y más matriarcal, las tasas de crecimiento han caído casi repentinamente en más de 25 por ciento.

Aunque la mayor parte del mundo musulmán no se ha plegado a la tendencia, partes de él han sido afectados. En algunas aldeas egipcias, por ejemplo, un movimiento de liberación femenina faraónico parece haberse concebido entre las mujeres que luchan por una mayor igualdad. Está emergiendo, aunque lentamente, el mismo cuadro de creciente productividad y menguante fertilidad. En las islas de Java y Bali, en las que los nuevos arrozces le han dado a Indonesia los más altos rendimientos por hectárea en el Asia tropical, el crecimiento anual de la población ha bajado de 3 a 1,4 por ciento (y a 1,2 por ciento en solo Java oriental y Bali), mientras que la producción de alimentos se ha elevado en un 3 por ciento anual en los últimos 10 años. En el Asia oriental, que se está industrializando rápidamente, el cuadro es todavía mejor.

Nada de este ajuste cultural habría sido posible sin la tecnología necesaria para llevarlo a cabo. Años de paciente

investigación fueron empleados en producir los trigos mexicanos y los arrozces filipinos. Las fundaciones Rockefeller y Ford y muchos científicos individuales y sus instituciones merecen el crédito por su paciente y persistente labor, a despecho de todo el pesimismo de los tecnócratas económicos adictos a producir con sus computadoras predicciones catastróficas.

Los antropólogos, las personas que más han visitado las aldeas, y los que han permanecido en ellas por más tiempo, captaron lo que estaba sucediendo. Pero la mayor parte de sus hallazgos estaban enterrados en revistas académicas o en bibliotecas universitarias. Había entonces que implantar una enorme red de clínicas de planificación familiar, suministros de anticonceptivos, universidades agrícolas e instituciones de investigación (51 solamente en la India).

Todo esto necesitó dinero. Las naciones ricas nunca contribuyeron con el 1 por ciento del FBN que el Presidente Kennedy les pidió en 1963 dar como ayuda al mundo pobre. Los Estados Unidos han disminuido su ayuda a un mísero 0,22 por ciento, un poco mejor que el Japón, pero un poco menos que Rusia y Alemania Occidental. La Gran Bretaña, con 0,38 por ciento, está mejor, pero sólo Rumanía, Suecia y Holanda están un poco por debajo o por arriba de ese 1 por ciento. Sin embargo, de cualquier manera, la ayuda exterior inició la tarea.

El presidente del Banco Mundial, Mr Robert McNamara advirtió en setiembre último que un total de 600 millones de personas estarían atrapadas en "pobreza absoluta" por el año 2000, por debajo de cualquier definición de decencia humana. Quizás. Pero si estos 600 millones de personas pueden ajustar su cultura y encontrar un esquema de vida que realmente esté a medida del fin del siglo veinte, que es lo que está comenzando a suceder en las aldeas de Asia, encontrarán formas de no caer en el hambre, en la ignorancia y enfermedad, de no permitir que sus bebés mueran o tengan vidas cortas y escuálidas. Los tiempos cambian y los hombres, una vez que tengan los medios tecnológicos y los años suficientes para adaptarse, cambian con ellos.

#### Publicaciones

*Boletín de Promecafé*. Con fecha julio-setiembre de 1978 se ha distribuido el N° 0 del *Boletín de Promecafé*, destinado a llevar información, ampliar los contactos y crear nuevos intereses entre quienes trabajan en el campo de la caficultura en el área de México, América Central, Panamá, y el Caribe. Promecafé es la abreviatura del Programa Cooperativo Regional para la Protección y Modernización de la Caficultura en México, Centro América y Panamá, cuyo Convenio fue firmado el 31 de enero de 1978, y en el que toman parte el IICA y los Ministerios de Agricultura y los organismos del café de los países de la región, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), y el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). Contiene noticias, comentarios, documentación al día (un artículo sobre transferencia de factores de resistencia a *Hemileia*), repertorio bibliográfico, y resúmenes de publicaciones recientes. La editora es Carmen Villegas y los colaboradores son C.E. Fernández, E. Andrade y P.G. Sylvain.

#### Publicaciones

*El CIT Informa*. El Centro de Información Tecnológica (CIT) del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) ha iniciado la publicación de un boletín informativo titulado *El CIT Informa*, destinado a divulgar los servicios que ofrece y cómo pueden los usuarios utilizarlos más eficazmente. La periodicidad es bimestral y la fecha del primer número es enero-febrero 1979.