

An. Aula Dei 19(3-4):335-343.

Una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos calcáreos y yesíferos

Por A. NAVAS

Estación Experimental de Aula Dei, ZARAGOZA

Recibido: 21-III-1989

Palabras clave: Metodología experimental, Solutos, Sedimentos, Escorrentía, Suelos yesíferos, Suelos calcáreos, Lluvia simulada.

ABSTRACT

Navas, A. 1989. An experimental methodology to study solute and sediment transport by runoff on calcareous and gypsiferous soils. An. Aula Dei 19(3-4):335-343.

The present paper proposes an experimental methodology to study solute and sediment transport by runoff. As starting point, the selection of factors with largest effect on the process is required. Application of simulated rainfall on 1.25 x 1.25 m plots lasts for 15 minutes. To determine the effect of edaphic and biotic factors, a sequence of experiments is carried out on each plot. Determination of hydrochemical and sedimentological parameters in runoff samples provides reliable results to analyse generation of solutes and sediments from calcareous and gypsiferous soils incorporated to runoff.

INTRODUCCION

El estudio en campo de aspectos del comportamiento de la escorrentía superficial en el transporte de solutos y sedimentos bajo lluvias naturales, presenta la dificultad de su análisis debido al gran número de factores que simultáneamente intervienen en el proceso. Entre los que hacen referencia a las características del terreno se pueden ennumerar los siguientes: compactación del suelo, cobertura vegetal, disposición estructural y tectonización de los materiales, pendiente del terreno, microtopografía y longitud, tipo de suelo, textura y estructura, la existencia de anisotropía y el estado de humedad inicial. En el otro grupo de

factores que definen las características de las precipitaciones destacan, fundamentalmente, su intensidad y duración, así como la turbidez, conductividad, temperatura y pH del agua de lluvia.

En condiciones naturales y en el ámbito climático de la depresión media del Ebro, el primer problema que se plantea es la propia ocurrencia de la lluvia y el momento adecuado de su aparición. Si a ello añadimos la posibilidad de seleccionar el emplazamiento más idóneo para realizar el estudio, y el poder actuar experimentalmente sobre los factores que intervienen en el proceso, ya sea suprimiendo aquellos cuyos efectos se interfieren, o lo que es mejor aún, fijándolos según nuestro interés, se comprenderá la utilidad del estudio en parcelas experimentales sometidas a lluvia simulada.

El objetivo del presente trabajo es la elaboración de una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre parcelas de pequeño tamaño (1.25x1.25 m) de suelos yesíferos y calcáreos, utilizando técnicas de simulación de lluvia (NAVAS, 1988).

Esta metodología se desarrolla en varias fases que incluyen la caracterización de la parcela experimental, las series de experimentación y la determinación de parámetros hidroquímicos y sedimentológicos en las aguas de escorrentía (Figura 1).

Caracterización de la parcela experimental

El procedimiento seguido para la caracterización de la parcela experimental es el siguiente:

- 1) Selección del tipo de suelo y de los niveles de variabilidad de los factores a estudiar.
- 2) Descripción morfológica de la parcela.
- 3) Cuantificación de la pendiente (p), rocosidad (R) y cobertura vegetal (V). La pendiente se determina con clinómetro, y en caso de existir variaciones locales de la misma se promedian los valores obtenidos. Para la cuantificación de la rocosidad se marcan las piedras y rocas expuestas en superficie sobre una lámina de plástico transparente que cubre la superficie de la parcela. El porcentaje de rocosidad se determina por recorte y pesada de las superficies correspondientes. La cuantificación del porcentaje de cobertura vegetal se realiza por medida directa.

Series de experimentación en cada parcela

Las intensidades de lluvia simulada a aplicar sobre las parcelas son de 48 y 58 mm/h. Estos valores han sido seleccionados por ser representativos de las precipitaciones máximas de 15 minutos de duración, con un período de retorno de 10 años y una probabilidad de ocurrencia del 90 %, correspondientes a episodios tormentosos producidos en la depresión media del Ebro.

En cada parcela el primer experimento se realiza sobre suelo seco y con intensidad de precipitación de 48 mm/h (SCV). Se prosigue la simulación (manteniendo constantes las demás condiciones experimentales) con alternancia de intensidades de precipitación de 58 y 48 mm/h -por este orden- para las condiciones sucesivas de suelo húmedo con vegetación (HCV) y sin vegetación (HSV). En las parcelas que presentan en superficie un cubrimiento homogéneo de líquenes, y tras su supresión y lavado superficial, se realizan dos ensayos más (HSL).

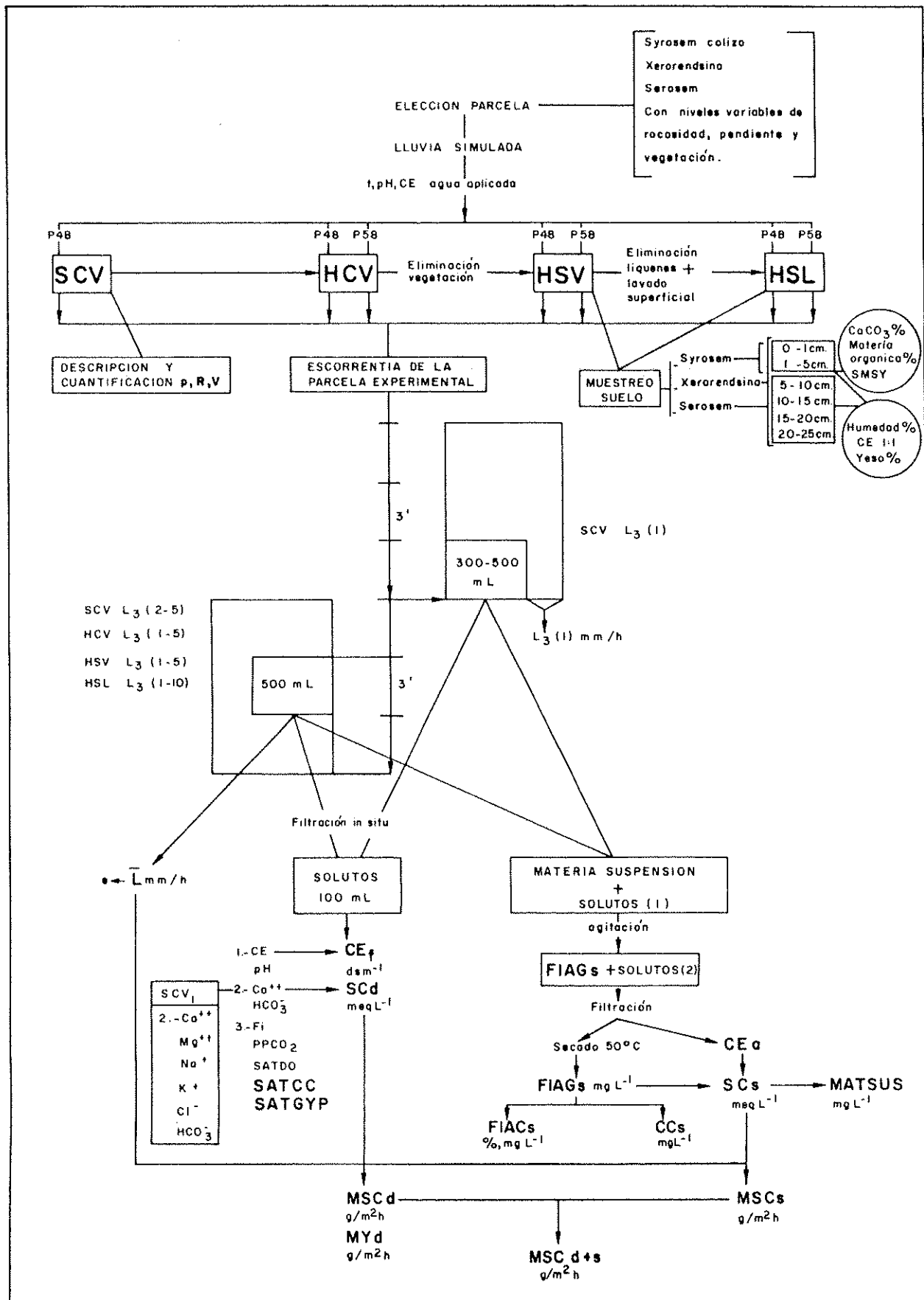


Figura 1.- Metodología para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por la escorrentía superficial sobre suelos yesíferos y calcáreos.

La aplicación de lluvia simulada, con una distribución homogénea sobre la superficie de la parcela, se prolonga durante 15 minutos. Este período de tiempo se ha seleccionado de acuerdo a la duración media de los acontecimientos tormentosos de similar intensidad en el área, y también según lo propuesto por MEYER (1965), BRYAN (1968) y PONCE (1975) sobre el tiempo de experimentación con lluvias simuladas para el estudio de procesos similares. Además, se han considerado otras razones tales como minimizar el consumo de agua y poder completar las series de experimentación sobre cada parcela en una misma jornada, con objeto de evitar otras causas de variación que podrían invalidar la experimentación. En parcelas HSL el tiempo de aplicación de lluvia simulada es de 30 minutos. El intervalo entre experimentos es de 10 minutos.

Se utiliza agua desionizada y al inicio del experimento se mide la temperatura, pH y conductividad eléctrica (CE) del agua aplicada.

La distribución de toma de muestras y medida de la escorrentía se realiza a intervalos de 3 minutos, lo que totaliza 5 muestras por ensayo (10 en parcelas HSL) con un volumen de 500 mL. La muestra correspondiente al minuto mitad del intervalo se reserva para las determinaciones analíticas de parámetros químicos y sedimentológicos. En parcelas SCV, la primera muestra de cada experimento recoge el agua de escorrentía desde su inicio, en razón de la existencia de un pico de máxima salinidad (PONCE, 1975).

A continuación, se procede al filtrado in situ de 100 mL de cada una de las muestras. El volumen restante se reserva para el control del material transportado en suspensión. Al final de cada ensayo se controla el volumen total de agua aplicado.

Finalizadas las series de experimentación en cada parcela, se muestrea el suelo. Puesto que la generación de solutos y sedimentos es un fenómeno superficial, se recomienda muestrear el primer centímetro cada 2 mm, para proseguir a intervalos de cinco centímetros, hasta los 25 cm de profundidad.

En las muestras de suelos se realizan las siguientes determinaciones: CE (1:1) (dSm^{-1}), porcentaje de humedad (50°C) y porcentaje de yeso. Sobre los dos primeros horizontes muestreados (0-1, 1-5 cm de profundidad) se determinan los porcentajes de carbonato cálcico y materia orgánica y la CE (1:1) en cuatro lavados sucesivos, para determinar semicuantitativamente la existencia de otras sales más solubles que el yeso (SMSY)

Para establecer la relación entre los componentes de la matriz del suelo y los solutos y sedimentos transportados por la escorrentía, se determinan: a) el índice yeso/carbonato en suelos $[I(Y/CC)]$, que es el cociente entre el porcentaje de yeso y el de carbonato cálcico, y b) el porcentaje de la fracción insoluble en ácido, que representa el porcentaje de material insoluble (silicatos y materia orgánica) en suelos, y se deriva de la ecuación:

$$\%FIAC = 100 - (\% \text{ yeso} + \% \text{ carbonato cálcico})$$

En la escorrentía se determinan los parámetros hidrológicos, químicos y sedimentológicos que se definen a continuación.

Parámetros hidrológicos

Escorrentía (L). Es el agua que circula sobre la superficie

de la parcela. Se expresa en mm/h. En cada ensayo se controla el momento de su aparición. Su determinación se realiza en cada intervalo de tres minutos (L3) y al finalizar la experimentación se registra el volumen total de escorrentía recogido.

Coefficiente de escorrentía (e). Es el porcentaje de precipitación que aparece como escorrentía. Su estimación requiere la medida del volumen de agua aplicado, cuya distribución durante el experimento es aproximadamente constante.

Parámetros químicos

En las aguas de escorrentía filtradas en el campo, se determinan la CE (CEf, dSm^{-1}) como expresión de su concentración salina, el pH, $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- y Ca^{++} . Únicamente en la primera muestra de los experimentos realizados en parcelas SCV, se analizan los cationes y aniones mayoritarios (expresados en meqL^{-1}). Su determinación en todas las muestras se hace necesaria si en los suelos estudiados existen sales más solubles que el yeso.

El Ca^{++} procede de la disolución de caliza y yeso. En el caso de que los bicarbonatos presenten una concentración inferior al 1% del Ca^{++} determinado, este valor de calcio representa la concentración de sulfato cálcico transportado en disolución (SCd).

Masa de sulfato cálcico transportada en disolución (MSCd). Se estima a partir de la concentración de SCd en gL^{-1} multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en $\text{g/m}^2\text{h}$.

Masa de yeso transportada en disolución (MYd). Se estima a partir de la concentración de SCd, transformada en yeso (gL^{-1}) y multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en $\text{g/m}^2\text{h}$.

Parámetros sedimentológicos

En las muestras de escorrentía no filtradas en el campo se realizan las siguientes determinaciones:

CE agitada (CEa). Su determinación se realiza tras agitar las muestras durante tres horas (agitador de cuna) para provocar la total disolución del yeso particulado que contengan. Se expresa en dSm^{-1} .

Sulfato cálcico en suspensión (SCs). Expresa la concentración de CaSO_4 (meqL^{-1}) transportado en suspensión. Su determinación se realiza a partir de la diferencia de los valores de CEa y CEf. La sustitución de este valor en la relación CE - Ca^{++} para soluciones con una sola sal soluble, representa la concentración de sulfato cálcico (SCs) (meqL^{-1}) que ha sido transportado en suspensión y que se ha disuelto durante la agitación.

Yeso en suspensión (Ys). Es la concentración de yeso transportado en suspensión. Se estima a partir de la concentración de SCs, transformada en yeso y se expresa en mgL^{-1} .

Masa de sulfato cálcico transportada en suspensión (MSCs). Se estima a partir de la concentración de SCs en gL^{-1} multiplicada por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en $\text{g/m}^2\text{h}$.

Masa de sulfato cálcico transportada en disolución y suspensión (MSCd+s). Para su estimación se suman las concentraciones de SCd y SCs (gL^{-1}) y se multiplica por la escorrentía (L, mm/h). Se expresa en $\text{g/m}^2\text{h}$.

Materia transportada en suspensión (MATSUS). Se determina por pesada del residuo seco (50 °C) filtrado. A esta cantidad se le suma la concentración de yeso (mgL^{-1}) transportado en suspensión.

Se expresa en mgL^{-1} .

Carbonato cálcico en suspensión (CCs). Es la cantidad de carbonato cálcico transportado en suspensión. Se determina por calimetría y se expresa en mgL^{-1} .

Concentración de la fracción insoluble en agua transportada en suspensión (FIAGs). Es la diferencia entre la concentración de la materia en suspensión menos la de yeso en suspensión, que es equivalente a la suma de la fracción insoluble en ácido más la concentración de CCs. Se expresa en mgL^{-1} .

Concentración de la fracción insoluble en ácido transportada en suspensión (FIACs). Se deriva de la ecuación $\text{FIACs} = \text{MATSUS} - (\text{Ys} + \text{CCs})$. Representa el contenido de material insoluble en ácido (silicatos, materia orgánica). Se expresa en mgL^{-1} .

Porcentaje de la fracción insoluble en ácido transportada en suspensión (%FIACs). Representa el porcentaje de material insoluble en ácido transportado en suspensión. Se deriva de la ecuación: $\% \text{FIACs} = 100 - (\% \text{Ys} + \% \text{CCs})$.

RESULTADOS

Como revela el análisis de hidroquimogramas de algunos cursos fluviales, en las primeras fases de la escorrentía se produce un mayor aporte de sales. Ahora bien, el proceso de escorrentía presenta una clara tendencia a la rápida estabilización de los valores de salinidad y de escorrentía, como así se ha confirmado mediante los experimentos de larga duración planteados en Syrosems y en Serosems (sin cubierta de líquenes), que suponen una situación de máxima agresión y en la que los citados valores deberían tardar más tiempo en estabilizarse.

En Syrosems, el experimento se prolongó durante 24 minutos en los que se recogieron 8 muestras espaciadas cada tres minutos. En Serosems se tomaron 10 muestras tras 30 minutos de aplicación de lluvia simulada. Los valores de CEf (dSm^{-1}) y de escorrentía (L , mLs^{-1}) producidos se presentan en el Cuadro 1.

Esta rápida tendencia a la estabilización de valores viene avalada por la evolución de la escorrentía y de las concentraciones de calcio observada en parcelas HSV de Xerorendsinas (Figura 2). A lo largo de la experimentación, los valores de la concentración de Ca^{++} tienden a estabilizarse y evolucionan inversamente a la producción de escorrentía superficial. Una tendencia similar se observa en parcelas en estado seco y con vegetación de distintos tipos de suelos yesíferos (Figura 3).

Respecto a la expresión de los resultados de cada experimento, de las alternativas que se ofrecían, ya sea la estimación de la media aritmética de las cinco muestras, con lo que los valores así obtenidos se referirían al episodio tormentoso de 15 minutos de duración, o bien la consideración de la media aritmética de los valores de las cuatro últimas muestras, como expresión de una situación de equilibrio, se optó por esta última.

No obstante, para algunas variables como la materia en suspensión, el sulfato cálcico y el carbonato cálcico transportados en suspensión, quizás cuatro determinaciones sean insuficientes para representar un buen valor medio, ya que son parámetros de más alta variabilidad.

Cuadro 1.- Valores de Cef (dSm^{-1}) y de escorrentía L (mLs^{-1}) en Syrosems y Serosems.

| SYROSEMS (16%) | | SEROSEMS (8%) | |
|----------------|-------|---------------|-------|
| Cef | L | Cef | L |
| 1.15 | 3.89 | 1.38 | 9.50 |
| 1.10 | 13.89 | 1.55 | 14.56 |
| 1.19 | 11.67 | 1.56 | 14.44 |
| 1.23 | 11.11 | 1.54 | 14.56 |
| 1.16 | 14.44 | 1.57 | 14.17 |
| 1.11 | 11.11 | 1.53 | 14.72 |
| 1.08 | 10.00 | 1.50 | 13.89 |
| 1.13 | 12.78 | 1.49 | 13.89 |
| - | - | 1.50 | 14.72 |
| - | - | 1.50 | 13.06 |

RESUMEN

En este trabajo, se presenta una metodología experimental para el estudio del transporte de solutos y sedimentos por las escorrentías superficiales.

Sobre parcelas de 1.25 x 1.25 m, y tras la selección de los niveles de variabilidad de los factores de mayor incidencia en el proceso, la aplicación de lluvia simulada durante 15 minutos y la determinación de parámetros hidroquímicos y sedimentológicos en las aguas de escorrentía, para los sucesivos ensayos en cada parcela, suministra resultados fiables del comportamiento de los suelos yesíferos y calcáreos en la generación de solutos y sedimentos incorporados a la escorrentía superficial.

REFERENCIAS

- Bryan, R. 1968. Development of laboratory instrumentation for the study of soil erodibility. *Earth Science Journal* 2:38- 50.
- Kempe, S. 1975. A computer program for hydrochemical problems in karstic water. *Ann. Speleol.* 30:699-702.
- Meyer, L.D. 1965. Symposium on simulation of rainfall for soil erosion research. *Trans. ASAE.* 8: 63-65.

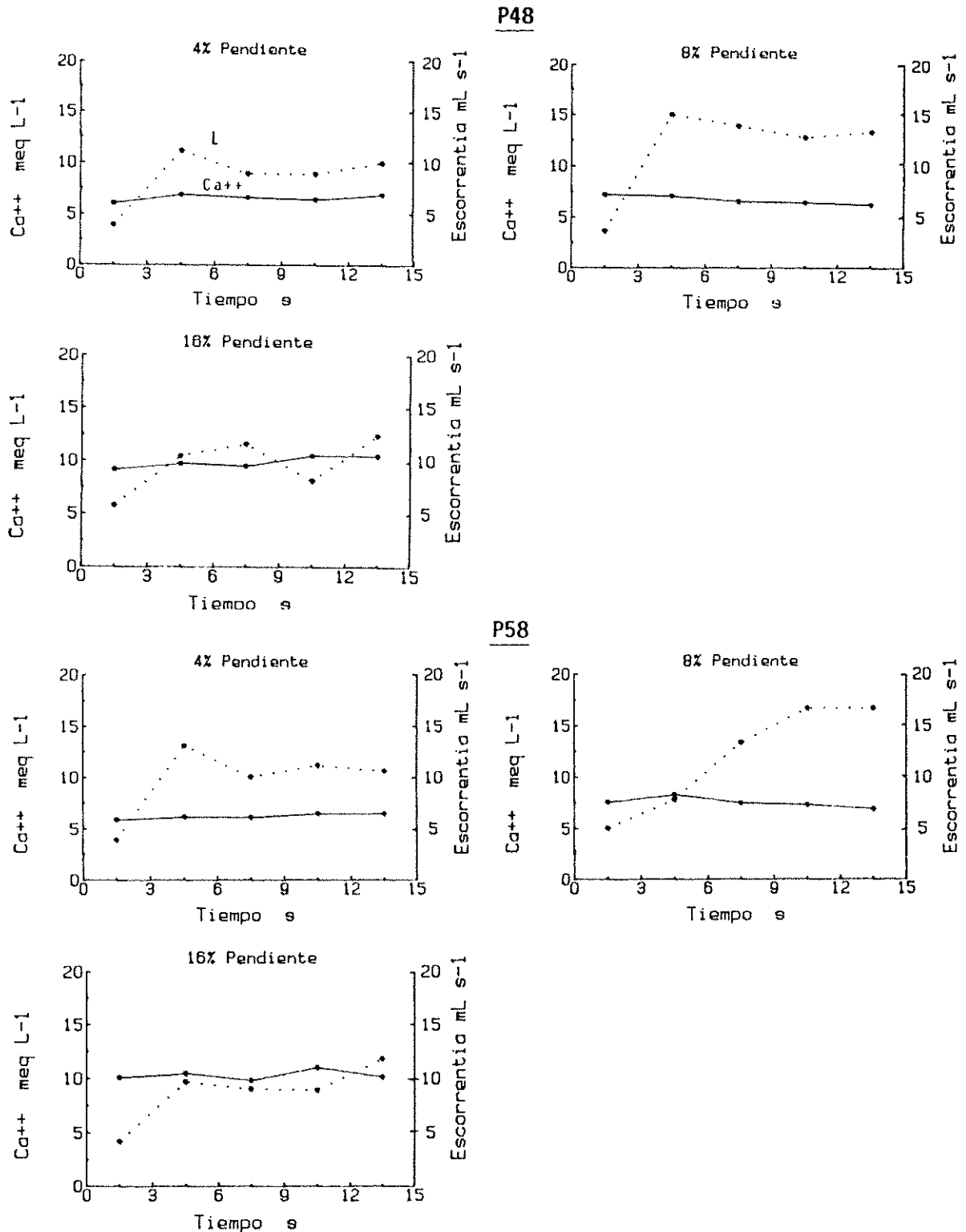


Figura 2.- Evolución en el tiempo de la concentración de calcio y de la escorrentía en parcelas HSV de Xerorendsinas diferenciadas por pendiente e intensidad de precipitación.

Navas, A. 1988. La participación de los yesos en la salinización de las aguas superficiales de la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral. Fac. Ciencias. Universidad de Zaragoza. 466pp.
 Ponce, S.L. 1975. Examination of non-point source loading function for the Mancos Shale Wildlands of the Price River Basin, Utah. University Microfilms International. W-4-206.

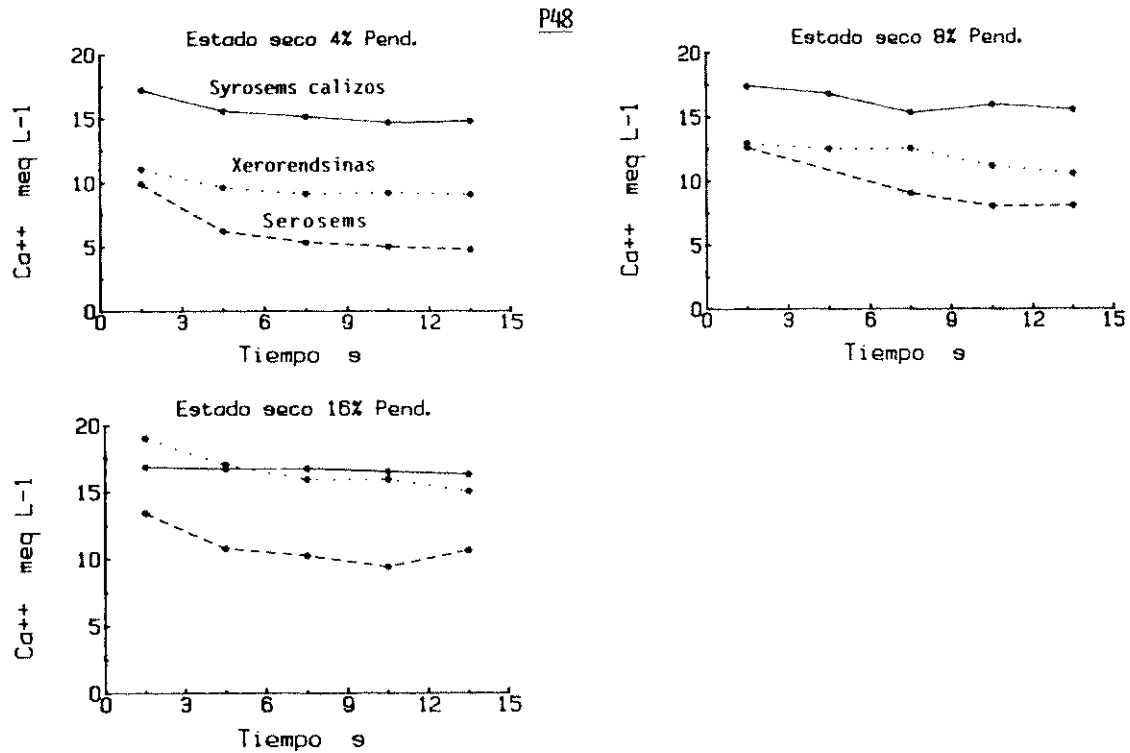


Figura 3.- Evolución en el tiempo de la concentración de calcio en parcelas en estado seco y con vegetación (SCV) de suelos yesíferos agrupados por pendientes.