

IMPLEMENTACIÓN DE UNA CUENCA EXPERIMENTAL EN LA PROVINCIA DE LUGO PARA EL ESTUDIO DE LA ESCORRENTÍA Y DE LA EROSIÓN

Jorge Dafonte Dafonte, Xan Xosé Neira Seijo & Monserrat Valcarcel Armesto

Dpto. Enxeñaría Agroforestal. Escola Politécnica Superior. Univ. Santiago de Compostela. Campus Universitario. 27002 LUGO

RESUMEN

Fue instalada una cuenca experimental en el ayuntamiento de Taboada (Lugo) de 19.75 ha, para el estudio de los procesos de escorrentía y de erosión, la pendiente media es de un 22.1%, y los usos principales de la misma son pradera, matorral y superficie arbolada. Para la medida de la escorrentía se utilizaron dos canales aforadores de módulo de estrechamiento largo colocados en serie, y para la medida de la cantidad de sedimentos en suspensión un toma-muestras automático. Para la utilización con modelos de simulación se elaboraron el modelo de elevación digital, el mapa de la red de drenaje y el mapa de usos del suelo.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta fechas recientes la ecuación universal de pérdidas de suelo USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978), ha sido ampliamente utilizada como modelo de erosión a escala de cuenca. Desde entonces ha surgido una nueva generación de modelos de escorrentía y de erosión distribuidos y de base física, como AGNPS (YOUNG et al., 1994), LISEM (DE ROO et al., 1998), MIKE-SHE (REFSGAARD,

1997), TOPMODEL (BEVEN et al., 1985), ANSWERS (BEASLEY & HUGGINS, 1991), EUROSEM (QUINTON et al., 1997), KINEROS (WOOLHISER et al., 1990), WEPP (NEARING et al., 1990), que necesitan validarse en diferentes condiciones de uso del suelo, para lo cual es necesario disponer de datos de una cuenca experimental debidamente equipada para la medida de la escorrentía y de la erosión transportada por la misma fuera de la cuenca, por otra parte también existe una tendencia a integrar estos modelos de simulación de escorrentía y erosión con Sistemas de Información Geográfica (SIG), como AGNPS, LISEM, MIKE-SHE. TOPMODEL, ANSWERS, lo cual significa como mínimo disponer de un modelo de elevación digital y un mapa de uso del suelo.

2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

- Geología y suelos

El material geológico de partida de la cuenca pertenece al dominio esquistoso de Galicia Central y Occidental, concretamente son esquistos micáceos grafiticos con niveles de ampolitas y luditas del Precámbrico Silúrico (IGME, 1992). Los grupos de suelos predo-

minantes clasificados de acuerdo con FAO-ISRIC (1994) son Leptosoles en las zonas más altas y de mayor pendiente, existiendo en algunas zonas afloramientos rocosos y en las zonas de vaguada Umbrisoles y Cambisoles, estos últimos con menor presencia, también se aprecia la existencia de Gleysoles causados por condiciones de hidromorfía temporal en la zona más baja de la cuenca próxima a la instalación de aforo.

- Clima

Según CARBALLEIRA et al. (1982), esta zona tiene una pluviometría y termometría intermedia entre las características oceánicas hacia la mediterraneidad o hacia la alta montaña, asignándole un valor de precipitación media anual entre 1100-1300 mm y una temperatura media anual de 10-11°C.

3. EQUIPAMIENTO

- Equipamiento meteorológico

Consta de un pluviógrafo y una estación meteorológica, cuyas posiciones se muestran en la figura 1.

* Pluviógrafo

Es un pluviógrafo de balancín ARG100 de Environmental Measurement LTD, con una calibración de 0.199 mm por balanceo, conectada a una adquisición de datos con una entrada digital. Los datos de lluvia son recogidos en intervalos de 30 segundos. Al lado del pluviógrafo se encuentra un pluviómetro para el contraste de los datos registrados en el pluviógrafo, o para el caso de un fallo en el sistema de registro de datos.

* Estación Meteorológica

La estación meteorológica es el modelo "MINIMET" de Skye Instruments, consta de una sonda de temperatura, de humedad relativa, anemómetro, veleta, sensor de radiación neta y pluviógrafo (0.2 mm de precisión), todos estos sensores están conectados a una adquisición de datos, con 6 entradas analógicas y 1 digital. Los datos almacenados son la

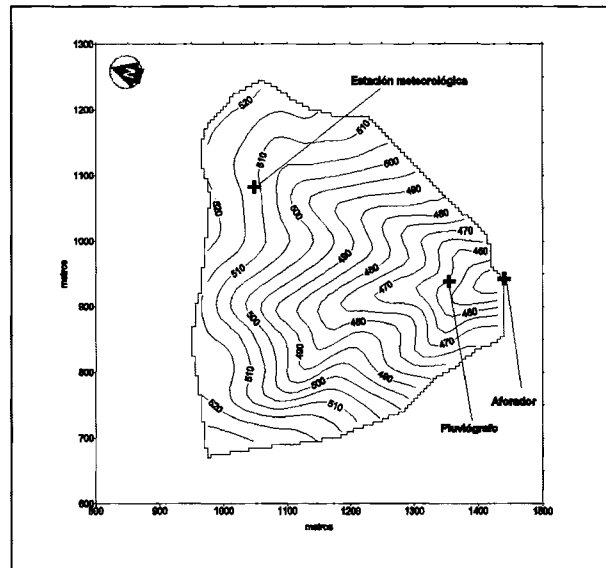


Figura 1.- Situación de la instrumentación en la cuenca

media de las lecturas cada 10 segundos durante un período de 20 minutos, excepto en el caso de la veleta donde son medidas puntuales cada 20 minutos y en el del pluviógrafo que son medidas cada 30 segundos.

* Equipamiento para aforo de caudales y toma de muestras

Para el aforo de caudales se utilizaron, dos canales aforadores de estrechamiento largo fabricados en fibra de vidrio, su disposición y dimensiones aparecen en la figura 5. El primero que denominaremos C100 de Techniflow, consta de tres partes o secciones denominadas 94FL100C (sección crítica), 94FL100B (sección crítica y canal de medida) y 94FL100A (sección crítica, canal de medida y canal de aproximación), con un rango de medidas de caudales de (0.00471-0.100 m³/s), y el segundo canal denominado C1000 de Techniflow, rango de medidas de caudal (0.045-1 m³/s). Estos canales aforadores se pueden definir como canales aforadores de estrechamiento largo. Un esquema a escala de la estación de aforos puede verse en la figura 2.

En el C100, el flujo crítico se consigue con un estrechamiento y un realce de la solera, en

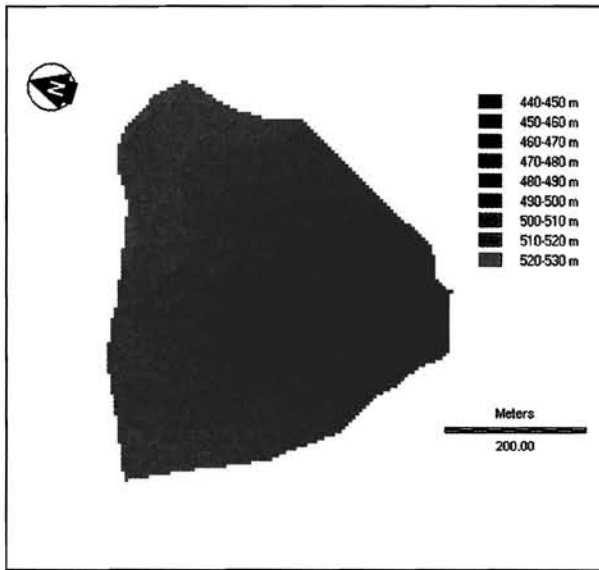


Figura 2.- Modelo de elevación digital

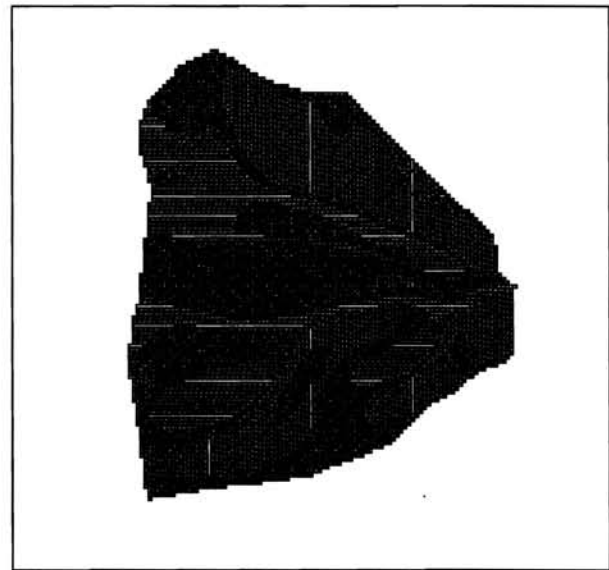


Figura 3.- Mapa de direcciones locales de drenaje

el C1000 se consigue con un estrechamiento.

Se ha realizado el ajuste de los datos Q y h suministrados por el fabricante del canal aforador a una curva Q(h) con una ecuación del siguiente tipo $Q(m^3/s) = C \cdot h^{1.5}(m)$

$$C100 \quad Q = 0.44712 \cdot h^{1.5} \quad r^2 = 0.999$$

$$C1000 \quad Q = 1.107525 \cdot h^{1.5} \quad r^2 = 0.999$$

La curva de caudales disponible tiene una precisión del 2% en el caudal máximo (C100) y del 3% en el caudal máximo (C1000).

El fondo, el canal de aproximación, y la divergencia del C1000 fueron realizados en obra de fábrica, siendo la rugosidad del hormigón inferior a 1 mm.

Medida del nivel de agua en los canales aforadores

La medida de niveles de agua en ambos canales se lleva a cabo mediante sensores de ultrasonidos, cuyo principio de funcionamiento es el siguiente: los impulsos de ultrasonidos son generados cada segundo y transmitidos por el transductor hacia la superficie del líquido, en la superficie del agua estos

impulsos de ultrasonidos serán reflejados y recibidos por el sensor. El retraso entre la emisión y la recepción de la señal es medido, entonces la distancia hasta la superficie del líquido es calculada usando la velocidad de propagación del sonido. De todas formas, esta velocidad de propagación no es constante y varía en función de la temperatura y de la naturaleza del gas a través del cual el sonido es transmitido. La variable con mayor influencia sobre la velocidad del sonido es la temperatura, que a razón, de 0.2% por °C podría provocar errores en la distancia medida y por consiguiente en el nivel del líquido.

La barra de referencia da al sensor un referente para controlar regularmente la velocidad de propagación del sonido en el medio en el que se encuentra. Está a una distancia conocida delante del sensor. Esta distancia es conocida, el sensor mide el tiempo entre la emisión y recepción de la señal procedente de la barra y calcula entonces la velocidad del sonido a emplear en sus cálculos.

El sensor utilizado es un MSP 100-S12F de la marca KDG Mobrey ltd, con barra de corrección de acero inoxidable de 346 mm de longitud. Rango de medida 0.4-8 m. Resolución: mejor que 1 mm. Salida analógica 4-20 mA. Alimentación en corriente con-

tinua, intensidad nominal de al menos 22 mA, y voltaje de al menos 11 V en los bornes del sensor. Siendo necesario un calibrado previo para fijar el cero de medida.

* Toma-muestras

El toma-muestras utilizado es secuencial, con capacidad para tomar 24 muestras separadas de 500 ml. cada una, ISCO modelo 2900, está programado para tomar una muestra de agua a la salida del canal de aforo C100, cada vez que la adquisición de datos le envía una señal. La cadencia de toma de muestras es de 10 minutos, una vez el nivel de agua en el canal C100 supera los 50 mm, y de 3 minutos, al superarse el umbral de altura de 100 mm en el mismo canal.

*Adquisición de datos

La adquisición de datos tiene tres entradas analógicas y una digital, también posee una salida para control del toma-muestras.

Los dos sensores de sonidos están conectados a las entradas analógicas y los datos registrados son datos promediados durante un período de 5 minutos cuando la altura de agua supera los 0 mm, y de valores medios de un intervalo de 1 minuto cuando la elevación del nivel de agua es superior a 50 mm, en el canal C100.

4. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS DE ENTRADA CON UN S.I.G. RASTER

Construcción de un modelo de elevación del terreno

Un modelo de elevación digital (DEM) se define como una representación digital de los niveles del terreno en cada nodo de una red regular fija (Figura 2)

Aunque no tienen que estar implementados en estructura de tipo Raster, es muy habitual utilizar este tipo de SIG. La elevación se refiere al punto central de cada celda. Este mapa nos servirá para calcular la pendiente de cada celda y el cálculo de la red de drenaje. El DEM da una aproximación de la verda-

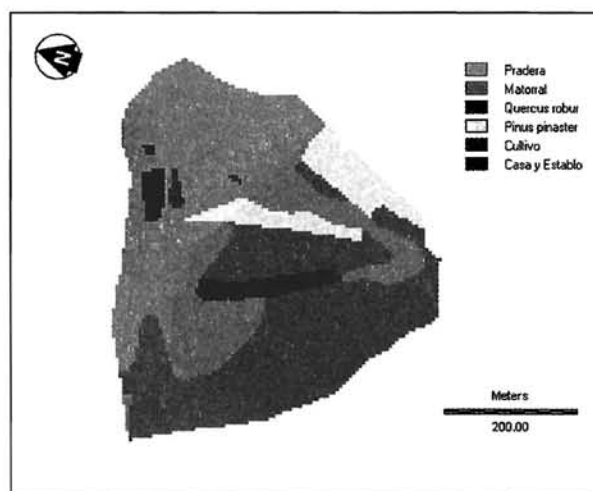


Figura 4.- Mapa de clases de usos de la cuenca, en formato raster

dera cota de una zona, es una discretización de la realidad, es decir cuando mayor sea el tamaño de celda perderemos mayor detalle, por eso se utilizará un tamaño de celda de 5 x 5 m, utilizando como base el Sistema de información geográfico tipo raster PCRaster (PcRaster Environmental Software, 1997).

Para construirlo se necesitan datos de cota con su posición espacial (X,Y), en este caso se utilizaron 1973 puntos, medidos con una estación topográfica total. Para la estimación de los valores se utilizó el método del krigado residual en bloque, utilizando una retirada de tendencia parabólica y como tamaño del bloque, las dimensiones de las celdas, para la realización de este proceso se empleó el paquete geoestadístico GSTAT (PEBESMA, 1997), el resultado puede verse en la figura 3.

Elaboración del mapa de direcciones locales de drenaje

La determinación de la dirección local de drenaje (LDD) figura 3, es un proceso basado en la idea de que el agua puede fluir de una celda de la malla a una de sus celdas vecinas. Existiendo ocho direcciones posibles de drenaje. Para la asignación de estos códigos PCRaster sigue el siguiente procedimiento, el código de la celda es la dirección

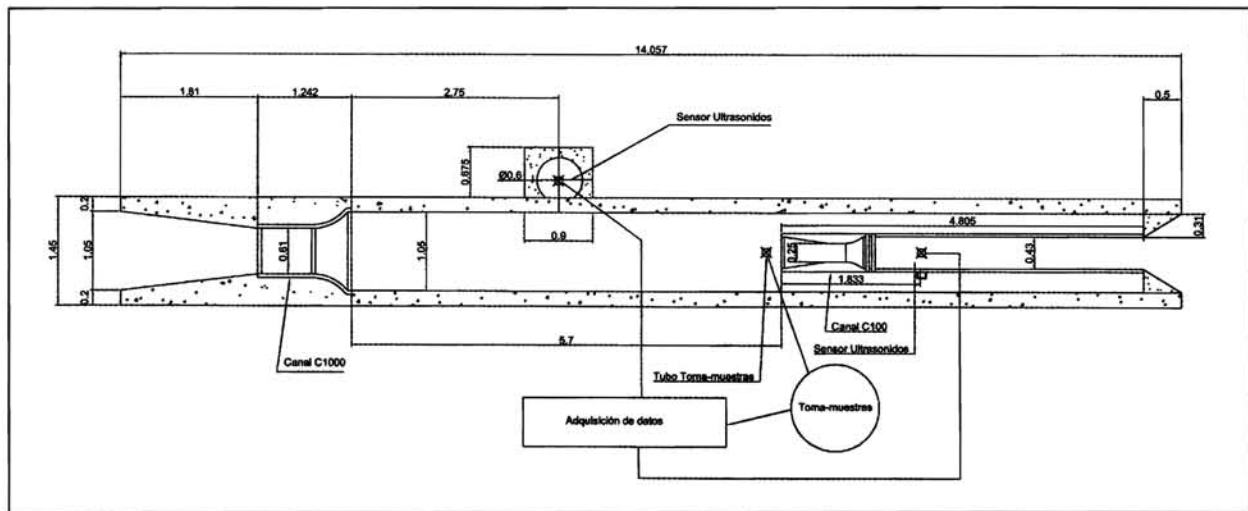


Figura 5.- Esquema de la instalación de aforo

hacia abajo en la que hay mayor pendiente entre el centro de la celda y el centro de cada una de las otras ocho celdas vecinas, si dos celdas cumplen esa condición el LDD se asigna a la última celda encontrada.

A la hora del cálculo del mapa LDD, pueden aparecer una serie de dificultades, la aparición de áreas llanas, es decir, la cota del vecino más bajo coincide con la cota de la celda, y la aparición de pozos, que son elementos de la malla que se encuentran rodeados totalmente por elementos con mayor elevación. Para conocer los métodos de resolución de estos dos problemas se puede consultar VAN DEURSEN (1995).

Determinación de la cuenca de drenaje

Se denomina cuenca de drenaje, en una sección dada, a la superficie de terreno delimitada por un contorno a partir del cual la precipitación drena por esa sección.

Entonces al conocer la celda donde se encuentra la salida de nuestra cuenca, podemos calcular su forma a partir del mapa LDD, utilizando la utilidad Watershed (VAN DEURSEN, 1991).

La escorrentía superficial en la cuenca, esta se encuentra limitada de forma real en su parte superior por un pequeño camino asfaltado, esta situación no se recoge en el DEM,

Tabla 1. Superficie de cada clase de uso del suelo

Clase	Superficie (m ²)	Superficie (%)
Pradera	93125	46.89
Matorral	79325	39.94
<i>Pinus pinaster</i>	16075	8.09
<i>Quercus robur</i>	6225	3.14
Tierra de cultivo	1150	0.58
Superficie impermeable	2700	1.36

por lo que se utilizó este límite para fijar los bordes de la cuenca.

Elaboración del mapa de usos del suelo.

Este mapa fue realizado a partir de los segmentos o vectores que limitan los diferentes usos del suelo los cuales fueron "rasterizados" por medio de IDRISI (EASTMAN, 1997), lo que permitió la obtención de un mapa de usos del suelo en formato raster, que se observa en la figura 4, la superficie ocupada por cada uso del suelo está en la tabla 1.

Con referencia a la vegetación, la pradera está constituida por *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*, *Trifolium pratense*, *Trifolium*

repens y *Dactylis glomerata*. El matorral está compuesto principalmente por *Erica arboorea*, *Genistela tridentata*, *Erica cinerea*, *Erica umbellata* y *Ulex europaeus*;

5. CONCLUSIONES

La validación de la nueva generación de modelos distribuidos de cálculo de escorrentía y de erosión, exige además de la existencia de datos de una cuenca experimental, la elaboración de mapas con S.I.G., que se utilizan como entrada a los nuevos modelos, con lo cual es de gran utilidad la integración de los modelos hidrológicos y los S.I.G., que permitirían ver los efectos en los diferentes procesos de cambios en los usos del suelo o de las medidas de conservación de conservación del suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

BEASLEY, D.B. & L.F. HUGGINS. 1991. ANSWERS User's manual. Purdue University. West Lafayette, IN. 54 pp.

BEVEN, K J, R. LAMB, P.F. QUINN, R. ROMANOWICZ and J. FREER. 1995. TOPMODEL. In: V. Singh (Ed). Computer Models of Watershed Hydrology, Water Resources Publications. pp 627-668.

CARBALLEIRA, A., C. DEVESA, R. RETUERTO, E. SANTILLÁN, F. UCIEDA. 1983. Bioclimatología de Galicia. Fundación Pedro Barrié de la Maza Conde de Fenosa. A Coruña. 391 pp.

DE ROO, A.P.J., C.G. WESSELING, V.G. JETTEN, C.J. RITSEMA. 1998. LISEM 5.0: Limburg Soil Erosion Model Manual. Dept. of Physical Geography. Utrecht University. Utrecht. pp 49.

EASTMAN, R. 1997. IDRISI for windows. User's guide Version 2.0. Clark University. 325 pp.

IGME. 1982. Mapa geológico de España 1:50.000 Portomarín. Segunda serie. Servicio

de publicaciones de Ministerio de industria y energía. Madrid.

ISSS-FAO-ISRIC. 1994. World reference base for soil resources. ISSS-ISRIC-FAO. Wageningen/Rome. 161 pp.

MORGAN, R.P.C., J.N. QUINTON, R.E. SMITH, G. GOVERS, J.W.A. POESEN, K. AUERSWALD, G. CHISCI, D. TORRI, M.E. STYCZEN, A.J.V. FOLLY. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide. Silsoe College, Cranfield University. 89 pp + appendixes.

NEARING, M.A., G.R. FOSTER, J.L. LANE, S.C. FINKNER. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Transactions of the ASAE, 32: 1587-1593.

PCRaster Enviromental Software. 1997. PCRaster Version 2. Department of Physical Geography. Utrecht University. Utrecht. 368 pp.

PEBESMA, E.J. 1997. Gstat User's manual V2.0. ICG Faculty of Enviromental Sciences. University of Amsterdam. Amsterdam. 81 pp.

REFSGAARD, J.C. 1997. Parametrisation, calibration and validation of distributed hydrological models. Journal of Hydrology, 198: 69-97.

VAN DEURSEN, W.P.A. 1991. Watershed version 5.02 CSF-Version Department of Physical Geography. Utrecht University. Utrecht.

WISCHMEIER, W.H. & D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation planning. USDA. Agricultural Handbook 537, Washington DC. 58 pp.

WOOLHISER, D.A., R.E. SMITH, D.C. GOODRICH. 1990. KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual. USDA-ARS, ARS-77. 130 pp.

YOUNG, R.A., C.A. ONSTAD, D.D. BOSH, W.P. ANDERSON. 1994. AGNPS User's guide Version 4.03. USDA-ARS. Morris, MN. 76 pp.