

V.4.2. CALCULO ESPACIAL DE LA EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN ANDALUCIA.

Dentro del proyecto HYDRE, y más concretamente dentro del análisis de los problemas de la erosión de Andalucía se planteó la necesidad de realizar un modelo de cálculo que analizara la agresión del clima, y más concretamente, la agresión de la lluvia como factor fundamental en el estudio de las pérdidas de suelo en Andalucía.

Tras el análisis de diferentes modelos de erosión (HYMO, KYNEROS, etc.) optamos por el modelo de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, ya que aunque no tiene la precisión de los modelos anteriores, es el que mejor se adaptaba a un análisis a nivel de escala regional (87000 km²).

Una de las herramientas más ampliamente utilizadas para la medición de la erosión de los suelos ha sido la EUPS (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos). Como es sabido está compuesta por el producto de 6 factores que representan cada uno de los elementos físicos que inciden sobre la erosión. Estos factores son la erosividad de la lluvia (R), la erodibilidad del suelo (K), la topografía separada en longitud (L) e inclinación de la pendiente (S), la acción de protección de la cubierta (C), y finalmente las prácticas de conservación realizadas por el hombre (P).

En principio los 6 factores vienen como independientes, bajo la forma de producto, de tal forma que la cantidad media de suelo perdida por unidad de superficie y unidad de tiempo (A) vendría dada por

$$A = R K L S C P$$

Aunque el valor de pérdida de suelo A es poco significativo (es de todos conocido el éxito variable de su aplicación en diversas partes del mundo y las críticas severas que ha recibido, proponiendo alternativas que no son sino variantes) permite hacer estudios comparativos entre diferentes zonas espaciales, y también estudios temporales dentro de una zona determinada, lo que permite en definitiva conocer la evolución del fenómeno de la erosión, que es lo que dentro de un contexto de toma de decisiones, realmente interesa.

Con esto se ha puesto a punto una metodología que permite el cálculo a escala regional de la erosividad de la lluvia.

Como objetivos del modelo tendremos:

- 1) Cálculo de la erosividad a escala regional en una malla lo más pequeña posible 1 x 1 km² del año en curso.
- 2) Cálculo de la evolución de la EI₃₀ de la erosividad de la lluvia en cada zona mes a mes.

- 3) Cálculo de la erosividad de la lluvia en Andalucía, para una serie temporal mínima de 30 años.

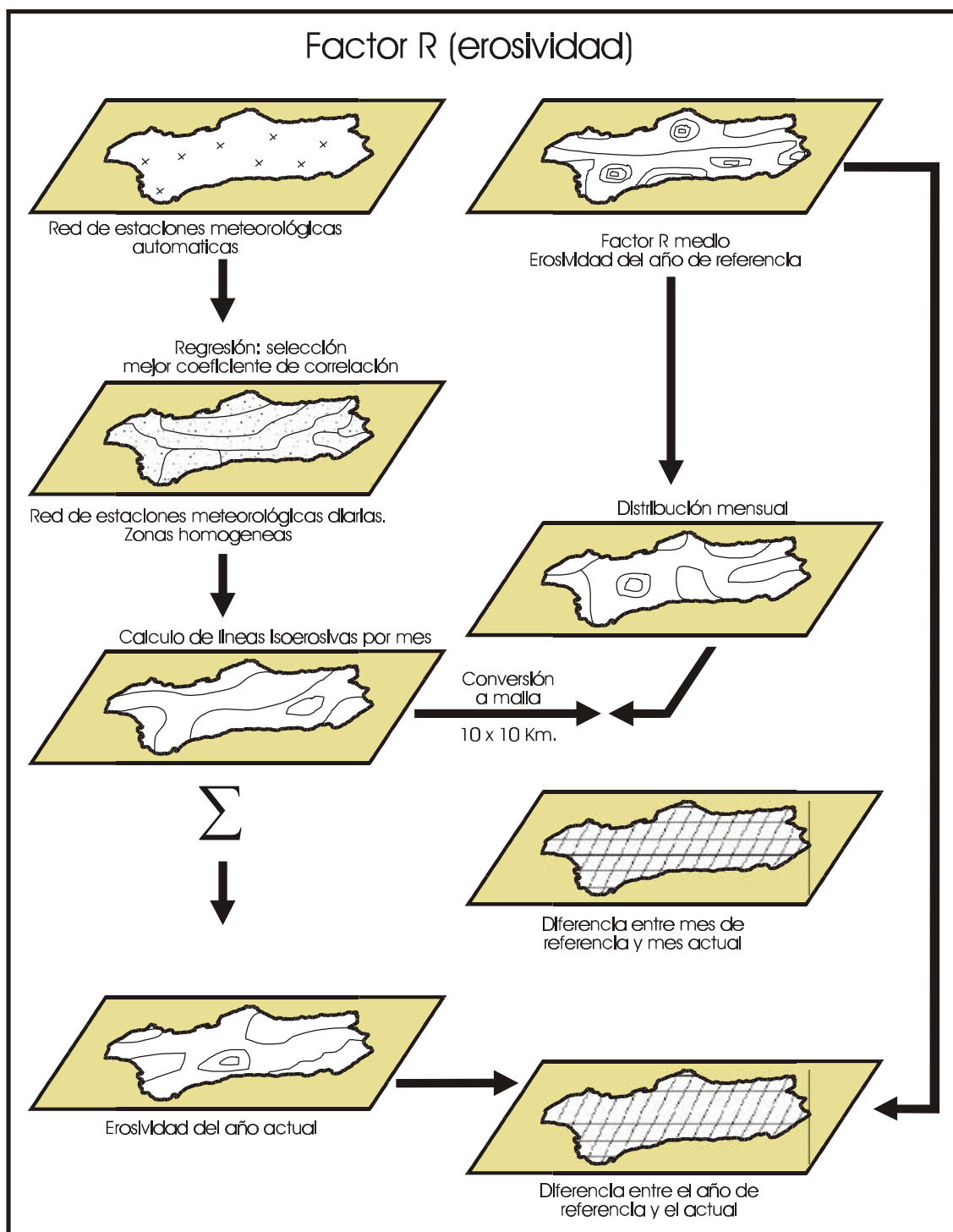
V.4.2.1. EL FACTOR R DEFINICIÓN Y PROCESO DE CÁLCULO.

Se entiende por erosividad de la lluvia la capacidad de la misma para provocar erosión. Se trata de un parámetro de gran peso en la evaluación de las pérdidas de suelo y se define como el producto de dos características físicas de la lluvia : La energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos consecutivos.

Se puede calcular el valor de R para una única tormenta, para un día completo o para un período de tiempo comprendido entre dos fechas cualesquiera y para el cuál disponga de información de precipitación.

HYDRE-ANDALUCIA EROSION

Factor R (erosividad)



La erosividad de la lluvia trata de reflejar la cantidad de energía cinética que tiene las gotas de lluvia que impactan sobre el suelo. Estas tienen un doble efecto sobre el mismo. Por un lado, producen un desprendimiento de partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia, y por otra parte, producen un taponamiento de los poros del suelo que incide en el aumento de la escorrentía y por tanto de la erosión.

Para el cálculo de la erosividad de la lluvia en un período determinado se requiere información relativa a la cantidad de precipitación caída durante ese tiempo.

Estos datos son proporcionados por las estaciones meteorológicas automáticas. En ellas se lleva a cabo un registro periódico de la precipitación, medida en cortos intervalos de tiempo durante los cuales la intensidad de lluvia se puede considerar constante. En el caso que nos ocupa, el intervalo de tiempo entre dos datos de precipitación consecutivos es de 10 minutos.

A partir de los datos de precipitación registrados cada 10 minutos en las estaciones meteorológicas automáticas se evalúa la erosividad de la lluvia según la metodología que se describe a continuación.

El estudio del factor R se realizará primero para cada tormenta, considerándose como tal, el intervalo de tiempo que llueve de forma más o menos continua, con interrupciones inferiores a 30 minutos.

Cada tormenta, como ya se ha dicho, está dividida en una serie de intervalos de tiempo fijos de 10 minutos de duración para cada uno de los cuales se dispone del dato de la precipitación correspondiente. Sea V_k la cantidad de lluvia caída en el intervalo de tiempo t_k . k puede variar entre 1 y p , siendo p el número de intervalos en que está dividida una tormenta. En nuestro caso, como ya se ha dicho, esos intervalos de tiempo duran 10 minutos y para cada uno de ellos la intensidad de la lluvia se considera constante. V_k se expresa en milímetros.

Dividiendo el valor de precipitación V_k por la duración del intervalo de tiempo entre dato y dato (10 minutos = 1/6 horas) obtenemos la intensidad de la lluvia (milímetros/hora) correspondiente al intervalo t_k . Sea i_k dicha intensidad.

$$i_k = \frac{V_k (mm)}{t_k (horas)} = \frac{V_k mm}{1/6 horas} = (V_k * 6) mm/hora$$

Para establecer la energía cinética asociada a una tormenta calcularemos la energía cinética asociada a cada subintervalo de

tiempo en que está dividida.

La energía cinética correspondiente al intervalo de tiempo t_k y para cada unidad de precipitación viene dada por la fórmula:

$$e_k = 0.119 + 0.0873 \log_{10}(i_k)$$

$$i_k = \frac{V_k}{t_k} (\text{mm/hora})$$

$$t_k = 10 \text{ minutos} = 1/6 \text{ horas}$$

$$V_k = \text{Cantidad de lluvia caída en el intervalo } t_k (\text{mm})$$

NOTA : Si el valor de la intensidad de precipitación i_k es superior a 7.6 mm/hora, entonces la energía cinética e_k tomará el valor constante 0.283.

La energía cinética correspondiente a la precipitación caída en el intervalo t_k se obtendrá multiplicando el valor de la energía cinética e_k por unidad de precipitación por la cantidad de lluvia caída en ese intervalo de tiempo.

$$E_k = e_k \cdot V_k = [0.119 + 0.0873 \log_{10}(i_k)] * V_k$$

Finalmente la energía cinética correspondiente a la tormenta en estudio T se obtiene sumando la energía cinética asociada a cada valor de precipitación de la misma.

$$E_T = \sum_{k=1}^p (e_k) = \sum_{k=1}^p [(0.119 + 0.0873 \cdot \log_{10}(i_k)) * V_k]$$

La pérdida de suelo por tormentas está altamente relacionada con los productos combinados de la energía cinética total de una tormenta y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos consecutivos (I_{30}).

Para calcular el valor de I_{30} se determina cuál es la máxima cantidad de lluvia caída en una tormenta a lo largo de 30 minutos consecutivos. Esta precipitación total se divide por el tiempo que dura (media hora) y esto nos da el valor de intensidad I_{30} . Si la duración de la tormenta es inferior a 30 minutos, por ejemplo 20 minutos, se considerará el valor de I_{30} como la precipitación total caída en esos 20 minutos dividido por ese intervalo de tiempo (1/3 horas). De este modo el valor I_{30} queda expresado en mm/hora, ya que es un valor de intensidad.

Finalmente, el valor del factor R de erosividad de la lluvia para una tormenta T viene dado por la fórmula siguiente :

$$R_t = E_t \cdot I_{20} = \left[\sum_{k=1}^p (e_k) \right] \cdot I_{30} = \left[\sum_{k=1}^p [(0.119 + 0.0873 \cdot \log_{10}(i_k)) \cdot V_k] \right] \cdot I_{30}$$

Los índices de erosividad por precipitación pluvial pueden sumarse para cualquier período para proporcionar una medida numérica de la erosividad por precipitación pluvial durante ese período. Así, el factor de erosividad de la lluvia, R, para un día determinado se define como la suma de todos los valores de R asociado a cada una de las tormentas producidas durante ese día.

El valor de R para un año completo se obtiene sumando el valor R diario de todos los días.

Se puede obtener un valor medio anual de R para un número de años, sumando los valores R de cada uno de ellos y dividiendo por el número de años.

Las unidades finales para el valor medio anual del índice R son :

$$\frac{\text{Megajulios} \cdot \text{milímetro}}{(\text{hect rea} \cdot \text{hora} \cdot \text{año})}$$

V.4.2.2. ADAPTACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO A ANDALUCÍA. RESULTADOS.

Para hacer este estudio se ha contado como soporte básico con la red de estaciones automáticas existentes en Andalucía, y con la red de estaciones termopluviométricas del INM.

Como paso previo y dada la variabilidad del factor intensidad de la lluvia dentro de una región tan amplia como Andalucía, se han realizado estudios de regionalización climática para poder dividir Andalucía en zonas pluviométricamente homogéneas.

a) Recopilación de Información

Una vez definido el programa informático para el cálculo de R, se procedió a realizar una recopilación de los datos de estaciones automáticas, para los años 92 y 93.

Se contaba en principio con la estaciones automáticas procedentes de:

- Instituto Nacional de Meteorología, (INM).
- Consejería de Medio Ambiente, (AMA).
- Confederación Hidrográfica del Sur, (CHS).
- Consejería de Agricultura y Pesca, (CAP).

Tras la realización de las gestiones pertinentes se consiguió la siguiente información:

I.N.M. ---> Datos de 26 estaciones de las 42 existentes. repartidas en: 18 en Andalucía Occidental y 8 en Andalucía Oriental.

A.M.A. ---> Datos de 10 estaciones de las 17 que teóricamente se controlan (no incluidas las estaciones del Servicio de Protección Ambiental).

C.A.P. ---> Datos de 20 estaciones de las 56 estaciones, procedentes de la red DACUS.

C.H.S. ---> Ninguna de las 90 que controla.

Hubo que hacer un importante trabajo de homogeneización cuanto a los formatos la información contenida y la conversión de formatos de las diferentes estaciones a un formato único, (GEONICA).

Tras el análisis de la misma hubo que desechar la inmensa mayoría de las estaciones por:

- 1) Falta de series completas. En las estaciones de la AMA, hubo que rechazar la inmensa mayoría de las estaciones por falta de datos, ya que normalmente se tenía información en los meses de verano, que es cuando no llueve. También existían muchas lagunas en las estaciones del I.N.M.
- 2) Datos erróneos recogidos por el sensor. A las estaciones que tenían datos completos se le realizó un test de veracidad de la información, simplemente sumando la lluvia de cada golpe de 10 minutos para un año, y comparándolo con los datos de las estaciones termopluviométricas de su entorno. Como ejemplos para el año 92 en Grazalema se recogieron 1447'8 mm. mientras que la estación automática sólo registró 793'6.
- 3) Imposibilidad en el tiempo previsto del cambio de formato de los datos. Esto ocurrió con las estaciones de la red DACUS de la C.A.P., que no pudieron realizarse por la premura de tiempo para la entrega del proyecto.

Como conclusión parcial de estos trabajos, surge la idea y necesidad de crear una única red de estaciones meteorológicas, que realmente están controladas tanto a nivel informático como a nivel de la calidad de información que suministran.

En conclusión, tras el análisis realizado, de las 189 estaciones posibles sólo pudimos contar con 10 estaciones automáticas con calidad estadística suficiente, 1 de la A.M.A. y 9 del INM. Estas son:

- * MORON
- * FUENGIROLA
- * VEJER
- * JEREZ
- * GRAZALEMA (AMA)
- * ALAJAR
- * ABLA
- * ECIJA
- * CADIZ
- * CABRA

b) Cálculo de la Erosividad de la Lluvia

Se procedió a calcular la Erosividad de la lluvia mediante el programa realizado. Dado el escaso número de puntos donde se conocía el valor R, para una región tan amplia como Andalucía, hubo que hacer uso de las estaciones pluviométricas para poder realizar una espacialización de los datos de Erosividad calculado en las estaciones automáticas.

Se utilizaron 300 estaciones pluviométricas, suficientemente bien contrastadas la calidad de sus datos y espacialmente

distribuidas.

Se barajaron 2 métodos para encontrar el valor de R en las estaciones termopluviométricas.

Método 1º

Calcular el valor R en función de los datos diarios de lluvia de las estaciones pluviométricas, y contrastar posteriormente el valor, con el calculado en las estaciones automáticas, estableciendo la siguiente relación entre ambos valores:

$$E_{24h} = \sum_{K=1}^P (0.119 + 0.0873 \log_{10}(I_{24h})_k) (\Delta V_{24h})_k$$

siendo:

E_{24h} la energía cinética total de la lluvia calculada mediante intervalos de medida de 24 h.

$(I_{24h})_k$ La intensidad diaria de la lluvia en mm/h.

ΔV_k La cantidad de lluvia caída durante un día en mm.

Método 2º

Dividir Andalucía en 10 zonas en base a las estaciones Automáticas, mediante la agrupación de la regionalización realizada, y asignar el valor de R a cada estación pluviométrica en función a la regresión realizada entre la precipitación y la erosividad en las estaciones automáticas.

Al final se optó por este método, dados los altos valores encontrados en el coeficiente de correlación entre el valor R y el de la precipitación.

Se probaron varios tipos de regresiones:

- exponencial
- lineal
- multiplicativa
- regresión múltiple

RESUMEN DE:
ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE LA EROSIDAD DE LA LLUVIA DE LAS
ESTACIONES AUTOMÁTICAS CON DIFERENTES PARÁMETROS. AÑOS 92-93

MUNICIPIO	MODELO	VARIABLE	ECUACION	COEFICIENTE	R (%)
MORON-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,95796) * PREC^{1,63878}$	0,983614	96,75
FUENGIROLA-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,52113) * PREC^{1,59274}$	0,948718	90,01
VEJER-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,76537) * PREC^{1,72368}$	0,978056	95,66
JEREZ-92	LINEAL	PREC	$R=(4,6761 * PREC)-16,3824$	0,989879	97,99
GRAZALEMA-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,39752) * PREC^{1,47872}$	0,982818	96,59
GRAZALEMA-93	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,53276) * PREC^{1,45044}$	0,964906	93,10
ALAJAR-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,53823) * PREC^{1,53114}$	0,978276	95,70
ABLA-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,99551) * PREC^{1,59368}$	0,972836	94,64
ECIJA-92	MUTIPPLICATIVA	PREC_DIAS	$R=_{10}(-1,70736) * PREC_DIAS^{1,64601}$	0,966181	93,35
CADIZ-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,59562) * PREC^{1,66619}$	0,981931	96,42
CABRA-92	MUTIPPLICATIVA	PREC	$R=_{10}(-1,78893) * PREC^{1,60502}$	0,983742	96,77

Varios tipos de variables:

- R - (precipitación)
- R - (precipitación/número de días de lluvia)
- R - (precipitación, número de días de lluvia)
- R - (precipitación, precipitación/número de días de lluvia)
- R - (precipitación, precipitación/número de días, número de días de lluvia).

y varias agrupaciones temporales:

- Decenal
- Mensual
- Anual

Como resultado de estos trabajos se encontró:

- 1) El modelo de regresión que mejor se ajustaba a los datos era el multiplicativo

$$y = a \div^b.$$

- 2) El mejor ajuste se conseguía con la variable precipitación.

(R - precipitación)

- 3) El número de datos más adecuado era el decenal.

A continuación se presentan para cada estación, los modelos de regresión y las matrices de correlación de los coeficientes estimados. Se puede comprobar el alto valor del coeficiente de correlación y de R^2 para el modelo multiplicativo.

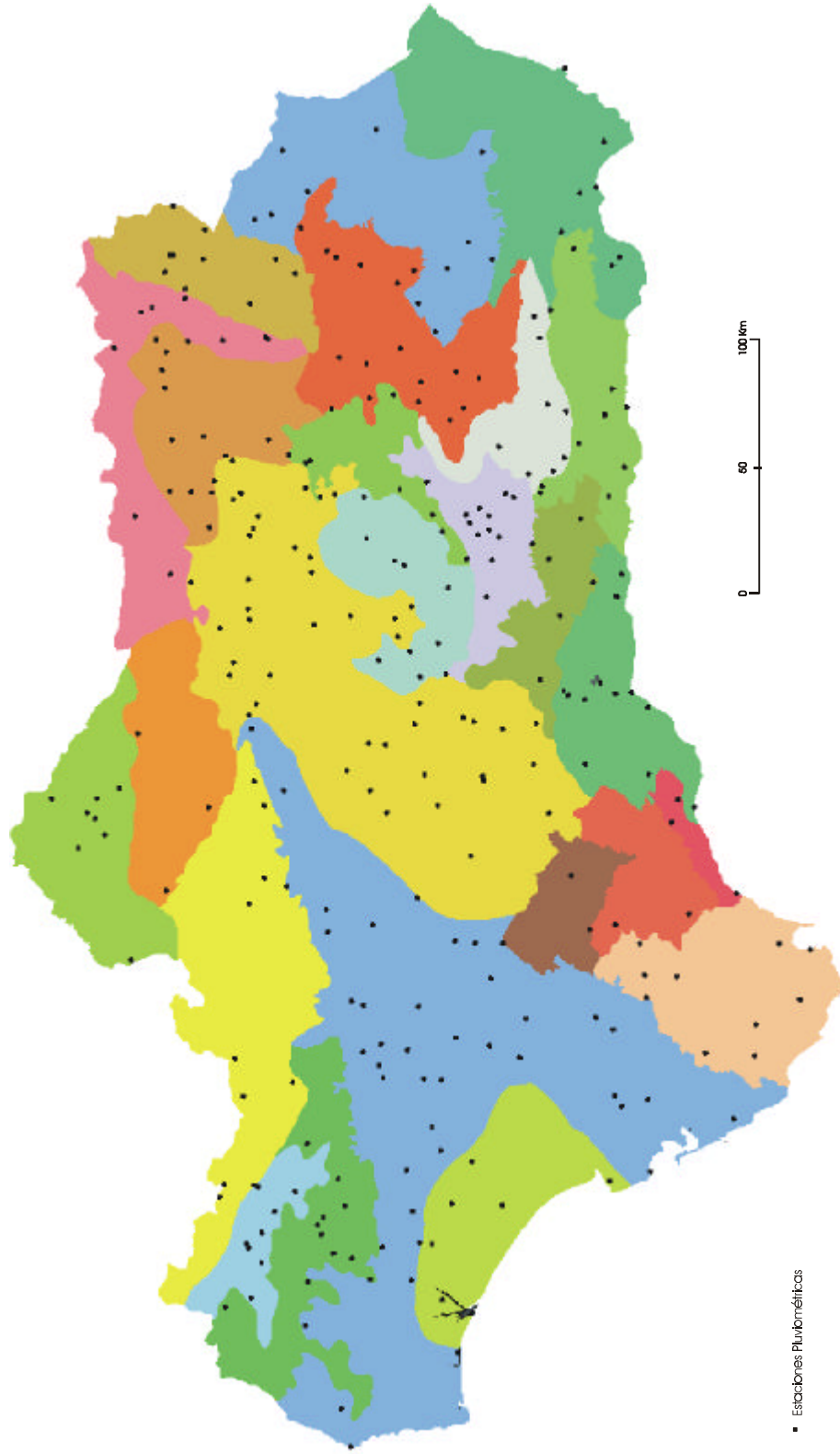
c) Espacialización de la Erosividad

El proceso de espacialización seguido, fue tal como sigue:

- 1) Se encontraron las rectas de regresión de cada una de las estaciones automáticas en base a datos decenales.
- 2) Se agruparon los datos de lluvia diaria de cada estación termopluviométrica en datos decenales.
- 3) Cálculo de los valores de R decenal en las 300 estaciones. Posteriormente se calcula el valor de R anual.
- 4) Realización en Arc-Info de una poligonación de Thiessen. con los datos de R de las 300 estaciones.

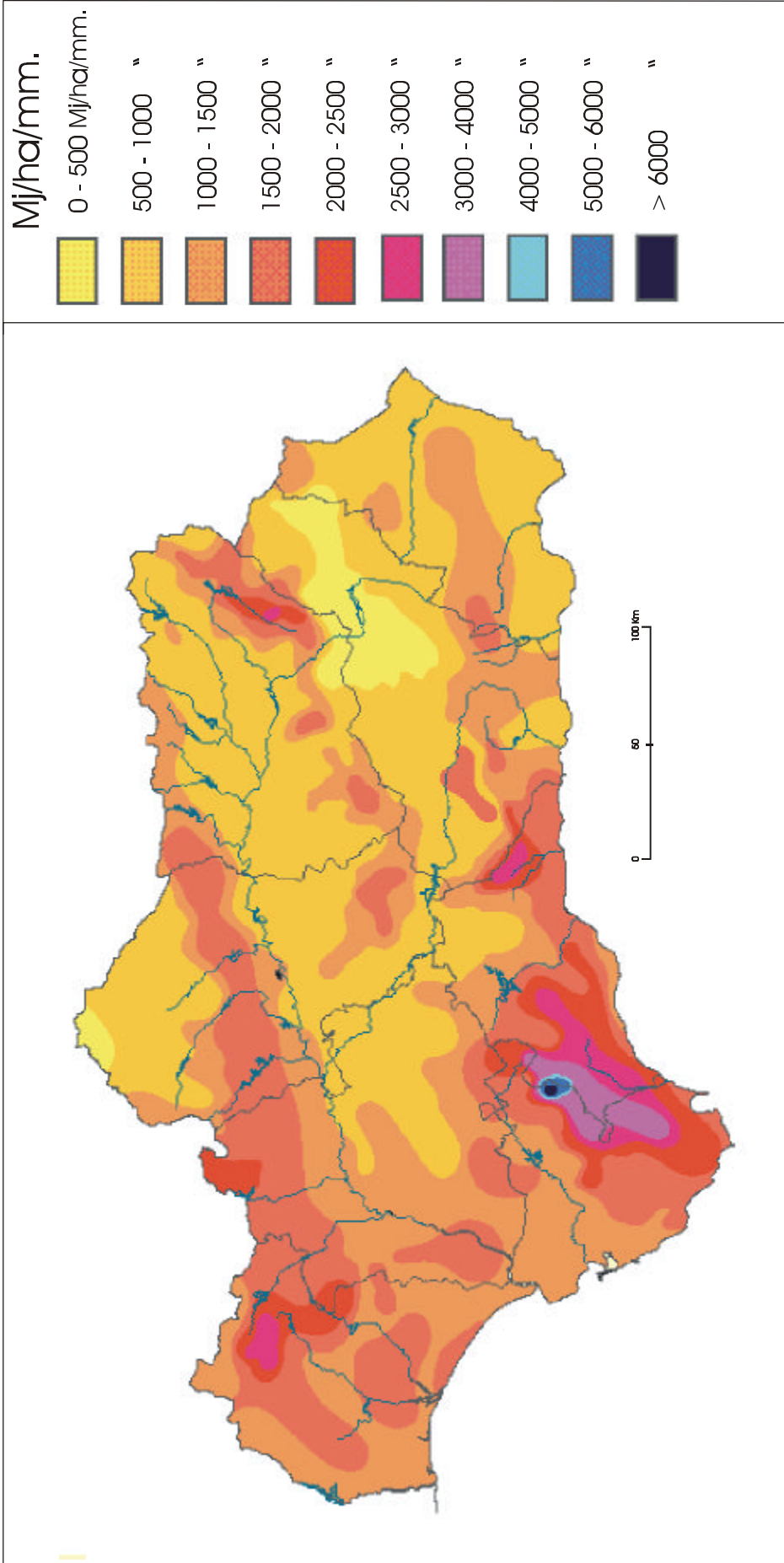
ZONAS PLUVIOMETRICAS HOMOGENEAS

SinambA



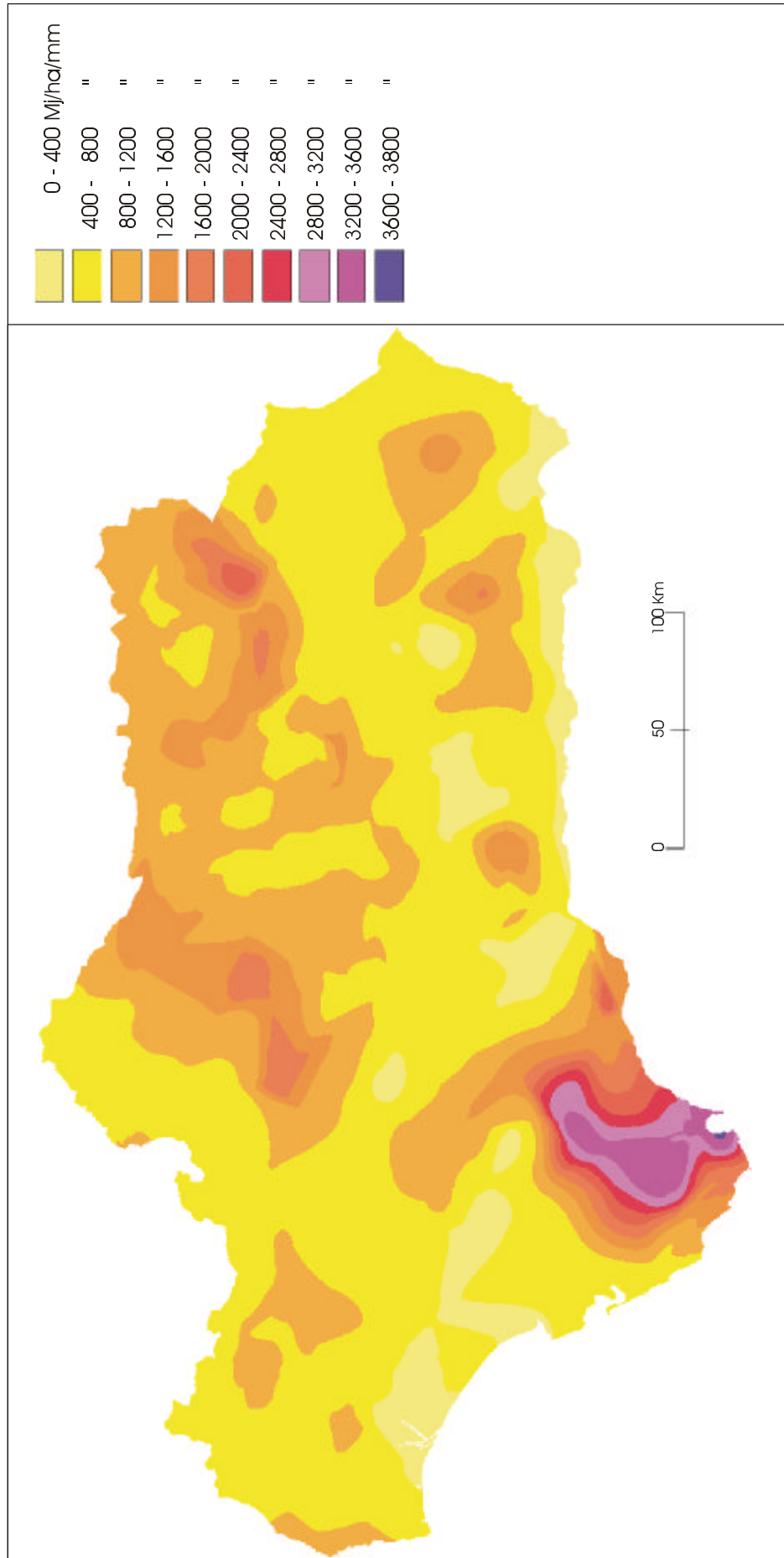
INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA MEDIA (30 AÑOS) (Factor R Ecuación Universal Pérdidas de Suelos)

Sinamba



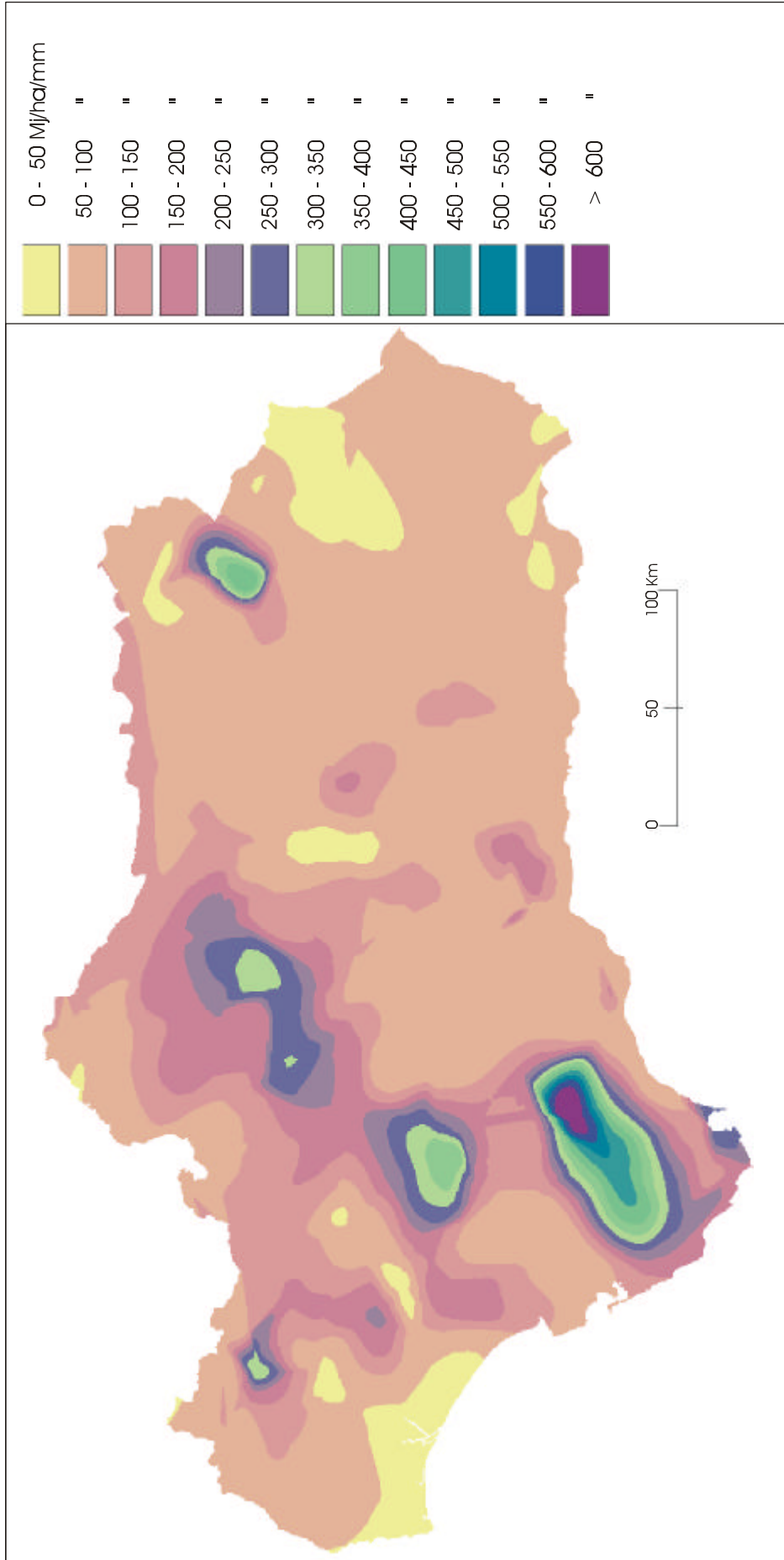
INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA. AÑO 1992 **Factor R de la E.U.P.S.**

Sinamba



INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA. MES DE ABRIL DE 1992 **Factor R de la E.U.P.S.**

SinambA



5) Rasterización de la cobertura poligonal realizada y asignación del valor R de cada polígono al pixel generado. Este pixel tenía una resolución de 500 x 500 metros. Con esto se generó uno de los parámetros necesarios del modelo para el cálculo de la Erosividad.

d) Resultados

Como resultado de estos trabajos se presentan los mapas de zonas pluviométricas, isoerosividad de la lluvia para un año medio (30 años), para el año 1992 y, para el mes de abril de 1992.

V.4.3. PROCESO METODOLOGICO SEGUIDO PARA EL CALCULO DEL FACTOR K DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO.

Ya desde los primeros estudios realizados sobre el proceso de erosión de los suelos se puso de manifiesto que cada tipo de suelo tiene una determinada capacidad para resistir la erosión, identificándose esta característica con el nombre de ERODIBILIDAD.

La erodibilidad de los suelos esta estrechamente relacionada con sus propiedades físicas, así mediante multitud de trabajos de investigación se ha puesto de relieve las características que tienen una mayor implicación en la cuantificación de este fenómeno, señalándose a la textura, estructura, tipo de material arcilloso, cantidad y tipo de materia orgánica, permeabilidad y naturaleza del complejo de cambio, como las más influyentes.

El cálculo del factor erodibilidad (K) realizado ha sido el propuesto por Wischmeier, Johnson y Cross, a partir de la ecuación de regresión obtenida tras el estudio de éste en 65 suelos diferentes, en condiciones de barbecho continuo.

Las características de los suelos que son evaluadas en el cálculo de este factor son:

- + Textura
- + Contenido en materia orgánica
- + Estructura
- + Permeabilidad

La ecuación que permite cuantificar la erodibilidad a partir de las características anteriormente enumeradas tiene la siguiente expresión: