

ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA EROSION
CON FINES DE PROTECCION DE LOS SUELOS:
LAS PARCELAS DE ALAÑGASI E ILALO

/ G. de NONI(1)
// J.F. NOUVELOT(1).
G. TRUJILLO(2)

Resumé:

Pour étudier les aspects quantitatifs de l'érosion hydrique, 7 parcelles de ruissellement de 50 m² de surface ont été installées en divers lieux de la Sierra volcanique de l'Equateur. Parmi les premiers résultats obtenus on peut retenir d'une part le rôle considérable des précipitations par leurs intensités, et d'autre part l'importance des poids de terre perdue sur parcelles cultivées, qui peuvent fluctuer pour les plus volumineux entre 210 et 490 tonnes/hectare/année.

Resumen:

Para estudiar los aspectos cuantitativos de la erosión hídrica, fueron instaladas 7 parcelas de escurrimiento de 50 m² de superficie en diversos lugares de la Sierra volcánica del Ecuador. Entre los primeros resultados obtenidos, se puede retener, por una parte, el papel considerable de las precipitaciones por sus intensidades y, por otra, la importancia de los pesos de tierra perdida sobre las parcelas cultivadas, que pueden fluctuar para los más voluminosos entre 210 y 490 toneladas/hectárea/año.

Abstract:

In order to study the quantitative aspects of the hydric erosion, 7 dripping parcels of 50 m² were installed in different sites of the volcanic Sierra in Ecuador. Between the first results, we can retain, on the one hand, the considerable role of precipitations by their intensities and, on the other hand, the importance of the lost land weights on the cultivated parcels, which can fluctuate between 210 and 490 tons/ha/year.

(1) Misión ORSTOM - Apartado 6596 CCI - Quito, Ecuador

(2) Departamento de Conservación de Suelos - MAG, Quito.

13 JUN 1994

39682
B

El PRONACOS, organismo encargado de la conservación, recuperación y fertilización de los suelos a nivel nacional no ha descartado, con justa razón, el aspecto cuantitativo de los fenómenos erosivos. Es evidente que un Programa Nacional de Conservación necesita bases científicas si se quiere evitar errores mayores que puedan tener consecuencias irremediables tanto desde el punto de vista humano como económico. Por éso, al estudio cualitativo efectuado en la Costa, en el Oriente y sobre todo en la Sierra en colaboración con el Programa Nacional de Regionalización Agraria, cuya finalidad fue la de realizar un diagnóstico general de los diferentes procesos de la erosión, se sumó un estudio más orientado hacia la cuantificación de estos fenómenos.

Una de las conclusiones más importantes del análisis cualitativo fue de recalcar el papel del hombre en la mayoría de los procesos erosivos y principalmente en el minifundio de la Sierra volcánica, ubicado generalmente sobre terrenos con fuertes pendientes. Sin embargo el hombre, como la naturaleza del suelo, la vegetación y el relieve, no es más que un factor condicionante de la degradación del suelo. Pero son las condiciones climáticas y entre ellas y sobre todo las precipitaciones atmosféricas, la causa fundamental de la erosión, tomando la palabra "fundamental" en su sentido propio. En efecto, las precipitaciones en sus acciones múltiples, impacto sobre el suelo y después escurrimiento, representan a la vez el factor destructor y el factor de transporte de las partículas de tierra. Por éso, sin duda alguna, la erosión hídrica es en el mundo, y más particularmente en el Ecuador, la forma más común y más peligrosa del fenómeno de degradación de los suelos. Es evidente que hay otros tipos de fenómenos erosivos, como la erosión eólica o la erosión hídrica por deslizamiento, pero generalmente, salvo casos particulares, son fenómenos mucho más localizados, aunque pueden ser a veces muy espectaculares.

Para emprender en el estudio de las relaciones entre la erosión hídrica y los diferentes factores condicionantes que la provocan, se escogió un cierto número de zonas en las cuales la problemática relacionada con la erosión era bastante angustiosa. En cada una de estas regiones ubicadas en la sierra volcánica, se instalaron una o varias parcelas experimentales.

1.- ¿Qué tipo de parcelas utilizar?

Se debe aclarar que nunca se pensó en hacer un estudio científico de carácter fundamental sobre las lluvias o el escurrimiento en sus relaciones con la erosión. Sin embargo, aunque se pueda encontrar en la literatura científica valiosos estudios sobre este tema, no hay que olvidar que las conclusiones y los resultados dados se aplican a regiones física y climáticamente bien definidas. Por ejemplo, los trabajos de Wischmeier fueron realizados en las llanuras de Norteamérica con metodologías y resultados adaptados a estas zonas o a zonas semejantes. Sería muy peligroso querer extrapolar estos resultados a otras zonas bastante diferentes. Deseábamos, ante todo, respetar las condiciones físicas de las zonas y las prácticas de cultivo de los campesinos. Las parcelas fueron instaladas en minifundios donde los problemas erosivos son muy agudos.

Hay que recalcar que esta instalación no fue siempre fácil por ser cada campo un capital de primera importancia para el pequeño agricultor, incluso cuando se trata de un área de solamente 50 m², más todavía porque, cuando fue posible, se pidió también un área de referencia sin cultivos.

Cada parcela tiene un área de 50 m², con un largo de 10,6 m, y está equipada con un pluviógrafo diario o semanal y con un tanque de 2 m³ para recolectar los sedimentos y el agua de escurrimiento. Es verdad que se puede discutir sobre la representatividad de parcelas de 50 m². La elección de esta área obedece a varias limitaciones prácticas y socio-económicas, por ejemplo, de la dificultad para conseguir del pequeño campesino un área de experimentación, como ya queda dicho. Físicamente se puede pensar que, en semejantes condiciones físico-climáticas, la erosión aumenta en el mismo sentido que el largo de la parcela. Por otra parte, la delimitación artificial de un área acarrea necesariamente perturbaciones en el escurrimiento. Nosotros pensamos que lo fundamental para un estudio a nivel regional o nacional es tener una herramienta de medidas homogénea para poder comparar los diferentes resultados.

Sabemos muy bien que los datos recolectados sobre una parcela de 50 m² serán diferentes de los resultados de una parcela de 1.000 m², los cuales no pueden ser extrapolados a una pequeña cuenca hidrográfica de unos kilómetros cuadrados, etc. Generalmente, la erosión específica (en toneladas/km², por ejemplo) para una zona físico-climática homogénea, disminuye cuando aumenta el área. Por éso se debe tener mucho cuidado en la extrapolación de los datos en proyectos específicos. Utilizar, por ejemplo, directamente los resultados de las mediciones hechas en pequeñas parcelas para calcular la sedimentación en grandes represas, representa un gran error, porque pueden sacarse conclusiones completamente fuera de la realidad.

La solución ideal para poder responder a las preocupaciones del conservacionista, sería hacer un estudio en áreas del mismo tamaño y de la misma forma que los campos de los campesinos. Por lo demás, ésta debe ser la metodología que ha de utilizarse en los proyectos pilotos que se llevarán a cabo en los próximos años. Será necesario instalar fosas de recolección, canales, vertederos, limnigrafos, pluviografos, etc. Queremos insistir, finalmente, sobre la importancia de los estudios puntuales en la calibración de los modelos matemáticos de escurrimiento. Es muy común la utilización de simuladores de lluvias de pequeña área, hasta de 1 m², incluso para el análisis de los fenómenos de erosión relacionados con las intensidades de la lluvia y el escurrimiento.

2.- Ubicación de las parcelas

Como se ha dicho anteriormente, todas las parcelas fueron instaladas en la sierra volcánica en zonas particularmente críticas.

Representan cinco casos diferentes:

- a.- Erosión por escurrimiento concentrado, localmente sobre un horizonte superficial limo-arcilloso de color negro y más generalizado sobre una cangagua (ceniza volcánica endurecida por un cemento calcáreo y silicoso).

Dos parcelas en la región de ALANGASI(1): una con cultivos de maíz sobre el horizonte negro con pendiente de 26% y otra donde predomina la cangagua, con una pendiente de 28%.

- b.- Así mismo erosión por escurrimiento concentrado que se desarrolla sobre un suelo areno-limoso a arenoso de textura fina y de una profundidad que varía de 60 a 80 cm; más abajo se encuentra la cangagua.

Dos parcelas en la zona de Ilaló(1) una igualmente con cultivos de maíz sobre el suelo arenoso y con pendiente de 33% y otra sobre una cangagua más granular y rica en carbonato de calcio que en Alangasí, con una pendiente de 27%.

- c y d.- Erosión por escurrimiento concentrado sobre suelos arenosos finos a gruesos, con presencia de numerosas piedras pómez.

— Una parcela ubicada en el área de la mitad del mundo, más precisamente en la entrada sur del pueblo de Calacalí, con una pendiente del 41% y sembrada de maíz, representativa de la situación erosiva sobre este tipo de suelo en el Callejón Interandino.

— Otra parcela sobre las altas tierras de la provincia de Cotopaxi en Zumbahua, para analizar este mismo proceso en el piso superior de la actividad agrícola en la Sierra (3.200 m de altura), con pendiente del 42% y sembrada de cebada.

- e.- Erosión relacionada con la actividad humana en relación con el uso excesivo del agua de riego. Para estos fines se instaló una parcela en la parte noreste de la cuenca de Quito, en Ascázubi, donde el suelo se caracteriza por un horizonte superficial limo-arcilloso a limoso de poco espesor sobre la cangagua, y con una pendiente del 21%.

Se puede observar que siempre se respetó la pendiente de las vertientes donde están instalados los campos.

3.- Metodología adoptada

No queremos insistir (2) mucho en los detalles de la metodología utilizada. Sin embargo, debemos recalcar en la necesidad de tener un personal muy dedicado y minucioso, tanto para las tareas

1 Estos 2 sitios se encuentran a una decena de Km. al sureste de Quito en la cuenca interandina propiamente dicha, llamado "El valle de los Chillos".

2 Para más detalles, referirse al estudio siguiente: G. de NONI - J.F. NOUVELOT - G. TRUJILLO: Metodología para el estudio cuantitativo de la erosión en parcelas de 50 m², PRONACOS-ORSTOM, Quito, 1982, 6p.

de campo y para las observaciones, medidas de laboratorio, depuraciones, como para los cálculos efectuados en el laboratorio.

La solución ideal sería, como veremos más adelante en la interpretación de los resultados, hacer recolecciones de los sedimentos después de cada lluvia significativa. Desgraciadamente, este trabajo esencialmente manual y fastidioso necesita bastante tiempo, porque se trata de vaciar los tanques recolectores del agua y de los sedimentos acumulados y medir los volúmenes respectivos.

Se envía después al laboratorio una muestra representativa de los sedimentos para calcular el peso seco correspondiente. A veces, es necesario tomar adicionalmente una muestra de los sedimentos en suspensión.

Por fin, hay que depurar los registros de los pluviógrafos para conocer no solamente las alturas pluviométricas sino también las intensidades de las lluvias.

4.- Resultados obtenidos

Las mediciones y las observaciones en las siete parcelas se iniciaron en diciembre de 1981. Hasta la fecha, la depuración completa de todos los datos ha sido concluida en dos de ellas: la parcela sin cultivo de ALANGASI y la parcela de maíz en ILALO.

Los cuadros números 1 y 2 son un resumen de todos los resultados obtenidos.

CUADRO N° 1
ALANGASI: Parcela N° 1

N°	Fecha recolección	le mm	P mm	h %	n	Pe mm	ls	lis	lso	leo	Ps kg.
1	22-12-81	36.4	67.9	53.6	4	11.8	53.8	53.8	53.8	31.4	101.2
2	14-01-82	37.1	(85)	(44)	11	9.5	25.2	25.2	18.0	12.0	40.2
3	8-02-82	8.0	(40)	(20)	8	14.1	19.9	19.9	18.2	11.6	6.1
4	5-03-82	8.1	66.5	12.1	18	(7)	26.0	26.0	18.4	10.4	12.3
5	17-03-82	38.1	(100)	(38)	8	(15)	81.8	81.8	81.8	47.0	238.8
6	23-03-82	37.4	49.1	76.2	9	7.0	84.0	59.2	33.7	18.3	71.6
7	24-03-82	15.5	23.5	70.0	1	0	88.0	88.0	39.0	19.8	15.0
8	5-04-82	29.2	67.0	43.6	9	12.0	80.4	39.5	16.0	8.1	51.6
9	12-04-82	22.3	41.1	54.3	2	3.2	17.7	17.7	12.2	6.3	6.5
	19-04-82	13.4			4						20.0
10	1-05-82	3.8	31.7	12.0	8	0	8.8	8.8 8.6	5.4	1.12	
	26-05-82	37.1			12		31.6	31.6	31.6	15.8	51.6
	1-06-82	37.2			3		17.4	16.0	10.6	7.4	17.7
11	15-06-82	26.7	27.2	(98.0)	1	0	53.7	53.7	53.7	40.7	52.4
12	25-06-82	15.2	27.7	54.9	2	0	47.8	47.8	47.8	25.0	47.7
13	21-09-82	38.3	112.6	34.0	18	23.9	42.9	42.9	42.9	29.0	91.6
	15-10-82										(57.0)
14	5-11-82	34.1	(145)	(23)	29	123.0	58.5	58.5	41.0	23.7	163.5
	24-11-82				9		51.8	51.8	35.5	22.3	20.5
	28-12-82	39.7			31		46.2	42.0	42.0	22.3	20.9
15	12-01-83	11.0	(40)	(28)	6	10.0	29.0	29.0	17.3	9.3	15.8
16	28-01-83	25.8	60.6	42.6	6	4.2	39.1	39.1	39.1	28.0	78.5
17	3-02-83	23.5	65.5	35.9	7	12.0	41.4	27.8	16.6	12.3	14.2
18	9-02-83	38.8	109.6	35.4	7	32.2	48.8	48.8	48.8	30.8	68.2
19	24-02-83	8.0	37.5	21.4	4	10.8	32.4	16.2	15.2	9.4	5.3
20	31-03-83	38.4	107.2	35.8	14	(40)	44.0	44.0	25.4	15.9	87.9
21	14-04-83	9.9	90.2	11.0	14	7.0	16.8	16.8	12.2	7.9	3.2
	27-04-83	36.4	69.0	52.8	14	18.0	36.4	36.4	21.4	20.5	(44)
22	6-05-83	33.4	46.3	72.1	9	8.3	36.4	36.4	28.2	21.5	25.6
23	31-05-83	38.4	116.0	33.1	14	(44)	54.0	25.2	23.3	23.3	84.1

Los valores entre paréntesis son solamente estimaciones.

Cuadro N° 2

ILALO: Parcela N° 2

N°	Fecha Recolección	le mm	P mm	Kr%	n	Pe mm	Is	I15	I30	I60	PS Kg
1*	29-12-81										
2	15-01-82	1.17	136.8	0.8	16	32.2	32.0	32.0	23.8	22.7	3.4
3	8-02-82	0.04	33.4	0.1	13	0	39.4	30.2	22.0	14.3	0.77
4	5-03-82				18	37.9	41.0	41.0	37.4	20.3	67.3
5	24-03-82	8.15	65.1	12.5	14	3.4	48.0	36.0	30.9	20.4	22.1
6	5-04-82	6.1	41.0	14.9	13	2.0	33.7	30.2	24.5	16.6	14.8
7	13-04-82	15.3	67.5	22.7	13	0	37.2	27.3	17.2	10.5	8.1
8	28-05-82	9.85	163.5	6.0	33	19.3	46.8	38.9	34.8	17.5	35.2
9	22-09-82	18.9	488.8	10.0	16	93.0	98.0	90.0	62.8	33.2	1.365.2
10	10-11-82	30.7	256.5	12.0	24	104.6	91.8	70.0	40.8	29.0	588.4
11	14-12-82	29.4	299.2	9.8	28	84.3	79.6	64.0	50.0	38.7	321.7
12	12-01-83	31.0	141.7	21.9	19	18.9	38.1	38.1	24.3	17.3	24.7
13	11-02-83	11.1	171.9	6.5	20	25.7	78.0	41.6	39.0	22.2	17.3
14	18-03-83	38.4	122.7	31.3	13	5.7	48.8	41.6	25.0	16.5	99.0
	31-03-83		104.2		6	9.0					73.4
15	15-04-83	39.8	121.8	31.8	20	12.2	57.1	56.5	37.7	23.8	72.2
16	27-04-83	0	15.6	0	9	0	13.2	8.0	7.0	4.5	0
17	31-05-83		136.6		34	16.3	36.8	26.6	19.8	17.2	103.9

* Se eliminó la muestra N° 1, por tener datos de campo incompletos.

Tenemos en las diferentes columnas:

- 1) Número del evento cuando se dispone de todos los datos.
- 2) Fecha de recolección.
- 3) Lámina escurrida, en mm: le.
- 4) Altura pluviométrica, en mm: P
- 5) Coeficiente de escurrimiento total, en %: $KT = le/P \times 100$
- 6) Número de lluvias observadas entre dos recolecciones: n
- 7) Altura pluviométrica erosiva residual, en mm: Pe
- 8) Intensidad máxima, en mm/h, en 5 minutos: (Is)
- 9) Intensidad máxima, en mm/h, en 15 minutos: (I15)
- 10) Intensidad máxima, en mm/h, en 30 minutos: (I30)
- 11) Intensidad máxima, en mm/h, en 60 minutos: (I60)
- 12) Peso de sedimentos, en Kg:Ps

Los valores entre paréntesis son simples estimaciones, más o menos precisas.

4.1.- Datos globales

Durante el año 1982, la erosión en ambas parcelas fue:

Para ALANGASI: 1.050 Kg por 50 m², o sea 210 T/ha/año o 21.000 T/Km²/año.



Parcela de escurrimiento de 50 m² de superficie.

Eso corresponde a una capa teórica de tierra perdida de 14 mm/año.

Coefficiente de escurrimiento: $K_r = 35\%$

Para ILALO: 2.400 Kg por 50 m², o sea 480 T/ha/año o 48.000 T/Km²/año.

Es decir, una capa teórica de tierra perdida de 33 mm/año.

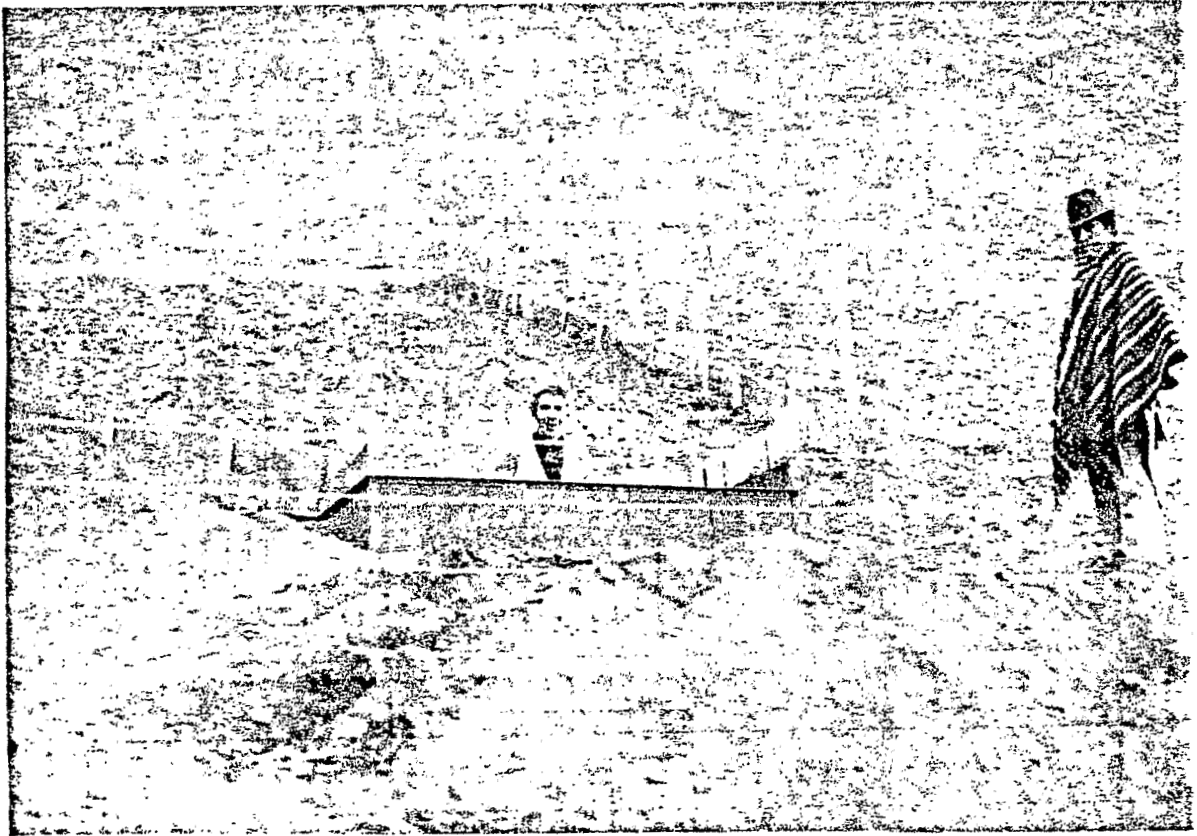
Coefficiente de escurrimiento: $K_r = 10.5\%$

Debemos considerar que en QUITO-Observatorio, la altura pluviométrica del año 1982 tiene una frecuencia de 0.03, es decir un período de retorno de 30 años. Sin embargo, es muy difícil relacionar la irregularidad inter-anual de la altura pluviométrica, con el gasto sólido anual, sabiendo que la erosión se halla más correlacionada con los picos de intensidades de lluvia que con las alturas pluviométricas totales. Así, tomando el período enero a mayo para los años 1982 y 1983 tenemos:

	1982	1983
ALANGASI	530 Kg	415 Kg
ILALO	350 Kg	155 Kg

Es decir que, comparando las dos estaciones, las variaciones del gasto sólido van en sentido contrario pues el total pluviométrico del mismo período tiene una frecuencia de 0.22 ($T = 4.6$ años) para el año 1982, y una frecuencia de 0.034 ($T = 29$ años) para el año 1983. Esto demuestra muy bien que no existe ninguna relación entre estas variables.

En cambio, generalmente, la erosión es más fuerte en la primera parte de los períodos lluviosos que en la segunda. La explicación de este fenómeno puede ser de varios tipos: diferencia a lo largo del año de la cohesión de la capa superficial del suelo, lluvias más intensas o vegetación menos densa según las épocas del año. Para verificar esta última hipótesis, habría que hacer un estudio estadístico de las máximas intensidades de lluvia durante el transcurso del año. Se trata de un trabajo bastante largo que necesitaría medios de procesamiento y de cálculo adecuados.



Tanque de recolección de 2m³, con sedimentos.

En el manejo del suelo por el campesino, es fundamental conocer estas épocas de mayor riesgo de erosión a fin de tomar eventualmente medidas adecuadas que traten de cambiar, si fuere necesario, ciertas malas costumbres.

4.2.- Estudio paramétrico

No se trata sino de un estudio por correlaciones múltiples cuya metodología es bien conocida. Sin embargo, para visualizar y sobre todo interpretar mejor los datos y los resultados obtenidos, se utilizó también el método llamado de "desviaciones residuales".

Este trabajo ha sido realizado para ambas parcelas, pero insistiremos a título de ejemplo, particularmente sobre los resultados y las conclusiones sacadas de la parcela, sembrada de maíz, en la región de ILALO.

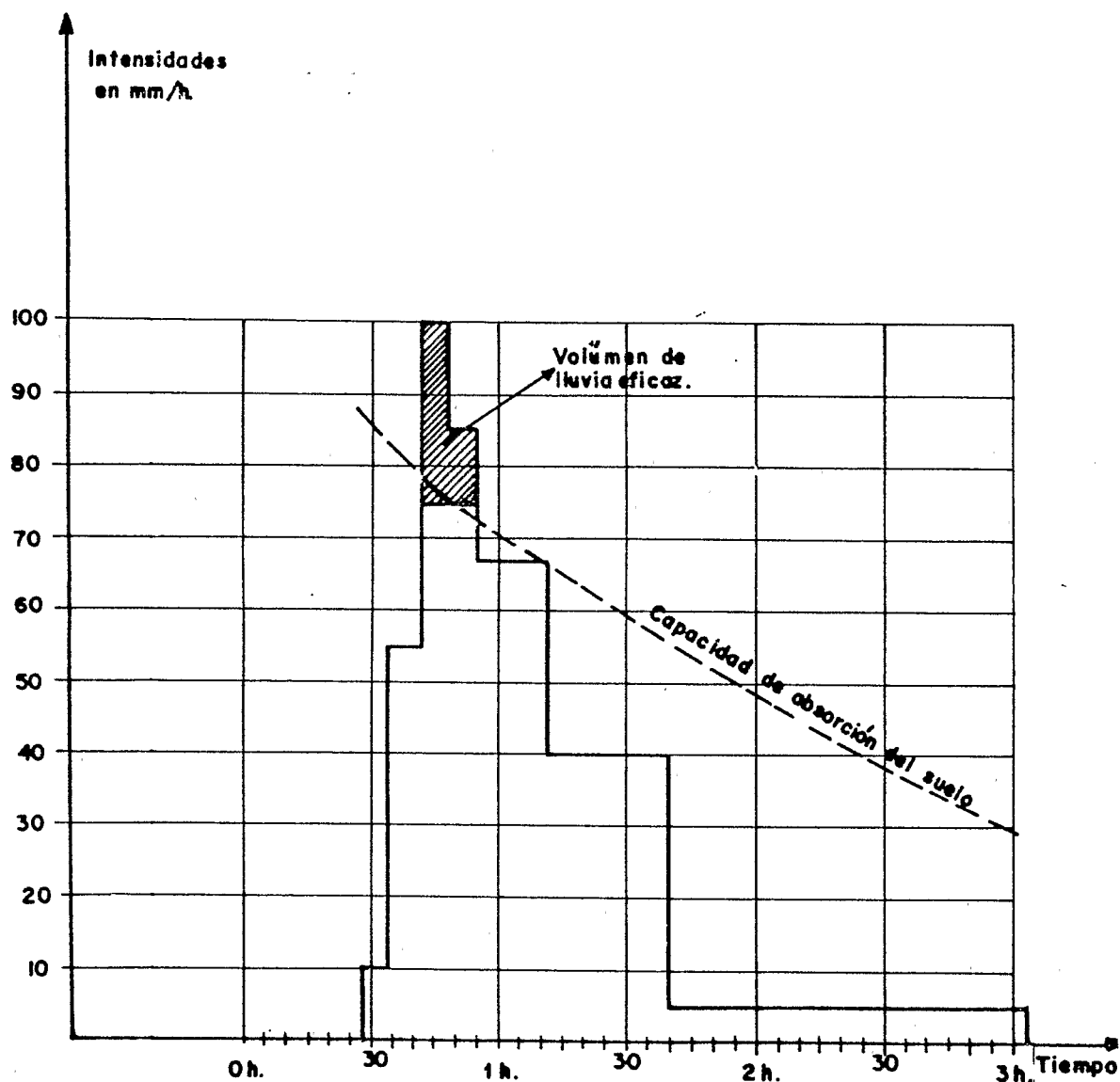
El mecanismo de la erosión del suelo en su superficie comprende dos fases:

- Una fase de acción de las precipitaciones,
- Una fase de acción del escurrimiento.

Ambas fases se hallan relacionadas muy estrechamente con las intensidades de las lluvias.

Es evidente que el impacto de las gotas sobre el suelo será, tanto más fuerte como la velocidad de caída y la cantidad de las mismas. Hay ecuaciones que permiten calcular el peso de tierra desplazado por el impacto de las lluvias durante cierto intervalo de tiempo; en ellas entran la velocidad de caída, el diámetro de las gotas y la intensidad de la precipitación. Entra también un factor que depende de la naturaleza del suelo. Los suelos de partículas sueltas como arena, por ejemplo, tienen poca cohesión; en cambio los suelos arcillosos tienen una muy buena cohesión y mejor resistencia a la erosión. Eso explica, por lo menos parcialmente, la diferencia de erosión que se observa entre ILALO y ALANGASI.

Gráfico No. 1
HIETOGRAMA



En cuanto al escurrimiento, son solamente los picos de intensidad los que lo provocan. En el gráfico N° 1 se muestra la parte sombreada con trazos: es la que puede ocasionar escurrimiento. Es la lluvia eficaz de los hidrólogos, es decir la lluvia que cae sobre la tierra con una intensidad superior a la capacidad de absorción del suelo. Evidentemente, esta capacidad depende de las condiciones iniciales de humedad del suelo al inicio de la precipitación. Va después disminuyendo durante todo el tiempo que se prolonga la lluvia, siguiendo una ecuación de la forma:

$$\log Ca = at + b$$

Siendo, Ca: la capacidad de absorción
t : el tiempo
a, b: constante de ajuste.

Tomando en cuenta estas condiciones, se escogió como primer factor explicativo del gasto sólido la intensidad máxima (Im) de las precipitaciones observadas entre dos recolecciones. Es evidente que el análisis sería mucho más fácil si se tuviera una recolección después de cada lluvia.

ILALO.

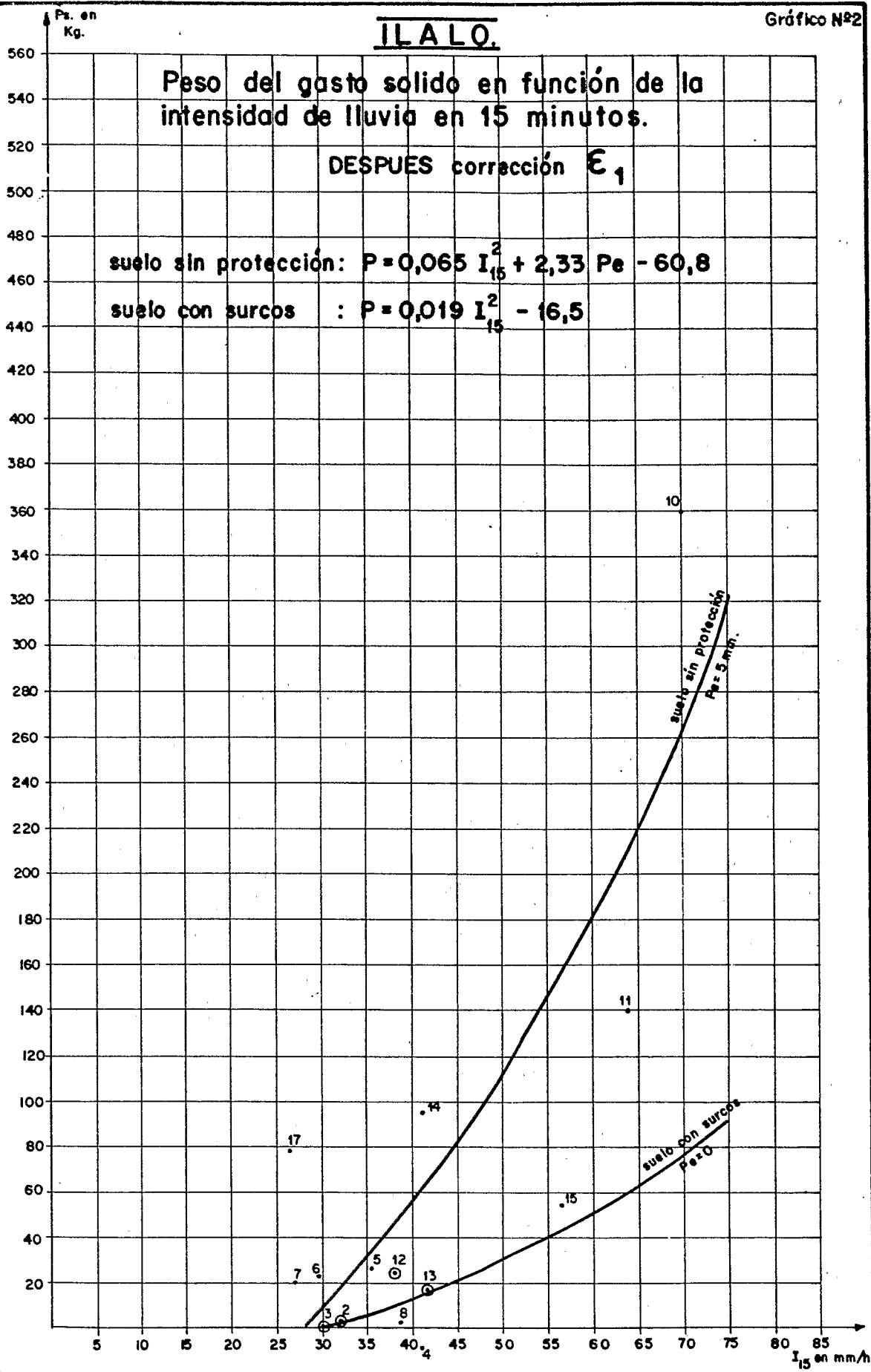
Gráfico N°2

Peso del gasto sólido en función de la intensidad de lluvia en 15 minutos.

DESPUES corrección ϵ_1

suelo sin protección: $P = 0,065 I_{15}^2 + 2,33 P_e - 60,8$

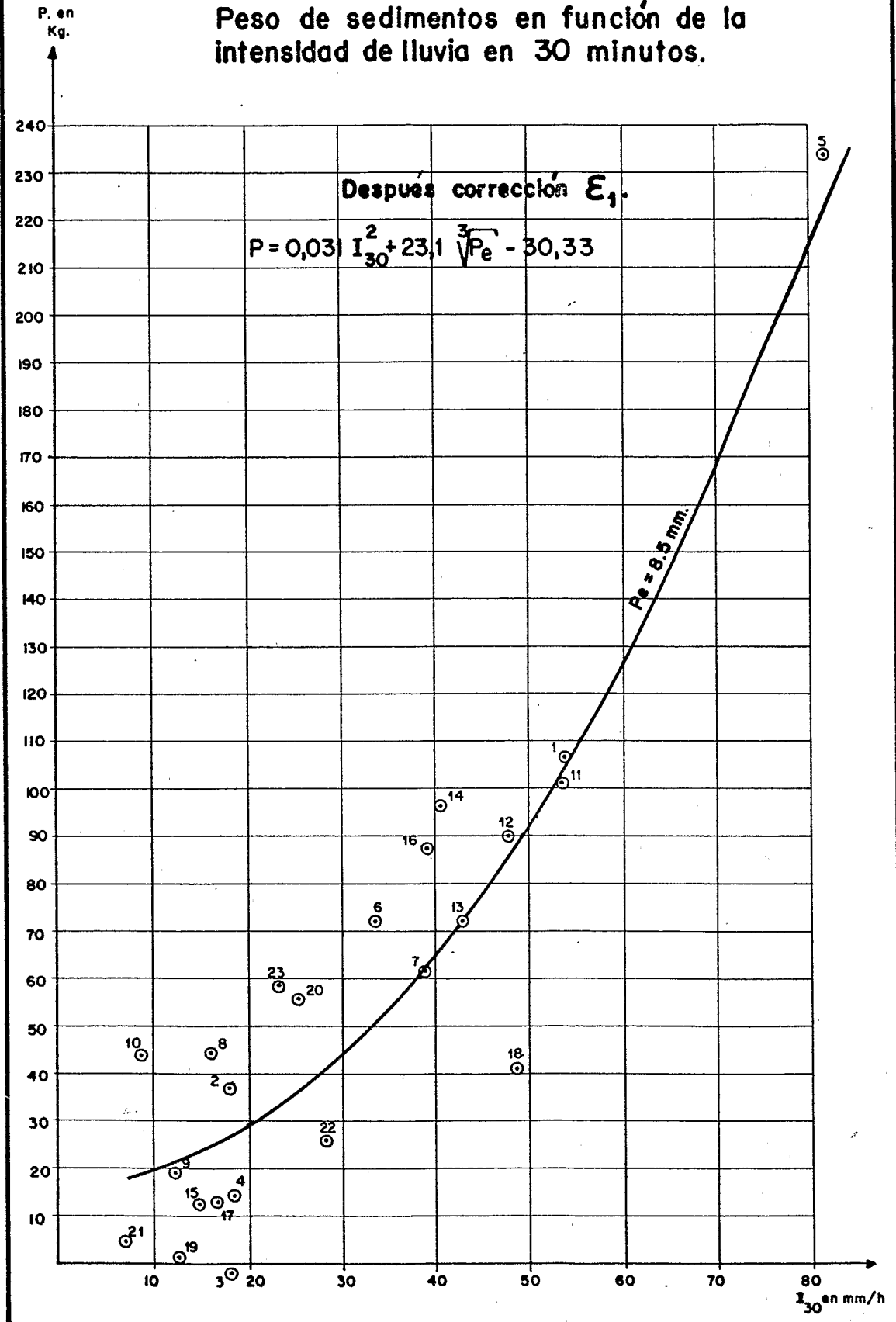
suelo con surcos : $P = 0,019 I_{15}^2 - 16,5$



ALANGASI.

Gráfico Nº3

Peso de sedimentos en función de la intensidad de lluvia en 30 minutos.



Como se puede ver en los cuadros números 1 y 2, tenemos generalmente entre dos recolecciones varias lluvias, hasta varias decenas de lluvias. Para paliar este inconveniente, fue necesario tomar un segundo factor explicativo que hemos llamado "lluvias erosivas residuales: P_e ". Se trata del total pluviométrico de todas las precipitaciones que cayeron entre dos recolecciones con una intensidad superior a cierto límite. Es decir, las lluvias cuya intensidad fue teóricamente apta para ocasionar erosión, sin tomar en cuenta la lluvia de mayor intensidad que ya entra como primera variable explicativa.

Se hicieron varias pruebas para escoger el I_m que proporciona el mejor ajuste. Para la parcela de ILALO, las intensidades máximas fueron en 15 minutos: I_{15} , mientras que para la parcela de ALANGASI se obtuvo un mejor coeficiente de correlación con I_{30} .

Esta diferencia proviene, probablemente, sólo del hecho de que en ILALO tenemos un pluviómetro diario con escala de tiempo de 16 mm/hora, mientras que en ALANGASI se utiliza un pluviómetro semanal con escala de tiempo de 2.25 mm/hora. Es decir, que este último aparato no permite determinar con mucha precisión las intensidades en intervalos de tiempo de 5 o 15 minutos.

Siendo los I_m diferentes para estas dos parcelas, se escogieron también para el cálculo de P_e , límites de intensidades diferentes: 10 mm/h para ALANGASI y 20 mm/h para ILALO.

Los gráficos números 2 y 3 muestran los datos observados $P_s = f(I_m)$ después de las correcciones (regresiones lineales (1):

— para ILALO: $\Delta P = 2.33 P_e - 11.5$

— para ALANGASI: $\Delta P = 23.1 \sqrt{P_e} - 47$

— Para la parcela de ILALO fue necesario dividir los datos en dos muestras:

- Una primera muestra representativa de la parcela de maíz trabajada con surcos y camellones (del 10 de diciembre de 1981 al 5 de marzo de 1982 y del 29 de noviembre de 1982 al 10 de marzo de 1983), nos dio:

$$P_s = 0.019 I_{15}^2 - 16,5 \quad (1)$$

con P_s en Kg y I_{15} en mm/hora.

- una segunda muestra representativa de la misma parcela de maíz sin ningún mantenimiento (la lluvia borró surcos y camellones, y el campesino no volvió a rehacerlos):

$$P_s = 0.065 I_{15}^2 + 3,33 P_e - 60.8 \quad (2)$$

con las mismas unidades que la ecuación anterior para P_s e I_{15} , siendo P_e calculada en mm. coeficiente de correlación: $R = 0.94$ con 10 valores.

Se puede así observar que con surcos la parcela tiene una erosión tres veces menor a la erosión que se puede medir cuando éstos han sido borrados por la lluvia.

De igual forma, el coeficiente de escurrimiento pasa de 3.5% a más del 13% cuando la protección del suelo desaparece.

En el gráfico N° 2 se puede ver que el evento N° 12, a pesar de pertenecer al muestreo N° 1 (parcela con surcos), se ubica en el límite inferior del muestreo N° 2. Esta es la consecuencia de que los surcos fueron abiertos por una lluvia de intensidad máxima de solamente 38 mm/h (I_{15}) si se considera que las más fuertes pueden alcanzar hasta 90 mm/h.

El mantenimiento de los campos por los campesinos parece, por lo tanto fundamental para su protección. Es aún más verdad si se considera que el maíz (cultivo tradicional de la zona) nunca da una buena cobertura vegetal sobre todo cuando las cañas están, como en las zonas estudiadas, muy distantes entre ellas.

Las ecuaciones propuestas permiten evaluar con una precisión satisfactoria (coeficiente de correlación múltiple: $R = 0.94$) el peso de sedimentos que podría llevar una precipitación de intensidad máxima definida de antemano (en este caso $P_e = 0$). Utilizando estas ecuaciones, se pudo evaluar el peso teórico de tierra erosionada entre el 28 de mayo y el 22 de septiembre de 1982. Se calculó un total de 1.397 Kg, cuando el valor calculado a partir de los datos de campo era 1.365 Kg. Se debe recalcar que este último valor no fue tomado en cuenta en el muestreo que sirvió a la elaboración de la fórmula (2). En efecto, en la segunda quincena de septiembre, se observaron tres veces, lluvias cuya intensidad máxima en 15 minutos alcanzó 90 mm/h. Fue necesario descartar estos eventos, absolutamente excepcionales, que cambiaban completamente el muestreo y consecuentemente los resultados.

Como hemos visto anteriormente, el año 1982-1983 ha sido pluviométricamente excepcional. Para saber lo que pasaría en un año promedio, sería necesario hacer un estudio estadístico de las intensidades superiores al límite de 20 mm/h escogido y ver cuántas veces por año se supera este valor para una frecuencia de 0.5. Para hacer este trabajo en buenas condiciones se necesitarían los datos de una estación pluviométrica de la red nacional, representativa de la zona estudiada, y el uso de una computadora.

— Para la parcela de ALANGASI tenemos una sola ecuación:

$$P_s = 0,031 I^2_{30} + 23,1 \sqrt{P_e} - 30,33$$

con $R = 0.94$ (muestreo de 23 valores).

Después de la corrección, (puntos N° 7, 11 y 12 del gráfico 3), se puede observar que estos puntos se ubican muy cerca de la curva representativa de la ecuación adoptada. Esta curva no necesita ninguna corrección, únicamente cuando $P_e = 8.5$ mm.

Una tentativa para incluir un segundo factor de corrección (tercera variable explicativa) nos dio resultados más satisfactorios. Se trataba de un índice de humedad del suelo de la forma:

$$I_h = P_a e^{-Kt}$$

Siendo: P_a , la altura pluviométrica de la precipitación anterior,

t , el tiempo, en días, separando la lluvia estudiada de la lluvia anterior,

K , un factor función de las características físico-edafológicas de la parcela.

Se escogió: $e^{-K} = 0.70$

No se utilizó este factor en el estudio de la parcela de ILALO porque hemos pensado que el manejo del suelo por el hombre cambiaba completamente las condiciones naturales y que ajustar en este caso un índice de humedad del suelo completamente empírico, no tenía sentido.

4.3.- Primeras conclusiones del estudio

A pesar de tener datos incompletos y resultados parciales, pensamos que pueden sacarse conclusiones importantes:

- 1.- Son solamente los picos de intensidades en intervalos de tiempos relativamente cortos los que provocan la erosión por escurrimiento. Se debe buscar la mejor protección posible, sea con una cobertura vegetal, sea con un manejo adecuado del suelo.
- 2.- A lo largo de su vida, el campesino, en los minifundios estudiados, puede ver desaparecer o por lo menos desplazarse, un espesor de suelo de un metro más o menos.
- 3.- El manejo del suelo por el hombre tiene un papel fundamental. Los surcos tienen que ser hechos con cuidado al inicio de la época lluviosa y bien mantenidos. Además, en las zonas secas, es un medio para guardar la humedad. En regiones más lluviosas se podría poner la semilla más sobre la loma del camellón.

En la zona estudiada se pudo comprobar que las cañas estaban muy distantes; además, durante



el crecimiento de la planta, el campesino corta ciertas hojas, lo cual disminuye todavía más la protección que ya naturalmente no es muy buena. Después de la cosecha, las cañas son cortadas y sirven de alimento para los animales, dejando una vez más el suelo sin protección. Dejar por lo menos una parte de los residuos vegetales sería, tal vez, una buena medida.

- 4.- Los resultados obtenidos permiten no solamente calcular el gasto sólido para zonas físico-climáticas y prácticas agrícolas bien definidas, sino también conocer los volúmenes de agua escurrida. Estos últimos datos podrían servir, si fuera necesario, para el cálculo de canales de drenaje.
- 5.- Una vez depurados todos los datos disponibles de las diferentes parcelas, será posible emprender un trabajo de síntesis en el que la pendiente, las características del suelo y la cobertura vegetal entrarán igualmente como variables explicativas del fenómeno de erosión. Será posible, entonces, proponer otras recomendaciones a base de un modelo de erosión más amplio.

BIBLIOGRAFIA

- G. DE NONI, J. F. NOUVELOT: Los principales procesos erosivos en Ecuador. Seminario PRONACOS-UNESCO, Quito, 1983, 11 p.
- G. DE NONI, J. F. NOUVELOT, G. TRUJILLO: Estudio cuantitativo de la erosión con fines de protección de los suelos: las parcelas de Alangasí e Ilaló. Seminario PRONACOS-UNESCO, Quito, 1983, 7 gráficos, 16 p.
- F. FOURNIER: Climat et érosion. Les relations entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques, Paris, P.U.R., 1960, 201 p.
- F. FOURNIER: Conservation des sols. Conseil de l'Europe, 1972, 206 p.
- E. ROOSE: Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Paris, ORSTOM 1977, 108 p.
- E. ROOSE: Dynamique actuelle des sols ferrollitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Paris, ORSTOM, 1981, 569 p.
- W.H. WISCHMEIER, D SMITH: Predicting rainfall conservation planning. Washinton, 1981, 51 p.