

Cuadernos I. Geográfica	24	pp. 59-68	Logroño	1998
-------------------------	----	-----------	---------	------

INTEGRACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN UN MODELO REGIONAL DE EROSIÓN TRAS EL FUEGO EN EL PREPIRINEO OCCIDENTAL OSCENSE

F. PÉREZ CABELLO (1)
J. DE LA RIVA FERNÁNDEZ (1)

RESUMEN: Se presenta una metodología para integrar y estimar el papel de la vegetación quemada en un modelo de erosión cualitativo a escala regional mediante la utilización de diversas fuentes de información consideradas en el contexto de un SIG.

ABSTRACT: A methodology to make up and estimate the role of burnt vegetation into a qualitative erosion model is exposed for a regional scale by using several information sources within a GIS context.

Palabras clave: vegetación, índice de vegetación, interceptación, modelo de erosión.

Key words: vegetation, vegetation index, interception, erosion model.

1. Introducción

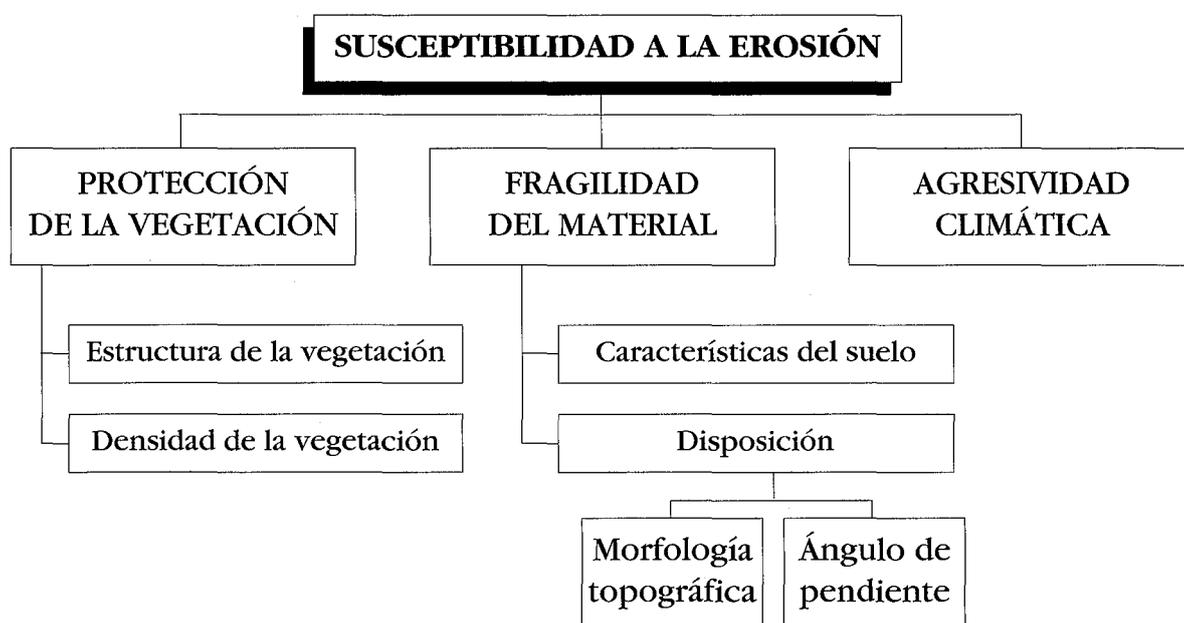
La mayoría de los trabajos destinados a estudiar los efectos de los incendios forestales coinciden en señalar que tras el fuego se produce un incremento de las tasas de erosión, debido especialmente a la pérdida de la cubierta vegetal y a la destrucción de las propiedades del suelo. La desaparición del dosel vegetal conlleva la alteración del ciclo hidrológico al modificarse las condiciones evapotranspiratorias y los parámetros controladores del binomio escorrentía-infil-

(1) Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. Ciudad Universitaria, s/n. 50009 Zaragoza.

tración. No obstante, el calcinamiento de la vegetación no es total ya que tras el fuego suelen salvarse las estructuras lignificadas de los árboles y arbustos que, junto a los sistemas radiculares subyacentes, reducen la susceptibilidad a la erosión -al limitar la velocidad del flujo y mejorar los parámetros de infiltración- y disminuyen el potencial cinético de la precipitación neta y, por tanto, su capacidad erosiva.

El volumen de necromasa vegetal que resta tras el fuego es función de las características fisionómicas de la vegetación antes de sufrir la perturbación. El conocimiento de tales características, su distribución espacial y su integración en modelos de erosión se contempla como una etapa necesaria para discretizar el espacio en función de la susceptibilidad a la erosión después del fuego.

En esta línea, el presente trabajo pretende integrar este parámetro en el contexto de un modelo cualitativo para estimar la susceptibilidad a la erosión a escala regional en áreas afectadas por fuegos forestales. El modelo recoge las variables que, según nuestra opinión, controlan la intensidad y la distribución de los procesos de erosión en áreas afectadas por fuegos forestales: la agresividad climática, la fragilidad del suelo y la capacidad de protección de la vegetación quemada (Figura 1). La modelización de esta última a partir de dos parámetros principales, la densidad y la estructura de la vegetación, mediante la utilización de diversas fuentes de información consideradas en el contexto de un Sistema de Información Geográfica (SIG) constituye el objetivo principal de este trabajo.



Fuente: Pérez (1997)

Figura 1. Variables incluidas en el modelo de erosión tras el fuego

2. El área de estudio

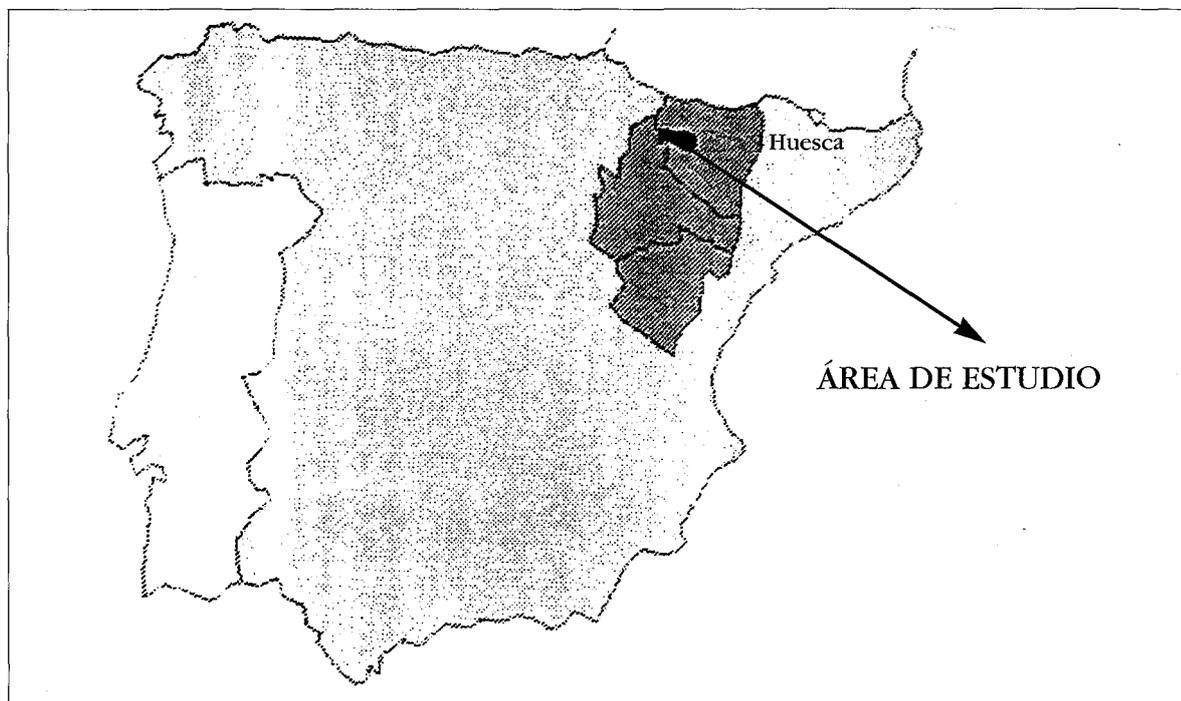


Figura 2. Ubicación del área de estudio

La zona de estudio es un territorio de 1481 km² inscrito en el complejo montañoso que constituyen las estribaciones meridionales del Pirineo occidental aragonés (Figura 2). Esta zona de estudio forma parte de la unidad del Prepirineo, extendiéndose por dos de sus tres subunidades principales: Sierras Exteriores (Loarre, Caballera, Gratal, Águila, Gabardiella y Guara) y Depresión Media.

La peculiar distribución en el espacio de las subunidades prepirenaicas señaladas y la variedad de los materiales que las componen -calizas, areniscas, margas y conglomerados- proporciona una diversidad de ambientes geomorfológicos en un territorio típico de media montaña, donde las alturas predominantes se sitúan en un intervalo comprendido entre 750 m y 1000 m.

Desde el punto de vista climático, destaca el carácter transicional como consecuencia de una situación geográfica entre ambientes mediterráneos continentalizados por el sur y atlánticos de montaña por el norte, donde confluyen diferentes flujos zonales que explican, junto a las peculiaridades topográficas, la gran heterogeneidad climática que registra dentro de un contexto general de carácter submediterráneo con diferentes grados de continentalidad.

Estas características climáticas, la compleja situación biogeográfica del área de estudio -espacio bisagra entre la región Eurosiberiana y la Mediterránea- y

la actuación del hombre, explican la naturaleza y distribución de los dominios vegetales del área de estudio, constituidos grosso modo por vastas repoblaciones de coníferas, formaciones subarbustivas y arbustivas, quejigales y encinares naturales con distinto grado de madurez y degradación, y retazos de hayedo xerófilo y abetar.

3. El papel de la vegetación en los procesos de erosión

A la hora de valorar el papel de la cubierta vegetal carecemos de experiencias que nos acerquen al conocimiento de los parámetros de interceptación cuando aquélla se encuentra quemada, ya que la mayor parte de los trabajos sobre este tema se han llevado a cabo en bosques no alterados, donde, además, se han registrado variaciones considerables en relación con la cantidad y el tipo de la lluvia que es interceptada dependiendo de la densidad y la morfología del follaje (Morgan, 1984). A este respecto, Alvera (1976) apunta las dificultades que entraña comparar experiencias diferentes debido al conjunto de factores que afectan a la interceptación: especies, cobertura, edad, etc. En lo referente a las frondosas, las diferencias fenológicas estacionales complican, más si cabe, la cuantificación de este fenómeno.

Pero si la interceptación es un dato importante a considerar para evaluar la erosión, las variaciones de energía experimentadas por la precipitación neta al toparse con las estructuras arbóreas y arbustivas calcinadas y los flujos que escurren por los troncos constituyen el aspecto más relevante desde el punto de vista de la protección del suelo por parte de la cubierta vegetal tras el fuego. En este sentido, tampoco se conocen experiencias que cuantifiquen los volúmenes de agua escurridos por los troncos quemados, aunque existen trabajos que lo hacen para masas no quemadas (Alvera, 1977).

También existen diversos índices para estimar el papel estabilizador de la vegetación, que expresan la significación de este parámetro en el conjunto del fenómeno de erosión hídrica teniendo muy en cuenta que la calidad de la protección vegetal es función de otros factores que interactúan conjuntamente. Los índices de protección de la vegetación actualizados por la Sección de Hidráulica Torrencial del antiguo Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE) en 1968, constituyen un magnífico ejemplo poniendo de manifiesto las relaciones entre la topografía, la erosión hídrica del suelo y la protección vegetal al definir los conceptos de pendiente de iniciación de la erosión y de pendiente de arrastre total, que relacionan las influencias del relieve y la erosionabilidad del suelo al efecto protector de la vegetación.

No obstante, las relaciones establecidas por éste u otros índices, aunque válidas como punto de referencia, han sido desestimadas toda vez que las

características de los tipos de vegetación que integran no se corresponden con las que presentan las áreas calcinadas por el fuego.

En nuestro caso, se ha asumido una hipótesis de trabajo previa y, en función de la bibliografía consultada y de nuestra propia experiencia de campo, se ha ponderado lo más adecuadamente posible el papel de las diferentes cubiertas vegetales una vez calcinadas.

En cuanto a la hipótesis, se asume la existencia de una relación de proporcionalidad directa entre el volumen de necromasa vegetal y la vegetación existente con anterioridad al incendio, es decir, las masas vegetales densas, arboladas y bien estructuradas, serán teóricamente las que mayor volumen de biomasa residual generarán y, por consiguiente, las zonas donde la energía cinética de la lluvia va a ser menor. Al mismo tiempo, el mayor desarrollo y complejidad de sus sistemas radiculares permitirá una más eficaz infiltración al frenar los flujos superficiales.

Teniendo en cuenta estas últimas consideraciones, el grado de protección aéreo e hipogeo de la vegetación se ha estimado a través de dos parámetros: la densidad de la cubierta vegetal y la estructura de las formaciones vegetales.

4. Fuentes de información y metodología empleada

Tres fuentes de información básicas han sido manejadas en el análisis y modelización de los parámetros vegetales: el *Mapa Forestal de España*, escala 1:200.000, hojas de Tudela y Huesca (números 7-3 y 8-3), los datos procedentes del satélite *Landsat 5*, sensor *Thematic Mapper*, y los datos obtenidos en el campo.

El mapa forestal de España a escala 1:200.000. Esta cartografía, de reciente elaboración, ofrece una variada gama de información relacionada con el estado de la vegetación. Las sobrecargas indicativas de la estructura y talla de las formaciones vegetales resultan especialmente interesantes para espacializar el grado de protección de la vegetación quemada y evaluar el papel de los procesos hídricos.

Datos de satélite. Se ha contado con 4 imágenes *Landsat-5 TM*. Este sensor proporciona imágenes de 8 bits en siete bandas espectrales (tres visibles, tres infrarrojas y una en el térmico) con una resolución espacial de 30 m excepto en el térmico que es de 120 m.

Datos de campo. Junto a los datos de satélite y los extraídos de los mapas forestales se ha contado con otros obtenidos en diferentes campañas de trabajo de campo consistentes, básicamente, en el reconocimiento visual de los principales dominios de vegetación y en la realización de inventarios florísticos.

La densidad de la cubierta vegetal se obtuvo a partir de la media aritmética de los índices de vegetación generados con las imágenes de satélite, y la estructura de las formaciones vegetales, a partir de la información del Mapa Forestal de España. El mapa sintético que representa la capacidad de protección de la vegetación quemada ha sido elaborado relacionando estas variables.

Tabla 1. Propuesta de valoración de las formaciones vegetales en función del grado de protección del suelo.

<i>Formación</i>	<i>Valor</i>
Bosques de talla mayor de 7 m	Muy alto
Reforestación reciente en terrazas	Bajo
Poblaciones artificiales integradas	Medio
Poblaciones artificiales poco integradas	Bajo
Matorral arbustivo entre 3 y 7 m	Alto
Matorral subarbustivo entre 1,5 y 3m	Medio
Matorral medio entre 0,5 y 1,5 m	Bajo
Matorral bajo entre 5 y 50 cm	Bajo
Pastizales	Muy bajo

a) El mapa de estructura de la vegetación

La elaboración del mapa de estructura de la cubierta vegetal presenta las siguientes fases:

- 1.- Digitalización de las sobrecargas indicativas de la talla de las especies dominantes del Mapa Forestal de España.
- 2.- Rasterización del documento vectorial resultante para integrarlo en el SIG.
- 3.- Ponderación de los tipos de tallas presentes en el mapa forestal (Tabla 1).

El mayor grado de protección de la vegetación se ha adjudicado a las formaciones arbóreas y arbustivas, seguidas de las formaciones de matorral medio. En el último escalafón se sitúan los matorrales medio y bajo con herbáceas vivaces y las repoblaciones recientes sobre terrazas.

b) El mapa de densidad de la vegetación

El análisis de la distribución de los valores de densidad de la vegetación se ha realizado mediante el empleo de índices de vegetación a partir de las bandas espectrales 3 y 4 de las imágenes de satélite disponibles. Concretamente se ha utilizado el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) habida cuenta de la ido-

neidad de este tipo de datos para el conocimiento de las características bióticas de la vegetación y de la alta correlación con el índice de superficie foliar, la biomasa y la productividad neta (Hayes, 1985). La formulación del NDVI para las imágenes Landsat TM es la siguiente: $NDVI = ((\text{banda } 4 - \text{banda } 3) / (\text{banda } 4 + \text{banda } 3))$. La generación del mapa de densidad de la vegetación a partir de este índice se ha articulado en dos etapas principales:

- 1.- Promedio del valor digital de los cuatro índices en las imágenes de verano, con el fin de neutralizar las diferencias fenológicas que presenta la vegetación en el período estival.
- 2.- Determinación de cinco intervalos diferentes de densidad discretizando el rango de los índices promediados. El rango observado en el mapa de densidad oscila entre 0,86 y -0,50. La Tabla 2 representa los límites de los cinco intervalos considerados y los pesos que se han adjudicado a cada uno.

Tabla 2. Discretización de los niveles de densidad vegetal

NDVI	Baremo
< 0,32	muy bajo
0,33 a 0,45	bajo
0,46 a 0,59	medio
0,60 a 0,72	alto
> 0,73	muy alto

c) El mapa de capacidad de protección de la vegetación quemada

Finalmente, mediante las funciones típicas implementadas en un SIG, las dos cartografías elaboradas con anterioridad se han cruzado, píxel a píxel, a partir de los criterios expresados en una matriz de tipo bidimensional (Tabla 3). Las entradas están constituidas por los cinco intervalos de densidad y por los cinco grados de protección atribuidos a las diferentes formaciones vegetales, mientras que la salida se presenta como una serie de siete valores que aumentan proporcionalmente a la capacidad de protección de la vegetación quemada, de tal forma que donde confluyen valores de entrada altos, el grado de protección de la vegetación tras el fuego será mucho más significativo que en aquellos sectores donde alguna de las dos variables o las dos resulten poco relevantes.

El resultado final se presenta en el mapa 1. Las zonas más oscuras representan los sectores donde la vegetación va a desempeñar un importante papel

protector frente a la erosión tras el fuego, mientras que los tonos más claros muestran las zonas que dadas las características de la vegetación, previsiblemente, la función de la vegetación en los procesos de erosión será menos importante.

5. Conclusiones

La utilización conjunta de datos de satélite (Landsat-5 TM), mapas forestales y datos de campo ha permitido, con éxito, conocer y espacializar las características de la vegetación desde el punto de vista que se persigue en el presente trabajo. El resultado cartográfico obtenido mediante la aplicación de la metodología propuesta puede colaborar favorablemente en el diseño del modelo de erosión tras el fuego para la zona de estudio al considerarse un aspecto especialmente relevante y difícil de integrar.

Tabla 3. Relación entre la densidad y la talla de la vegetación para la elaboración del mapa de capacidad de protección de la vegetación frente a la erosión tras el fuego.

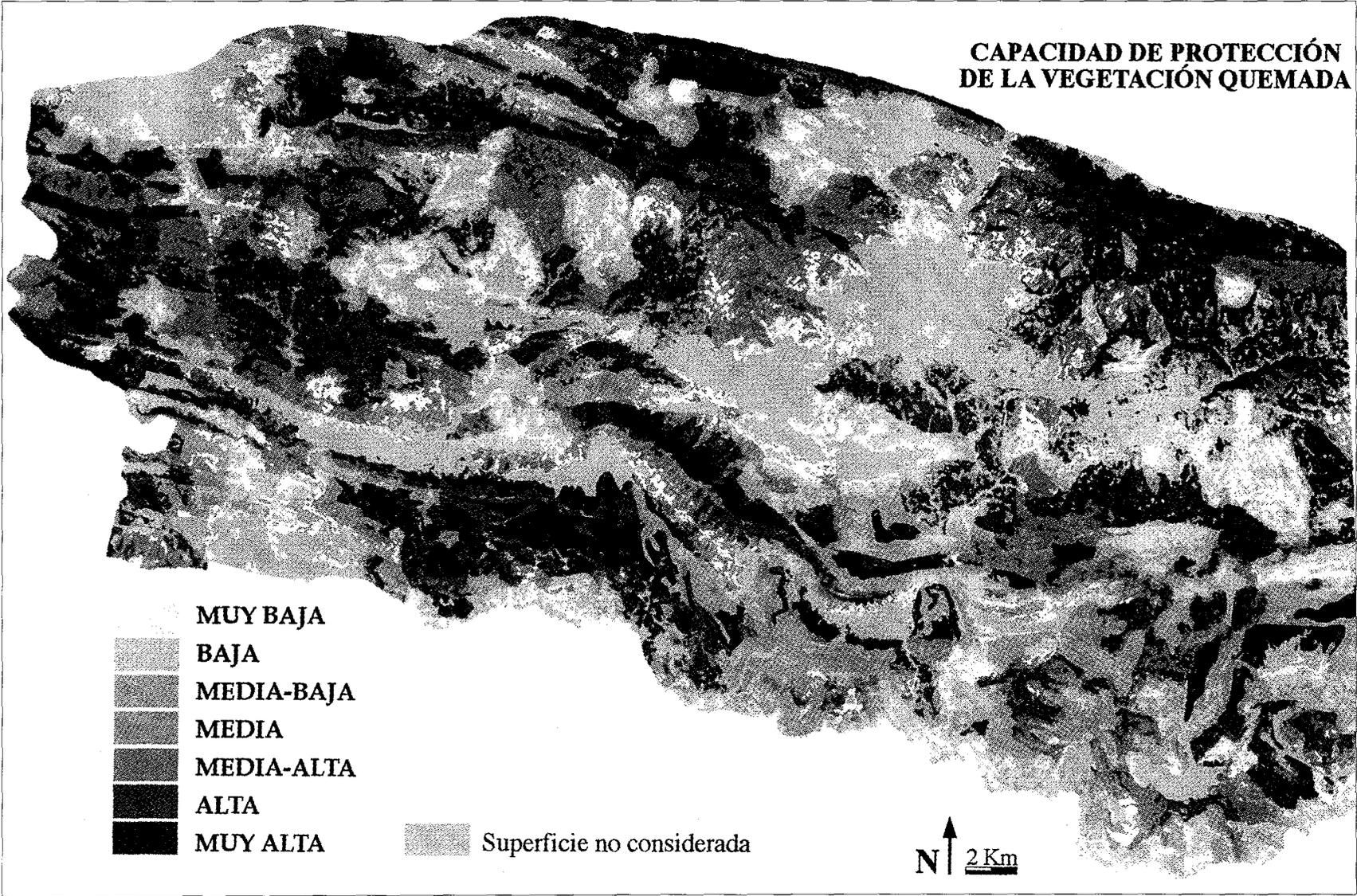
		DENSIDAD				
		<i>Muy poco denso</i>	<i>Poco denso</i>	<i>Densidad media</i>	<i>Denso</i>	<i>Muy denso</i>
TALLA	<i>Muy bajo</i>	1	1	1	1	2
	<i>Bajo</i>	1	2	3	4	5
	<i>Medio</i>	1	3	4	5	6
	<i>Alto</i>	1	4	5	6	7
	<i>Muy alto</i>	2	4	6	7	7

En cualquier caso, hay que señalar que en una segunda etapa de investigación se está comprobando la validez de esta propuesta metodológica mediante mediciones de campo en parcelas experimentales instaladas en una zona incendiada en el contexto de un proyecto de mayor envergadura destinado al "Estudio de procesos ambientales en zonas afectadas por fuegos forestales mediante datos de campo y técnicas de teledetección en el Prepirineo occidental oscense" subvencionado por la Diputación General de Aragón, cuyo equipo de trabajo está compuesto por M.^a T. Echeverría Arnedo (investigadora principal), L. Cancer Pomar, P. Ibarra Benlloch, J. de la Riva Fernández y F. Pérez Cabello.

Este tipo de modelos colaboran estrechamente con la formulación de estrategias para la restauración del medio natural siguiendo directrices ambientales,

**CAPACIDAD DE PROTECCIÓN
DE LA VEGETACIÓN QUEMADA**

INTEGRACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN UN MODELO REGIONAL DE EROSIÓN TRAS EL FUEGO



67 Mapa 1. Capacidad de protección de la vegetación quemada.

máxime teniendo en cuenta que en las últimas décadas la problemática ligada a los fuegos forestales está adquiriendo tintes alarmantes, tanto desde el punto de vista de la frecuencia (acortamiento de los ciclos de recurrencia), como de la superficie afectada.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero del Instituto de Estudios Altoaragoneses, la Universidad de Zaragoza y la Diputación General de Aragón.

Referencias bibliográficas

- ALVERA, B. (1976): Contribución al estudio de la intercepción de las precipitaciones atmosféricas en el pinar de San Juan de la Peña. *P. Cent. Pir. Biol. Exp.*, 7 (1): 95-100.
- ALVERA, B. (1977): Intercepción de las precipitaciones atmosféricas en un pinar Altoaragonés: primer año de observaciones (1971-72). *Pirineos*, 8: 7-13.
- HAYES, L. (1985): The current use of TIROS-N series of meteorological satellites for land-cover studies. *International Journal of Remote Sensing*, 6(1): 35-45.
- M.A.P.A. (1982): *Paisajes erosivos en el sureste español: ensayo de Metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación* (67). Madrid.
- M.A.P.A. (1992): *Mapa forestal de España, escala. 1:200.000, hoja de Huesca*. Madrid.
- M.A.P.A. (1994): *Mapa forestal de España escala. 1:200.000, hoja de Tudela*. Madrid.
- MORGAN, R.P.C. (1984): Implicaciones. En: M. J. KIRKBY y R. P. C. MORGAN (Ed.), *Erosión de suelos*. LIMUSA, S.A. Méjico, 307-352.
- PÉREZ, F. (1997): *La dinámica ambiental posterior al incendio forestal: modelización en el Prepirineo occidental oscense*. Tesis de licenciatura (inédita), Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Zaragoza. Zaragoza.