

II. EL PRONÓSTICO DE LA EROSIÓN DE SUELOS COMO PARTE DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

Antes de comenzar la exposición del presente apartado, hemos de dejar sentado que del concepto "erosión de suelos" nos preocupa, esencialmente, los aspectos vinculados al término pérdida de suelos por erosión hídrica, ya que es ésta la que afecta espacialmente en mayor medida al conjunto del medio físico del territorio que analizaremos. En este sentido quizá convendría diferenciar con las palabras de Mitchell y Bubenzer (KIRKBY, M.J. Y MORGAN, R., 1.980) los términos de: erosión de suelos, pérdida de suelos y producción de sedimentos, que se ven incluidos dentro del concepto general de erosión y que de un modo u otro estarán presentes en nuestro discurso:

- "La erosión de suelos es la cantidad bruta de suelo retirada por la acción dispersante de las gotas de lluvia y la escorrentía.
- La pérdida de suelos es el suelo desprendido de un campo o pendiente determinados.
- La producción de sedimentos es la pérdida de suelos depositada en un punto que está bajo evaluación".

Evidentemente, no abordaremos aquí la amplísima y compleja gama de fenómenos que pueden dar lugar a los términos anteriores, sino que nos limitaremos a los fenómenos de erosión hídrica laminar y en regueros por ser la dominante en las zonas de estudio, obviando la erosión en cárcavas, la erosión eólica, la degradación química, la erosión nival o por criogénesis, la erosión en los cursos fluviales, los movimientos en masa y los fenómenos de morfogénesis que, hasta hace poco, han sido los estudiados tradicionalmente por la Geomorfología. Igualmente dejaremos de lado aquellos procedimientos que derivan las estimaciones de pérdidas de suelo hacia modelos hidrológicos extensivos con la finalidad de prevenir aterramientos o efectuar correcciones de cuencas hidrográficas. Como mencionamos más arriba, nuestra preocupación se centrará en la evaluación de pérdidas de suelos agrícolas y en cómo el uso de la tierra y la gestión de la misma influyen en la conservación de ese recurso esencial para la vida que es el suelo. Serán, así, las técnicas de predicción de pérdida de suelos y los modelos desarrollados para su medición, al igual que los métodos de representación cartográfica más utilizados, los que se analizarán seguidamente.

Perspectiva histórica.

Si bien la preocupación por el problema de la erosión de suelos es algo relativamente reciente, es también cierto que varios países crearon a fines del siglo pasado leyes de protección y organismos dedicados a velar por el recurso suelo. Una acertada relación de las actuaciones mundiales en torno al tema de la erosión a nivel institucional y legislativo es recogida por PEREZ SOBA (JUNTA DE ANDALUCIA, 1.980).

Sin embargo, el difícil, y aún no resuelto problema de la medición y control de la erosión, siguió otros derroteros. Para HUDSON (1.982), las investigaciones científicas sobre este tema comenzaron a finales del siglo XIX en Europa, siendo WOLLNY el primero que realizó medidas en parcelas para comprobar el efecto de la vegetación en la intercepción de la lluvia y con ello, en la degradación de los suelos, así como los efectos de los distintos tipos de suelo y de pendiente en la erosión y evacuación de sedimentos. No obstante, siendo Europa una

tierra de agricultura milenaria, donde el hombre ha sabido, en líneas generales, y hasta el presente, coordinar la explotación del recurso suelo con su mantenimiento mediante, unos sistemas de explotación y manejo adecuados, será en Estados Unidos donde se desarrollen las primeras experiencias cuantitativas, que se vieron fuertemente promocionadas debido a las grandes catástrofes ocasionadas en los años 20 por la erosión espectacular producida en las grandes planicies del interior del país como consecuencia de unos usos inadecuados de las tierras.

Los graves problemas planteados por la puesta en cultivo de tierras vírgenes hicieron que los agricultores comenzasen a establecer prácticas de conservación. Esto desembocaría en la aplicación, por el Departamento de Agricultura, de una política de protección del suelo. Esta política se plasmó en la creación de varios organismos oficiales que estudiaban el problema de la erosión edáfica. Dichos organismos serán los predecesores del Servicio de Conservación de Suelos, que desde su creación, se situó en la punta de lanza de la investigación en cuestiones vinculadas con la erosión del suelo.

Los primeros estudios abordados darían lugar a resultados de índole cualitativa, si bien, desde el comienzo, la preocupación por la cuantificación de los procesos fué esencial. Así en 1.917, MILLER, llevó a cabo un estudio sobre parcelas para considerar el efecto de cultivos y rotaciones en la erosión. Hasta 1.940 los trabajos se limitaron a la investigación aplicada bajo condiciones ambientales llegándose a obtener una noción elemental de los factores que afectaban a la erosión (KIRKBI and MORGAN. 1.984). A partir de entonces se desarrollaron estudios y ecuaciones para predecir la pérdida de suelos mediante una variable independiente única, que permitían conocer situaciones locales en las que el conjunto de factores que contribuyen a la erosión eran casi constantes. Con el paso del tiempo, y a medida que se enriquecía el conocimiento del problema y se obtenían datos de muy diferentes lugares, se formularon ecuaciones de factores múltiples. Estas desembocarán en la famosa Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (U.S.L.E.) de WISCHMEIER (1.958) que, a pesar de sus carencias, sigue haciendo, hoy día, honor a su nombre, siendo de aplicación casi universal. En este sentido, podemos diferenciar dos períodos en cuanto al desarrollo de ecuaciones empíricas para predecir las pérdidas de suelo por erosión hídrica, uno anterior a la formulación de la U.S.L.E. y que culminaría con ella, y otro posterior, que desembocará en la situación actual de revisión de principios y predominio de los modelos hidrológico- sedimentarios. Sin embargo, no será sólo en Estados Unidos donde se desarrollen los principales estudios sobre la erosión. En Africa y bajo el auspicio de diferentes organismos internacionales, diversos investigadores llevan a cabo estudios de una gran importancia para el conocimiento de esta problemática y el interés mundial fué puesto en evidencia a raíz de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desertificación (Nairobi, 1.977) que provocó una concienciación internacional sobre los diversos problemas de la erosión en la Tierra, conllevando la creación de centros de investigación y programas específicos en numerosos países para buscar un mejor control de la erosión.

Por lo que se refiere a los estudios de erosión, el periodo abarcado por las décadas de los años 40 y 50 ha sido denominado, por algunos autores, de "desarrollo empírico" (MINTEGUI et al. 1.983) y en él varios científicos comenzaron a formular ecuaciones para la predicción de la erosión del suelo. Previamente, los trabajos de LAWS (1.940) y ELLISON (1.944) dejaban sentadas las bases de la importancia de la lluvia en cuanto a su intensidad y energía, en el proceso de la erosión.

La primera ecuación predictiva, acomodada a características locales, fué dada por ZINGG (1.940), en ella se relacionaba la pérdida de suelo con la longitud y grado de inclinación de la pendiente. Mediante experimentos en parcelas se llegó a la conclusión de que la pérdida de suelos por escorrentía aumenta 2.61-2.80 veces al duplicar el grado de pendiente y, 3.03 veces al duplicar la longitud. No obstante, recientes experiencias parecen demostrar que la erosión no aumenta regular, ni necesariamente, con la longitud de la pendiente (NEBOIT, R. 1.983).

En 1.941 SMITH evaluó los efectos de algunas prácticas de conservación sobre cuatro rotaciones de cultivo y tratamientos de suelo para un único perfil, determinando:

- Que las pérdidas de suelo, cuando se aplican técnicas de laboreo según curvas de nivel, son del 57 por ciento con respecto a las observadas al laborear en el sentido de la pendiente.
- Que cuando se aplican técnicas de rotación de cultivos por franjas las pérdidas se reducen a un 25 por ciento de las existentes en la condición menos conservacionista.
- Que la aplicación de aterrazamiento reduce la erosión a un 3 por ciento de la producida en el laboreo a favor de la pendiente.

Estas conclusiones, válidas para un único suelo, fueron generalizadas por BROWNING (1.947) a un gran número de rotaciones y suelos poniéndose, de este modo, el pilar de lo que sería el factor prácticas de conservación de la posterior Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE).

Partiendo de los estudios de LAWS Y ELLISON, MUSGRAVE (1.947) establecería la relación existente entre las características de la lluvia y la cantidad de suelo erosionado. Determinó que la erosión era proporcional a la máxima precipitación en 30 minutos y, considerando la gran cantidad de datos existentes sobre experiencias con parcelas en las que se controlaban rotaciones, longitud y grado de pendiente, presentó una nueva ecuación predictiva.

Por otra parte, SMITH y WHITT introdujeron una modificación a la ecuación formulada anteriormente por ZINGG, la cual presentaba problemas para la medición de pérdidas en suelos con pendientes inferiores al 4%. Además en 1947 y 1948 formularon un método para la estimación de pérdida de suelos arcillosos haciendo uso de los efectos de longitud y grado de la pendiente, rotaciones de cultivos, tipos de suelos y prácticas de conservación. La fórmula por ellos establecida sería prácticamente similar a la USLE. Sólo la ausencia del factor climático diferencia, en la forma, a esta ecuación de la que posteriormente formularía WISCHMEIER.

En 1.956 VAN DOREN y BARTELLI profundizarán algo más al incluir, como factores para predecir pérdidas de suelo: los efectos del tipo de suelo, inclinación de la pendiente, prácticas de conservación, erodibilidad del suelo, erosión previa, rotaciones y manejo de cultivos y, finalmente, la intensidad y frecuencia de una precipitación de 30 minutos.

Paralelamente, en Africa, se desarrollaban numerosos estudios sobre parcelas experimentales que culminarían con la formulación por parte de HUDSON (1.961), de una ecuación de predicción de pérdida de suelo muy similar a la que estableciera WISCHMEIER.

La elaboración de ecuaciones predictivas en numerosos lugares y condiciones permitió

que, a finales de los años 50, se estuviese en disposición de centralizar y generalizar el ámbito de aplicabilidad de las ecuaciones a más de una región, puesto que se había llegado a evaluar, por separado, cada uno de los factores que intervienen en la erosión del suelo. La centralización de datos condujo a una ecuación aceptada en EE.UU. y posteriormente de aplicación en el mundo entero. Fueron WISCHMEIER y SMITH quienes a finales de los años 50 reunieron la gran cantidad de experiencias acumuladas y crearon la que se denominaría oficialmente Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (WISCHMEIER and SMITH, 1.965). La ecuación tenía como propósito aislar cada una de las variables que intervienen en el proceso de erosión y reducir sus efectos a un número, de modo que al multiplicar todos los números obtenidos resultase directamente la cantidad de suelo perdido. El procedimiento seguido fué pasar de apreciaciones cualitativas a notaciones cuantitativas a través de innumerables experimentos sobre suelos, rotaciones, pendientes y condiciones climáticas muy variadas.

La ecuación presentada por estos autores (la cual será analizada en cada uno de sus factores más adelante), se expresó en los siguientes términos:

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

donde:

- A**, es la pérdida de suelo en toneladas inglesas por acre.
- R**, es un índice de erosividad de la lluvia que se expresa mediante la relación entre energía e intensidad de una precipitación máxima en un período de 30 minutos.
- K**, es un factor de erodibilidad del suelo; un número que refleja la propensión del suelo a sufrir un cierto tipo de erosión. Las unidades dependen de la cantidad de suelo perdido por unidad de erosividad R y bajo unas condiciones típicas especificadas.
- L**, es el factor de longitud, una relación que compara las pérdidas de suelo con la de un campo experimental de longitud dada (22.13 metros).
- S**, es un factor de pendiente, que compara la pérdida de suelo con la de una parcela experimental de pendiente especificada (9%).
- C**, es el factor de cultivo, una relación que compara la pérdida de suelo con la de una parcela experimental cultivada en condiciones prefijadas de barbecho desnudo.
- P**, es el factor de conservación, una relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo en el que no se realiza práctica alguna de conservación.

Esta ecuación, con respecto a la que anteriormente era de uso corriente (la de MUSGRAVE), presentaba una serie de mejoras que en palabras de HUDSON (1.980) serán:

- i) "El nuevo índice de erosividad permitía considerar de modo más preciso las diferencias de pluviosidad de una tormenta a otra, o de una a otra estación.
- ii) Permitió también la identificación de climas locales y tener en cuenta las técnicas de cultivo adecuadas a las mismas.

- iii) La comparación de resultados, procedentes de las estaciones experimentales con distintos tipos de suelo, amplió el ámbito de los valores de erodibilidad, permitiendo obtener, así, una escala generalizada de evaluación.
- iv) Se tenían en consideración las interrelaciones entre algunos aspectos de cultivo, como la productividad, la sucesión de cultivos en la rotación o el tratamiento de los residuos de cosecha, todos ellos de gran trascendencia en la erosión".

Esta ecuación sigue siendo, hoy día, la de mayor uso en todo el mundo, si bien se ha criticado de no ser realmente universal (KIRKBY y MORGAN, 1.984) porque los valores de los parámetros se presentaron condicionados a las dos terceras partes orientales de Estados Unidos. Hay que tener en cuenta, no obstante, que la USLE se diseñó, en principio, como un auxiliar útil para la planificación de la conservación y que como tal ha de ser tomada siempre que no hayan sido perfectamente delimitados los valores de los factores que en ella intervienen, para una zona determinada.

Una vez definida la USLE, los estudios tendentes a predecir la pérdida de suelos por erosión hídrica han seguido, esencialmente, dos vías. De una parte, acomodar la USLE a las situaciones específicas de diferentes países, haciendo, con ello, modificaciones en algunos de sus factores. De otra, formulación de nuevas ecuaciones tendentes a predecir la producción de sedimentos en una cuenca. Con ello, se ha iniciado un nuevo proceso hacia el establecimiento de predicciones basadas en modelos físicos detallados, que simulen la erosión como un proceso dinámico y describan el movimiento del suelo a lo largo de una pendiente y no sólo a través de relaciones empíricas combinadas con ecuaciones, como hasta el presente.

Acomodaciones a situaciones diferentes hicieron que numerosos autores modificaran el factor R de erosividad de la lluvia (WOODWARD, 1.975; ATESHIAN, 1.974; MCCOOL, 1.976; ROOSE, 1.977; HUDSON, 1.961). Otros, como ELWELL (1.977), formularían nuevas ecuaciones para estimación de pérdida de suelos. La ecuación de ELWELL supone una vuelta a las formulaciones locales en las que sólo se considera la erosividad de la lluvia en función del resto de variables, considerando a la precipitación como una constante local.

Sin embargo, la preocupación por llegar a predecir la producción de sedimentos en una cuenca lanzó a los investigadores a la formulación de modelos físicos hidrológicos de los que sólo mencionaremos los más importantes. No obstante, haremos alusión, previamente, a los estudios de FOURNIER (1.960) y DJOROVIC (1.974) que hacen uso de expresiones ecuacionales empíricas para determinar la producción de sedimentos en una cuenca.

El método de FOURNIER (1.960) ha sido quizás de los más utilizados, por su sencillez, para evaluar el caudal sólido transportado por la red hidrográfica. Este método, excesivamente simple para el análisis de situaciones locales, se fundamenta, sólo, en dos factores, de los múltiples que intervienen en el fenómeno de la erosión, a saber el clima y el relieve. A partir de datos referidos a degradación específica de grandes cuencas (siempre superiores a 2000 Km²) FOURNIER llegó a determinar cuatro tipos de ajustes por regresión lineal, dependiendo de las situaciones climáticas y de relieve dominantes.

En el extremo opuesto, en cuanto al tamaño y características, de las superficies a evaluar (pequeñas cuencas de carácter torrencial) se encuentra el modelo de DJOROVIC (1.974). Su

modelo evalúa la degradación específica en cuencas, considerando como parámetros definitorios: precipitación y temperatura, suelo, relieve, vegetación y grado y tipo de intensidad de los procesos erosivos existentes en la cuenca.

Como mencionamos más arriba, estos desarrollos ecuacionales propuestos hasta aquí no responden al análisis de la dinámica de la erosión. Es decir las ecuaciones no hacen intervenir leyes físicas, sino que establecen relaciones de variables con un producto final. La formulación de modelos físicos sobre la erosión irá íntimamente ligada a modelos hidrológicos.

En este sentido, MEYER y WISCHMEYER (1.969) definieron la erosión hídrica como formada por cuatro subprocesos, los cuales pueden ser explicados mediante relaciones físicas. La disgregación del suelo por el efecto de golpe de la lluvia, el transporte del suelo por salpicadura, la disgregación por la escorrentía y, finalmente, el transporte por la escorrentía.

La relación de estos cuatro subprocesos llega a definir la cantidad de acarreo por tramos de superficies analizadas. No obstante, mediante algunas modificaciones sencillas de la USLE se han llegado a definir diversas aplicaciones, estando, la mayor parte de ellas, vinculadas a la predicción de producción de sedimentos. Así, RENARD (1.974) modificó la USLE para estimar la producción de sedimentos en pequeñas cuencas. En su ecuación intervienen, además de la USLE (RKLSCP), un factor de erosión en el canal de circulación de aguas y sólidos. Otros autores, como ONSTAD (1.976), utilizaron también la USLE modificada como componente principal de un modelo de producción de sedimentos en pequeñas cuencas. Por su parte, WILLIAMS y BERNDT (1976) modificarán la USLE con la misma intención de predecir aportes de sedimentos. Estas tres modificaciones constituyen igualmente modelos empíricos aplicados a regiones concretas y, por consiguiente, carecen de validez universal, puesto que la verificación de resultados es muy limitada (MITCHELL y BUBENZER, en KIRKBI y MORGAN, 1.984).

Finalmente, hay que señalar que las últimas tendencias buscan la aplicación de modelos físicos de erosión e hidrología informatizados. De este tipo es el modelo hidrológico denominado HYMO, utilizado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, del que existe una buena descripción en MINTEGUI et al.(1.983) y las aplicaciones de cartografía automática desarrolladas por WAY (1.978).

Métodos para la representación cartográfica de la erosión.

La erosión es un fenómeno que puede ser cuantificado, caso de las ecuaciones analizadas anteriormente, o puede ser cualificado para establecer gradaciones que permitan una rápida actuación sobre las tierras. Es, sobre todo, en este último caso que se justifica la representación espacial de las clases de erosión. No obstante, la cuantificación de la erosión también puede ser expresada cartográficamente. De los distintos métodos empleados para representar espacialmente el fenómeno de la erosión hídrica trataremos a continuación brevemente.

La cartografía de la erosión persigue, como finalidad principal, expresar la situación actual o potencial de erosión en un territorio determinado para permitir conocer cómo se han de distribuir las medidas de conservación del suelo, bien sean estas mecánicas o de manejo.

En este sentido, los sistemas de clasificación de tierras por su capacidad agrológica analizadas en un capítulo anterior suponen una aproximación al fenómeno de la erosión en cuanto que evalúan la extensión y grado de limitaciones para el uso agrícola de las tierras, poniendo de relieve, ante todo, los riesgos de erosión. Es así, como el "Manual de Conservación de Suelos" del Servicio de Conservación de Suelos (U.S.D.A. 1.973), supone un tratado de clasificación de tierras según el sistema de clases agrológicas (KLINGEBIEL y MONTGOMERY, 1.961) y de medidas para contrarrestar la erosión en las diferentes clases de aptitud definidas. Supone, pues, este método, una aproximación cartográfica indirecta a la erosión.

No obstante, estos sistemas de clasificación y cartografía no ofrecen relaciones con procesos de erosión. Existen métodos desarrollados para representar expresamente los rasgos que son indicadores de erosión (arroyos, barrancos, movimientos en masa,...). Cuando estos indicadores son analizados en distintas fechas se obtienen cartografías dinámicas de los procesos de erosión, pudiendo ser definidas las tendencias y cambios en la erosión. Estos mapas siguen metodologías eminentemente geomorfológicas con uso de análisis de campo y fotografías aéreas, y utilizando patrones geomorfológicos como: erosión laminar, en arroyos, barrancos, crestas, pendientes, (MORGAN, 1.979). Otros sistemas de representación acuden a registrar tanto los aspectos de la erosión, como aquellos factores que influyen en la misma. Es el caso de los mapas de morfoconservación desarrollados por el I.T.C. en Holanda (VERSTAPEN y VAN ZUIDAM, 1.969).

Por otra parte, la información sobre los mapas puede ser evaluada cualitativamente, indentificando los más importantes procesos de erosión que estén actuando, las zonas de mayor riesgo de erosión, etc., de modo que se realice una descripción cualitativa de la situación de las tierras. Igualmente, se pueden efectuar evaluaciones numéricas simples, cubriendo los mapas mediante mallas regulares o asignando una calificación jerárquica a cada zona homogénea, en que el espacio analizado haya sido dividido respecto a la pendiente, el uso de la tierra, la erosividad... Este último tipo de representaciones es de una gran utilidad en la gestión de las tierras, puesto que facilita, de un modo inmediato, una gradación de matices en torno al problema de la erosión, permitiendo conocer espacialmente las zonas más afectadas y los factores de mayor influencia en el problema de la erosión.

Los primeros métodos a que hacíamos referencia suelen ser utilizados en los niveles de evaluación de escala local, haciéndose uso intensivo de los recorridos de campo y las fotografías aéreas. El segundo tipo de métodos suele ser empleado en escalas de reconocimiento, manipulándose documentos cartográficos previamente existentes, si bien, es igualmente importante una fase de constatación y validación en campo e incluso, recientemente el uso de imágenes de satélites de reconocimiento de recursos para analizar diversos factores de la erosión en espacios amplios.

Describiremos, por el momento, algunos métodos de representación cartográfica de la erosión actual o de los riesgos de erosión que han sido o están siendo utilizados, por diversos organismos y autores, de cara a obtener una información básica para un mejor uso y gestión de las tierras. Esos métodos pueden ser divididos en: métodos de evaluación de riesgos de erosión, de índole eminentemente cualitativa; métodos de evaluación de erosión actual, de índole cuantitativa y métodos mixtos, que evalúan tanto los riesgos como la velocidad actual de degradación por erosión hídrica.

Métodos cartográficos de evaluación de riesgos de erosión.

Aunque el riesgo de erosión se define (FAO, 1.980), como el riesgo de que ocurra erosión en condiciones definidas de clima, suelo y topografía y considerando condiciones adversas de uso, diferentes a las del uso establecido, incluimos aquí algunos métodos que van más allá del concepto riesgo, cualificando la vulnerabilidad y susceptibilidad a la erosión de los suelos. Son todos ellos métodos cualitativos que emplean baremos de puntuación para los diversos factores que se analizan y por cuyo sumatorio final se establecen las clases de riesgos, vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión. De este tipo es el método de vulnerabilidad a la erosión de STEINITZ y SINTON, (1975). El modelo propuesto por estos autores parte de la aplicación de una malla cuadrada a las tres variables de mayor relevancia en cuanto a los fenómenos de erosión en una zona. Estas variables pueden ser simples (la pendiente), o ser resultado de un análisis complejo de variables. La principal ventaja de este modelo es su aplicación automática, ya que un programa de ordenador va cartografiando el resultado de la evaluación para cada cuadrícula de la malla empleada. Se suma, a ello, su gran simplicidad, que facilita una rápida ejecución.

Sin embargo, un modelo en el que sólo se emplean tres factores en el análisis de la vulnerabilidad a la erosión se nos presenta bastante limitado.

Similares características ofrece la clasificación en zonas homogéneas, por su grado potencial de erosión (MONTURIOL. 1.978). Este método de superposición cartográfica resulta extremadamente simple, no sólo al considerar dos factores de riesgo (olvidando el clima y la vegetación), sino también por simplificar, en exceso, los niveles de erodibilidad de los suelos, que, además, no son delimitados como tales, sino como unidades litológicas.

Bastante más complejo es el método del I.T.C. de Holanda para la evaluación de la susceptibilidad frente a la erosión (ZUIDAN y CANCELADO, 1977). Este método se ajusta al tipo de evaluaciones físicas que tienen como criterios de diagnóstico, fundamentalmente, las susceptibilidades o condiciones favorables de los suelos para sufrir degradación por erosión en general, según sus características intrínsecas, así como otras extrínsecas de directa influencia en los mismos. El método, en su origen, pretende una clasificación de propensión a la erosión de las tierras basándose en un análisis exhaustivo de fotografías aéreas y cartografía temática a gran escala. A partir del análisis de campo y de la fotointerpretación se obtienen unidades geomorfológicas homogéneas (pendiente, morfología, rocas y suelos), que serán las utilizadas como base para la aplicación de baremos parciales. El resultado de la susceptibilidad a la erosión, para cada unidad, se obtiene con base en los datos mencionados, de modo que cada parámetro es clasificado, medido y anotado sobre una ficha correspondiente a cada unidad geomorfológica delimitada. La suma de todos los parámetros permite obtener para cada unidad homogénea un valor numérico que indicará la clase de susceptibilidad a la erosión a la que pertenece la unidad.

Este método, extraordinariamente completo en la valoración de los factores de pendiente, suelos-rocas madre, vegetación y práctica de conservación, presenta, a nuestro entender, una grave deficiencia en la consideración, excesivamente simplificada, de los factores climáticos (la lluvia en particular). Hemos de añadir, igualmente, que la delimitación de unidades homogéneas en varios factores, desde el inicio de la aplicación, está condicionando el resultado final a obtener, por lo que sería más idóneo operar con el método de superposición cartográfica de los diferentes factores, por separado, para la consecución de unos resultados más objetivos.

Métodos cartográficos para la representación de las pérdidas actuales de suelos.

Estos métodos son cuantitativos, en el sentido de que resultan de la plasmación, en cartografía, de algunas de las ecuaciones que hemos analizado anteriormente, y que estaban destinadas a predecir la cantidad de sedimentos que se pierden en unas condiciones de uso determinadas. En este sentido, la aplicación de cualquier ecuación al inventario y cartografía de la erosión actual exige dividir el territorio en unidades de estudio. Los trabajos realizados por distintos autores actúan en tres campos diferentes: la división en unidades homogéneas, la división en cuencas o la división en unidades geométricas. De estos tres sistemas de trabajo destacaremos el modelo de WAY (1.978) basado en la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos, a una malla cuadrada, y ello, por su relación con la aplicación metodológica que nosotros efectuaremos sobre la zona estudiada. El modelo WAY consiste en un programa de ordenador que hace aplicación de la USLE a unidades geométricas (cuadrículas) de cualquier tamaño. El programa codifica y procesa los datos de forma que al final se obtiene una cartografía automática del territorio dividido en cuadrículas.

Métodos cartográficos para la representación de los riesgos y pérdidas actuales de suelos.

Estos métodos suelen tener una finalidad mixta, haciendo uso tanto de análisis cualitativos, como de aplicaciones de ecuaciones empíricas para expresar las pérdidas de suelo en una zona determinada.

Igualmente, son generales y se utilizan en escalas a nivel de reconocimiento, como un primer paso en el conocimiento de riesgos y erosión actual. En la actualidad, son empleados por distintos organismos internacionales para delimitar, en una evaluación previa, el estado presente y las posibles evoluciones del fenómeno de la erosión. En general, suelen utilizar, como métodos de representación, la división en zonas homogéneas o la aplicación de retículas geométricas, siendo poco frecuente el uso de las unidades cuenca.

Entre este tipo de modelos destaca el desarrollado para la evaluación de riesgos de erosión hídrica actual de Canadá (COOTE, D. et al. 1982). Este método es de tipo puramente cualitativo y tiene una finalidad de evaluación general para delimitar las zonas y la magnitud de los procesos de degradación en tierras agrícolas. El objetivo fundamental es permitir conocer la situación actual y de riesgo de degradación, en líneas generales, para, acto seguido, pasar a hacer una evaluación cuantitativa de los procesos de degradación en las zonas más afectadas.

El método de representación cartográfica seguido se fundamenta en el uso de unidades homogéneas creadas como consecuencia de la superposición de los diversos mapas temáticos definidores de los riesgos de erosión, siendo el proceso de superposición de factores muy complejo. Esta metodología expresa fielmente un caso de aplicación a una zona muy concreta, donde los condicionantes de la erosión son utilizados en función de las peculiares características de unas tierras sometidas a una reciente colonización o mejora. Las características del territorio evaluado hacen que los niveles de cualificación queden establecidos en función del conocimiento del mismo territorio y, ello, hace poco extrapolable esta metodología a situaciones ambientales diferentes a las de Canadá.

Otro método cartográfico de valoración de riesgos de erosión es el de evaluación de la degradación por erosión hídrica de FAO (1980). Dentro del marco del desarrollo de una metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos a nivel general, FAO

recomendó la aplicación, a diferentes escalas y condiciones ambientales, de la metodología que, a continuación, exponemos. Las pretensiones eran múltiples, destacando:

- i)** iniciar una evaluación global de la degradación actual y potencial de los suelos con soporte en informaciones temáticas ya existentes;
- ii)** formular una metodología y criterios uniformes para medir y vigilar la degradación de los suelos;
- iii)** fomentar el uso de nuevas tecnologías en la evaluación y seguimiento de la degradación de los suelos en el mundo;
- iv)** estimular la cooperación internacional en el estudio de estos temas.

Establecidos y definidos diversos conceptos referidos a la degradación de los suelos, se incluyen, como procesos causantes, los siguientes: erosión hídrica, eólica, salinización, alcalinización, acidificación, toxicidad, degradación física y degradación biológica. De estos procesos, nos centraremos, obviamente, en la erosión hídrica. Según FAO, su metodología evalúa, conjuntamente, varios tipos de erosión en cárcavas y los movimientos en masa. No obstante, como veremos, el método se centra en definir, esencialmente la erosión por salpicadura y laminar, quedando el resto de los procesos definidos o cartografiados atendiendo a criterios de condicionantes adicionales.

En la ecuación de la erosión hídrica se plasman tanto los riesgos potenciales de degradación, como los existentes por el uso actual de las tierras, con la peculiaridad, frente a los modelos cartográficos hasta ahora analizados, de que se expresan en cifras numéricas, no siendo, pues, un método exclusivamente cualitativo. Para llegar a esta evaluación cuantitativa, tanto de riesgo, como de erosión actual se emplean unidades temáticas que son valoradas con arreglo a baremos especiales. La superposición de estas segregaciones cartográficas permite conocer cuáles son los índices a utilizar en la ecuación paramétrica que define la erosión hídrica y que no es más que la USLE simplificada.

Como ya mencionamos al comienzo, esta metodología provisional, apta para ser aplicada a cualquier escala y medio, es una adaptación simplificada de la USLE y sus resultados, aún siendo cuantitativos, no tienen otro valor que el de cualificar una situación, puesto que los datos de degradación no tienen una mínima constatación de campo. No obstante, es de destacar el perfecto planteamiento de factores, que hace de esta metodología una de las más aconsejables a adoptar en una primera aproximación.

Los mapas de paisajes erosivos y pérdida de suelo (ICONA, 1.982, 1.983), constituyen un ejemplo de método cartográfico para la representación de la erosión actual desarrollado en España. Las continuas advertencias internacionales sobre la problemática de la erosión en el mundo y en concreto, la existencia de zonas en grave riesgo de desertificación por procesos de erosión, en la zona mediterránea, llevó a la creación del proyecto "LUCDEME" (Lucha contra la desertificación y la erosión en el Mediterráneo), cuyos fines esenciales, a nivel técnico y de investigación, son: el análisis de los distintos recursos y factores implicados en los procesos de desertificación y la determinación de los sistemas y técnicas aplicables para la lucha contra la desertificación. Para el desarrollo de este proyecto ICONA escogió una zona piloto, el Sureste de España, donde se llevó a cabo un ensayo metodológico para la cualificación, cuantificación y cartografía de paisajes erosivos. Estos ensayos pasarán posteriormente a ser utilizados para el

estudio de la erosión en cuencas hidrográficas a nivel nacional, (ICONA, 1.987). La metodología empleada pretende, por una parte, clasificar el territorio en paisajes erosivos, definiendo a estos como porción de terreno con similares características en aspectos relacionados con la erosión, y, por otra, cuantificar los procesos en estos paisajes.

La representación cartográfica de los diferentes tipos de paisajes erosivos se obtiene efectuando una superposición de mapas preliminares de protección por vegetación y clases geomorfológicas, y agrupando las posibles combinaciones en 7 grandes tipos de paisajes erosivos. Queda así establecido un mapa cuyas unidades son tomadas como básicas para la elaboración del subsiguiente proceso de cuantificación de la erosión hídrica. Esta cuantificación se efectúa distribuyendo una serie de parcelas de control, dentro de cada unidad de paisaje, posteriormente, mediante el trazado automático de curvas de igual valor se establecen los mapas pertinentes.

Respecto a este método de representación, de indudable validez como primera aproximación al fenómeno de la erosión, hemos de realizar algunas reflexiones.

- El esfuerzo realizado en la toma de medidas en parcelas de control, no es parejo con la división inicial en paisajes erosivos. Las unidades de paisajes erosivos creados constituyen, realmente, un mapa de pendientes algo modificado.
- Las clases geomorfológicas consideradas están excesivamente simplificadas en litofacies, mientras el suelo, como tal, sólo es considerado en las parcelas de control.
- La elaboración de una cartografía automática, mediante el trazado de curvas de igual valor, empleando informaciones discretas, que suponen menos de un 5% de la superficie analizada y teniendo en cuenta fenómenos que están íntimamente relacionados con unidades físicas reales del terreno, no parece un método muy apropiado.
- La asignación de los valores de pérdidas de suelo a los paisajes erosivos supone una simplificación de la realidad geomorfológica de las zonas.

Por consiguiente, creemos necesario un mayor esfuerzo en la delimitación de unidades de referencia, considerando la cartografía geomorfológica y de suelos esencial para el análisis de los fenómenos de erosión.

Por último, pertenece a este grupo de métodos el desarrollado para la evaluación de riesgo actual de erosión y de riesgo potencial en la Comunidad Económica Europea, (DG XI, 1986). Dentro del marco de los trabajos encaminados al desarrollo del Programa CORINE *, la Comunidad Económica Europea, a través de la DG XI, ha encomendado a un grupo de expertos la realización de trabajos en zonas piloto para evaluar, en el conjunto de los países Mediterráneos de la Comunidad, los riesgos de erosión actual y los riesgos potenciales existentes. Para el desarrollo de estos trabajos se ha creado una metodología que se ha experimentado en varias zonas pilotos seleccionadas en toda Europa, entre las cuales se halla el Suroeste de la Provincia de Huelva (MOREIRA et. al, 1986). La aplicación metodológica conlleva el uso de medios informáticos para su realización. La expresión cartográfica se lleva a cabo mediante la evaluación, con una malla geométrica, de los diferentes factores considerados.

* CORINE: Coordinated Information of Environment.

Estos factores son combinados entre sí mediante el uso de matrices de reducción lo cual permite averiguar, de un modo cualitativo, tanto el riesgo actual de erosión, como los riesgos potenciales existentes.

El método, aún siendo excesivamente simple, servirá para ofrecer una primera visión del fenómeno en la Europa Comunitaria, de un modo homogéneo, y permitir, con ello, definir las zonas de mayor problemática y aquellas donde los estudios habrán de profundizarse más.

Pensamos que lo más importante de este método es la consideración de numerosos aspectos climáticos que en la Europa Mediterránea pueden ser, inicialmente, considerados como los aspectos de mayor influencia en la segregación de zonas.

Los estudios de erosión en España, con especial referencia a Andalucía.

Si bien es cierto, que la "Erosión" se convierte anualmente en España (y más aún en Andalucía), en protagonista de titulares y artículos periodísticos sobre esta problemática, evidentemente acuciante en algunas zonas, no lo es menos que el protagonismo se vincula a coyunturas muy específicas, como pueden ser la celebración del día mundial del medio ambiente, del día mundial forestal, etc.

En la mente de todos están titulares como: "La mitad de España será un desierto" (Diario Informaciones, 21 de marzo de 1.979), "Media España en proceso de desertización" (La Vanguardia, 28 de julio de 1.978), "La España que se va al mar. Un Gibraltar todos los años", (El País, 6 de septiembre de 1.979), que hacen especial hincapié en los peligros de pérdidas por erosión que sufren zonas como el Levante y el Sureste del país y que se vinculan específicamente al problema de deforestación y a las peculiares características climáticas que estos lugares presentan.

Por otra parte, se hace palpable un desconocimiento, por los habitantes y usuarios de un terreno, de qué es la erosión y qué significa o puede significar la misma. Una encuesta acerca de la problemática medioambiental en Andalucía solicitaba información, a todos los municipios de la región, sobre la distribución de la intensidad erosiva (CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE, 1.979). Del análisis de las respuestas facilitadas se puede deducir que el término erosión-pérdida de suelos agrícolas, se entendía, en numerosos casos, como desaparición de zonas de cultivo (creación de urbanizaciones, infraestructura, etc.), quedando esta encuesta como una muestra de la falta de información existente, sobre los problemas inherentes a la erosión.

No obstante, un hecho como el que se realice una encuesta abierta a los Ayuntamientos, por parte de un organismo oficial, para conocer el grado de distribución de la intensidad erosiva en Andalucía, evidencia la carencia de datos de carácter técnico o científico para abordar con un mínimo de seriedad el tema de la erosión en la región.

La celebración de diversas jornadas científicas sobre el problema de la erosión (Almería, 1.980) y, sobre todo, el desarrollo de los trabajos vinculados al denominado proyecto LUCDEME (Lucha Contra la Desertificación en el Mediterráneo) están poniendo las bases de un conocimiento científico del problema de la erosión en Andalucía. No obstante, hasta el momento presente, los trabajos efectuados, que delimitan paisajes erosivos en el Este de Andalucía (I.C.O.N.A., 1.982) y en el Valle del Guadalquivir (I.C.O.N.A., 1.983), tienden a

considerar la erosión vinculada, con preferencia, a la ordenación de cuencas y a las repoblaciones y construcciones de diques y embalses en las mismas. Se deja, así, marginado un tema de trascendental importancia para la economía de la región, la degradación de los suelos y la gestión de los usos agrícolas en relación con dicha degradación. En este sentido el hecho de que el proyecto LUCDEME tenga como marco de actuación el Sureste español y soslaye tierras de elevado valor agrícola en zonas del Valle del Guadalquivir, sometidas a procesos de degradación evidentes (Córdoba, Jaén), es una muestra de que el análisis de la erosión se sigue efectuando atendiendo a la aparatosidad de los fenómenos. Sin embargo, y a pesar de este interés por estudios de erosión, que podríamos denominar actual, salta a la vista un hecho: la inexistencia de unas bases, al menos empíricas, en las que fundamentar estos estudios. Es así, como los numerosos trabajos del "U. S. Soil Conservation Service", y en particular, los estudios de WISCHMEIER (1958), han sido utilizados y asimilados a nuestras condiciones ambientales sin que, a través de una mínima experimentación sobre el terreno, se haya demostrado su validez. En este sentido, hay autores (HUDSON, 1.982) que advierten sobre las disparidades que surgen al aplicar la U.S.L.E. en condiciones ambientales diferentes a las utilizadas para definirla. Por consiguiente, hemos de dejar bien claro que cualquier cifra sobre la erosión de suelos que sea aducida sin el acompañamiento de pruebas experimentales sobre parcelas piloto, habrá de ser considerada sólo un indicador comparativo con respecto a otras zonas analizadas con la misma metodología.

A continuación comentamos, brevemente, algunos trabajos que sobre la erosión se han efectuado en España, así como los resultados obtenidos, sobre todo aquellos que hacen referencia especialmente a Andalucía.

Los estudios de índole científica sobre la erosión, con métodos adecuados, se inician en España muy tardíamente, no siendo emprendidos hasta la década de los años cuarenta. No obstante, la preocupación por este tema comienza tan pronto como en otros países europeos, con la promulgación de leyes para la mejora y repoblación de los montes, a finales del siglo diecinueve. Esta preocupación será, hasta la década mencionada anteriormente, siempre de índole hidrológico-forestal. En los años cuarenta los estudios se centrarán en la delimitación de las pendientes máximas de cultivo y la definición del grado de pendiente en la cual se produce el arrastre de los elementos finos o el arrastre total. Autores como GARCIA NAJERA (1.954) determinarán, mediante una serie de supuestos empíricos, la máxima pendiente admisible para someter las tierras a cultivos o a pastos. Los resultados obtenidos aplicables a España fueron los siguientes:

- i) Ninguna tierra de labor puede soportar una pendiente superior al 18% sin que se provoque la formación de cárcavas y el arrastre total.
- ii) La erosión laminar intensa se produce para un intervalo entre el 4 y el 5% de pendiente.
- iii) La iniciación de la erosión laminar por arrastre de los elementos más finos aparece para pendientes entre el 2 y el 3%.
- iv) Las cubiertas de pastizales ofrecen, generalmente, y para cualquier pendiente, mejor protección que las cubiertas de cultivos.
- v) El límite superior de la pendiente admisible para pastizales es del 30%, cualquiera que sea el tipo de suelo.

- vi) Los suelos que posean pendientes entre el inicio de la erosión (3%) y el arrastre total (18%) deberán ser sometidos a prácticas de conservación de suelos.
- vii) Los suelos que poseen pendiente superior a la de arrastre total, si son cultivados, permanecerán estables hasta que se produzcan aguaceros excepcionales que inicien un proceso de erosión irreversible ya incluso bajo condiciones normales.

La importancia de estas conclusiones será grande por su influencia en el desarrollo posterior de estudios sobre la erosión en España.

Así LOPEZ CADENAS y BLANCO CRIADO (1.968), basándose en estas conclusiones y en los índices de protección para distintos tipos de vegetación dados por F.A.O., generaron una "Tabla de índices de protección del suelo por la vegetación", que resulta, a todas luces, una aproximación al factor C de la U.S.L.E.

Ya en los años setenta se aplica el método de FOURNIER (1.960) para medir la degradación específica supuestamente existente en las cuencas de las mayores presas del país. LOPEZ CADENAS y MINTEGUI AGUIRRE (1.975) realizarán, así, el "Inventario de las cuencas alimentadoras de los embalses de las grandes presas españolas". Para las cerca de 300 cuencas estudiadas se analizaron los conjuntos de parámetros evaluados por este método, resultando dos tipos fundamentales de información:

- i) de tipo cartográfico a escala 1/400.000, con mapas de litologías y usos del suelo;
- ii) de tipo cuantitativo, resultado de la aplicación del método de FOURNIER.

Los datos obtenidos significaban una primera aproximación al fenómeno de erosión en España, habiéndose empleado, profusamente, para analizar la situación erosiva en el país.

Hay que hacer notar que los resultados que se obtenían poseían el defecto propio de un método que fue establecido, originariamente por su autor, para cuencas muy extensas (superiores a 2.000 Km²), en las que se suponía una variabilidad de medios que compensase la existencia de zonas excesivamente favorables o desfavorables para facilitar sedimentos. La aplicación a España se efectuó sobre cuencas hasta 100 veces inferiores en superficie al tamaño mínimo establecido originariamente. Este hecho hace que situaciones de litología y vegetación muy desfavorables para producir sedimentos o viceversa puedan constituirse en dominantes en las cuencas de escasa superficie, mientras los parámetros que evalúa el método dan unos resultados nada acordes con los conocimientos que se poseen de la realidad. Es así cómo, para algunos embalses andaluces, se observa la enorme paradoja de que las pequeñas cuencas alimentadoras de embalses situadas en Sierra Morena (Retortillo, Pintado, Aracena, La Minilla, etc.), que sufren realmente una erosión moderada, ya que sus suelos son muy pedregosos, abunda la rocosidad y las coberturas de vegetación elevadas, aparecen con los mayores valores de degradación específica de Andalucía. Ello se debe a que poseen unos factores de relieve y de agresividad climática elevados. Sin embargo, estos dos factores sólo permitirían conocer un riesgo potencial, pero no la degradación específica real. Al contrario, cuencas como la del Negratín, situadas en zonas con materiales predominantemente muy deleznable, con cobertura de vegetación muy escasa y con graves problemas, reales, de erosión, aparecen como una de las

de más baja degradación específica. Esto es debido a que es una cuenca con un bajo coeficiente de relieve y con unas condiciones climáticas especiales que no se ven recogidas por el índice de agresividad climática de FOURNIER.

Los hechos comentados se hacen aún más palpables si analizamos los datos que facilitaron los estudios del M.O.P.U. a partir de 1.975, sobre niveles de aterramientos en algunos embalses españoles. Estos datos, cuyos resultados recogemos para los embalses andaluces que fueron evaluados, son los únicos que, por ahora, pueden ser ofrecidos como datos reales sobre erosión, (**Tabla 3**).

Tabla 3.- Niveles de aterramientos en distintos embalses andaluces.

| Embalse | Superficie cuenca. (Km ²) | Capacidad inicial (Hm ³) | Capacidad medida (Hm ³) | Aportación sedimentos (Tm/Ha/año) |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| La Bolera (Jaén) | 232.0 | 55.0 | 53.18 | 8.4 |
| Guadalén (Jaén) | 1281.0 | 177.0 | 163.34 | 3.6 |
| La Breña (Córdoba) | 1480.0 | 115.0 | 103.12 | 2.2 |
| Tranco Beas (Jaén) | 558.0 | - | - | 22.7 |
| Doña Aldonza (Jaén) | 8709.0 | - | - | 4.0 |
| Pedro Marín (Jaén) | 9162.0 | - | - | 2.9 |
| Bornos (Cádiz) | 1361.0 | - | - | 22.3 |
| Los Hurones (Cádiz) | 329.4 | - | - | 9.6 |
| Guadalcacín (Cádiz) | 680.0 | - | - | 6.8 |

Fte: DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS. 1980-1981.

No ha existido una política científica dirigida a la creación de parcelas de control, salvo las excepciones fundamentales de las experiencias piloto desarrolladas por ROQUERO (1.987, comunicación personal) en los años sesenta y de otros investigadores aislados en los años setenta, cuyos trabajos no son extrapolables dadas las condiciones locales de sus estudios. Sin embargo, este tipo de experiencias fue abandonada y hoy día sólo algunos científicos, de modo muy aislado y sin el debido apoyo institucional, realizan estudios de esta índole, aplicados generalmente a la dinámica de vertientes y erosión fluvial.

Hay que decir, además, que resulta lamentable la no prosecución de los estudios de aterramientos iniciados por el M.O.P.U. ya que sus resultados, a pesar de los graves problemas de índole técnica que plantean, son de un gran interés. La metodología seguida en estos trabajos se fundamenta en la comparación de la capacidad del vaso de los embalses en el año de su puesta en funcionamiento (conocida por la cartografía topográfica levantada cuando se construyó el embalse) y en el año en que se efectúa el estudio (conocida, en este caso, por sondeos electroacústicos). Es en este último punto donde se plantea un grave problema, ya que la formación de una capa de partículas en suspensión, y no decantadas, en el fondo del embalse (cosa al parecer harto frecuente) puede dar una respuesta acerca de la capacidad actual del embalse totalmente errónea. Hay que sumar a esto, el hecho de que los datos son extendidos a toda la cuenca, con lo que se enmascaran situaciones específicas, y que no se evalúan los caudales sólidos en suspensión que escapan por los desagües de las presas.

Estos valores no recogen la erosión laminar que, la mayor parte de las veces, no llega a los cauces fluviales.

Comparados estos datos con los obtenidos según el método de FOURNIER, sólo en el caso del embalse Tranco de Beas las cifras de degradación se aproximan, siendo en el resto muy diferentes las cantidades evaluadas con respecto de las medidas en la realidad. Hay que hacer notar que, generalmente, las cifras que se deducen del método de FOURNIER superan con creces, las medidas en los vasos de embalse. Sólo en el caso del Tranco de Beas ésta medida sería ligeramente superior a lo extrapolado por el método de degradación específica.

A mediados de los años setenta se trató de aplicar la ecuación universal de pérdida de suelos en algunos proyectos de restauración hidrológico-forestal, pero no dejan de ser intentos aislados y que no presentan continuidad alguna. A finales de la misma década se realizan también algunas tesis doctorales utilizando la U.S.L.E. para la determinación de erosión, siempre teniendo como área de estudio cuencas hidrográficas y como fin la restauración y corrección hidrológicas (MINTEGUI AGUIRRE, 1.978; DIAZ BUSTOS, 1.979). De este tipo fueron también los estudios realizados en 1.978 por la Universidad de Wageningen en la Campiña cordobesa, donde, con finalidad agronómica, esta vez, se determinarán las pérdidas de suelo que se recogen en la **Tabla 4.**

Tabla 4.- Valores estimados de erosión (Tm/Ha/año) en la Campiña de Córdoba mediante el empleo de la U.S.L.E.

| Tipo de suelo | Longitud de la ladera (m) | Pendiente % | | | |
|---------------|------------------------------|-------------|-----|-----|------|
| | | 5 | 15 | 25 | 35 |
| Vertisoles | 150 | 40 | 190 | 340 | 540 |
| Vertisoles | 350 | 60 | 290 | 530 | 840 |
| Inceptisoles | 150 | 65 | 320 | 580 | 910 |
| Inceptisoles | 350 | 100 | 490 | 890 | 1400 |

Estas cifras suponen unas pérdidas alarmantes en suelos cultivados, aunque mientras no exista una comparación con parcelas experimentales, los datos seguirán siendo indicadores más o menos verosímiles.

Es el momento en que se comienzan a realizar intentos de aplicación de la U.S.L.E. simulando aquellos datos de que no se disponía. Es así como se llegaría a determinar una ecuación para ajustar, con datos de pluviometría de fácil acceso, el factor R de WISCHMEIER (I.C.O.N.A., 1.976).

No obstante, y a pesar de estos estudios, seguía sin existir un conocimiento, ni tan siquiera relativo, de la situación sobre la erosión a gran escala. Mucho menos la situación espacial, es decir la plasmación cartográfica de la erosión. Para resolver el primer problema se plantearán, en la realización de los Planes Hidrológicos a comienzos de los años ochenta, una serie de trabajos que, realizados, por los Servicios provinciales de I.C.O.N.A., pretendían evaluar, brevemente, la situación en cada una de sus circunscripciones. De estos informes, presentamos a continuación un resumen de las conclusiones referidas a Andalucía (**Tabla 5**).

La metodología seguida para elaborar estos datos parece muy dispar. Algunos Servicios provinciales de I.C.O.N.A., como el de Córdoba, desarrollaron todo un método cualitativo, considerando factores edáficos, topográficos y de cobertura vegetal para cartografiar espacialmente la gravedad de la erosión. No consta que se hiciera de modo semejante en otras provincias, donde sólo hemos podido acceder a descripciones sumarias, por cuencas de embalses, de la situación erosiva.

Tabla 5.- Niveles de erosión apreciados en Andalucía.

| Provincia | Superficie Ha | Niveles (%) | | | |
|-----------|------------------|--------------|------|----------|-------|
| | | inapreciable | leve | moderada | grave |
| Almería | 877,400 | 18.5 | 1.0 | 8.3 | 72.2 |
| Granada | 1.257,100 | 29.6 | 3.3 | 15.7 | 51.4 |
| Jaén | 1.349,800 | 30.6 | 8.0 | 15.1 | 46.3 |
| Málaga | 727,000 | 32.8 | 2.0 | 20.0 | 45.2 |
| Cádiz | 738,500 | 34.2 | 21.4 | 23.4 | 21.0 |
| Córdoba | 1.371,800 | 36.0 | 6.3 | 17.0 | 40.7 |
| Huelva | 1.008,500 | 55.6 | 3.6 | 11.0 | 29.8 |
| Sevilla | 1.400,100 | 31.6 | 16.8 | 32.1 | 19.5 |

Fte: ICONA; Servicios Provinciales, 1.980

De cualquier forma se contaba, así, con una primera aproximación global al problema de la erosión pero sin uniformidad total de criterios.

Los datos ofrecidos para Andalucía mostraban algo que era conocido ya por todos, la gran importancia de la erosión en las provincias orientales, donde Almería y Granada superaban un 50% de la superficie con grave erosión, mientras Jaén y Málaga subían del 45%. Algo no tan conocido era el hecho de que Córdoba sufriera en un 40% de su superficie una grave erosión. Las cifras permitían, igualmente, vislumbrar un hecho de gran trascendencia para el curso de nuestra investigación, las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, ejes principales del Valle del Guadalquivir y sustentadoras de los mejores suelos de la región, sufren procesos de degradación que las hace equiparables a las provincias más tóxicas respecto a la erosión. Es así, como ya hemos mencionado, que un 40% de la superficie de Córdoba sufre erosión grave, siendo las tierras campiñesas las más afectadas, Jaén supera esta cifra y Sevilla, si bien sólo posee en torno al 20% de su superficie con grave erosión, presenta erosión moderada en más de un 30% de su territorio, lo cual supone medio millón de hectáreas. Esto hace que la erosión inapreciable esté en Sevilla sólo un 2% por debajo de la de Granada. La significación económica, de cara a la agricultura de la región, que esto supone nos parece fundamental y justifica el desarrollo de un estudio como el presente para las tres provincias mencionadas.

Por otra parte, puesto que la expresión cartográfica de la erosión, aún no había sido resuelta a nivel de grandes escalas, la Dirección General del Medio Ambiente (M.O.P.U), encarga en 1.982 la realización de un "Mapa de fenómenos de erosión hídrica en España" que, a escala 1/1.000.000, seguía las pautas marcadas por F.A.O. (1.980) en su metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Su realización se llevó a cabo aplicando una retícula de 8 Km. de lado a todo el territorio y asignando valores homogéneos a cada cuadrícula. Los factores aplicados fueron:

- Factor climático: se asignó un valor asimilado al factor R, elaborado por I.C.O.N.A. (1.981) para el levante español y acorde con las regiones fitoclimáticas de ALLUE (1.966).
- Factor edáfico: se asignó un valor de erodibilidad a cada tipo de suelo representado en el mapa de suelos de España de escala 1/1.000.000 (C.S.I.C. 1.968).

- Factor topográfico: se utilizó directamente la clasificación de pendientes y coeficientes recomendado por F.A.O. (1.980).
- Factor cubierta vegetal: se emplearon el mapa de ALLUE, mencionado para la vegetación natural, y el mapa de cultivos y aprovechamientos del Ministerio de Agricultura, considerando el uso dominante en cada cuadrícula para el resto.

El producto de los factores daba lugar a un valor para cada cuadrícula que, en Tm/Ha/año, expresa el valor de erosión.

A comienzos de la década de los años ochenta se iniciaron una serie de estudios piloto, por diversos organismos, de cara a un desarrollo operativo de metodologías para evaluar los aportes de sedimentos a los embalses (AYESA, 1.980) y la desertificación y degradación de los suelos (I.C.O.N.A., 1.981 y 1.983).

Del primer tipo fué el "Estudio piloto de los procesos de erosión, arrastre y sedimentación de la cuenca del embalse de Torre del Aguila (Sevilla)". (AYESA, 1.980). En este trabajo, tras un análisis de diferentes métodos para la evaluación de la erosión en cuencas y la medición del nivel de aterramientos posibles en un embalse, se aconseja el uso de la M.U.S.L.E. (WILLIAMS, 1.975), frente a la U.S.L.E., por su mejor acomodación a tal fin. Este trabajo se realizó empleando una retícula ortogonal para toda la cuenca. A cada unidad geométrica se le asignaron los valores obtenidos según la aplicación de la M.U.S.L.E. para lo cual se efectúa un completísimo estudio hidrológico recurriendo a series pluviométricas y de aforos en toda la cuenca. Para la realización del trabajo se aplicaron diversas ecuaciones que permitían obtener algunos parámetros de la M.U.S.L.E. De las conclusiones del estudio destacamos, la ineludible necesidad de recurrir a las nuevas tecnologías informáticas de cara a establecer diferentes hipótesis posibles en un espacio amplio. La presentación de resultados se efectúa cartografiando las unidades ortogonales en función de la entrega de sedimentos que pueden sufrir según dos hipótesis distintas de longitud de pendiente y grado de pendiente.

Al segundo tipo de estudios pertenece el trabajo, ya analizado a nivel metodológico, titulado "Paisajes erosivos del sureste español". (I.C.O.N.A., 1.982), incluido dentro del proyecto LUCDEME. Como consecuencia de este estudio, I.C.O.N.A. emprendió, a nivel de grandes cuencas hidrográficas, una serie de trabajos encaminados a la aplicación rutinaria de la U.S.L.E. para el análisis de la erosión en dichas cuencas. Fué así cómo se iniciaron los "Mapas de estados erosivos" en distintas cuencas, entre ellas la del Guadalquivir. Este tipo de análisis se inició al ponerse de manifiesto la necesidad de modificar algunos aspectos relativos a la evaluación de erosión que, como ya mencionamos en otro lugar, se desglosaba en estado erosivo y riesgo de erosión. Los trabajos habrían de ser utilizados también en los respectivos Planes Hidrológicos.

La metodología puesta a punto en estos "Mapas de estados erosivos" (I.C.O.N.A., 1.983), pretende plasmar la dinámica actual de los procesos de pérdida de suelo por erosión hídrica laminar y en regueros, con independencia de cómo se haya desarrollado con anterioridad la erosión geológica.

Para llevar a cabo estos trabajos se dividieron las cuencas mediante un retículo ortogonal. Para cada cuadrícula se asignaron valores de litofacies (obtenidas del mapa geológico E: 1/200.000), vegetación (obtenidos del "Mapa de Cultivos y aprovechamientos"), pendiente y

climatología (para este último factor se extrapolaron los datos de R obtenidos por I.C.O.N.A. para el levante español). Se constituye, así, una base de datos de la que saldrán unidades homogéneas por combinación de los factores antes mencionados. La cartografía de cada clase se efectúa mediante impresora de ordenador, ofreciéndose resultados parciales provinciales. Dado que los resultados de este estudio han sido publicados haciendo uso de una asignación de colores a la cartografía, que impide cualquier tipo de análisis territorial, hemos procedido, con los datos ofrecidos para las 360 parcelas de control que en este estudio de la cuenca del Guadalquivir se sitúan en provincias andaluzas, a elaborar la **Tabla 6**.

Tabla 6.- Pérdida de suelos estimada en parcelas de control para diferentes provincias de Andalucía en la cuenca del Guadalquivir.

| Provincia | Nº parcelas muestreadas | Pérdida de suelos (Tm/HA/año) | | |
|-----------|----------------------------|-------------------------------|-----------|----------|
| | | V. mínimo | V. máximo | V. Medio |
| Cádiz | 4 | 51.4 | 213.8 | 134.2 |
| Córdoba | 103 | 0.4 | 400.9 | 78.5 |
| Granada | 92 | 0.4 | 630.7 | 53.3 |
| Huelva | 10 | 0.3 | 334.4 | 105.4 |
| Jaén | 79 | 0.1 | 285.7 | 59.1 |
| Málaga | 6 | 0.8 | 121.7 | 67.8 |
| Sevilla | 66 | 0.3 | 131.5 | 28.9 |

Fte: ICONA., 1983

De los datos de la **tabla 6** podemos deducir la enorme variabilidad de los resultados obtenidos, los cuales son relativamente uniformes en los niveles mínimos definidos (salvo en el caso de la provincia de Cádiz en razón del escaso número de parcelas muestreadas). Los valores máximos ofrecen resultados dispares, pero sólo parcialmente acordes con la idea que sobre la erosión se posee en la región. Así, junto a un máximo en Granada, con valores pensamos que excesivos, aparece un máximo para Málaga que no es, en absoluto, expresivo de la situación de la provincia, si bien, hay que señalar el escaso muestreo efectuado, debido a la poca superficie provincial que se encuentra dentro de la cuenca del Guadalquivir. Menor explicación encontramos al hecho de que la provincia de Córdoba alcance unos niveles máximos que se sitúan muy por encima de los de Jaén y, menos aún, los máximos ofrecidos por Huelva, los cuales también superan a los de Jaén. Los valores medios obtenidos para cada provincia suponen una distorsión aún mayor del conocimiento técnico que poseemos de la erosión, pareciendo razonables los valores ofrecidos para la provincia de Sevilla, pero no para el resto de las provincias.

Pensamos, pues, que estos estudios que suponen un gran esfuerzo por conocer el estado erosivo en las cuencas, presentan un grave problema al extrapolar, a partir de unidades geométricas, creadas con criterios de litofacies y vegetación, resultados que deberían vincularse a unidades de tipo edáfico. Como quiera que sea, los resultados representan el primer gran esfuerzo, a nivel de semidetalle y con criterios homogéneos, para conocer el grave problema de la erosión en Andalucía.

Llegados a este punto, hemos de decir que, dado que en Andalucía se sitúan tierras afectadas por gravísimos problemas de erosión * se han desarrollado en ella numerosos trabajos sobre este tema. Algunos de estos estudios constituyen iniciativas de investigadores aislados. Otros son o han sido propiciados por organismos públicos en busca de unos datos de referencia para orientar actuaciones de conservación.

A nivel institucional, y obviando todos los trabajos vinculados al proyecto LUCDEME, ya comentados en otro lugar, efectuamos un estudio puntual sobre la erosión actual, erosión potencial y tolerancia a la erosión de suelos representativos de las 62 unidades macroestructurales en que fué dividida la región. Los métodos empleados fueron los recomendados por F.A.O. (1.980) para la determinación de degradación por erosión hídrica de los suelos. Los resultados obtenidos fueron recogidos en el "Catálogo de suelos de Andalucía" (AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE, 1.984) y comentados más ampliamente por el autor recientemente (MOREIRA, 1.986). Es preciso mencionar que dichos resultados (**Tabla 7**) no constituyen más que un indicador comparativo para toda la región que, eso sí, hace palpable la necesidad de medidas de control para evitar la tendencia general de los suelos a superar las pérdidas admisibles por los mismos. Estos datos suponen, también, un primer indicador general para la región, si bien, las situaciones representadas son exclusivamente puntuales y válidas para los suelos-tipo analizados. Este estudio pone en evidencia, igualmente, el grave problema que se plantea para la mayoría de suelos al suponer una hipótesis de cambio de uso que implique el paso por una desaparición de la cobertura vegetal. Así, de la comparación entre la erosión que actualmente sufren los suelos y la que potencialmente pueden sufrir (**Figura 1**), resulta que sólo 24 suelos superan por erosión actual las tasas admisibles de pérdidas para conservar su nivel productivo, mientras que aplicando la hipótesis potencial este número aumenta a más del doble (49).

* Según los informes provinciales de I.C.O.N.A., comentados en otro lugar de esta tesis, un 25% de la superficie nacional sufre grave erosión, mientras a nivel regional Andalucía Occidental alcanza un 28.5% y Andalucía Oriental un 53.8%.

Tabla 7.- Resumen de la erosión pronosticada para los suelos más representativos de Andalucía.

| Provincia | Suelo representativo | | | Erosión pronosticada | | |
|---------------|----------------------|-------------------|---------|----------------------|-----------|-------------|
| | | | | (Tm/Ha/año) | | Tolerancia |
| | | | | Actual | Potencial | (Tm/Ha/año) |
| Almería | Greda-Roja. | Almanzora-Alto | (AL-01) | 36 | 45 | 2 |
| | Pardo-Calizo. | Almanzora Bajo | (AL-01) | 5 | - | 18 |
| | Redsina. | Andarax-Gador | (AL-03) | 87 | 219 | 3 |
| | Salino. | Campo-Dalías | (AL-04) | 1 | 6 | 3 |
| | Arenas. | Campo-Nijar | (AL-05) | 3 | - | 7 |
| | Desértico. | Campo-Tabernas | (AL-06) | 22 | 55 | 3 |
| | Pardo-Calizo | Los Vélez | (AL-07) | 5 | - | 8 |
| | Aluvial. | Río Nacimiento | (AL-08) | 3 | - | 15 |
| Cádiz | Tierra-Negra. | Campiña | (CA-01) | 15 | - | 17 |
| | Bujeo-Blanco. | Campo-Gibraltar | (CA-02) | 8 | - | 21 |
| | Rojo. | Costa | (CA-03) | 3 | - | 14 |
| | Tierra-Parda. | Janda-Aljibe | (CA-04) | 4 | 50 | 6 |
| | Albariza. | Rincón-Jerez | (CA-05) | 14 | - | 12 |
| Córdoba | Terra-Rossa. | Sierra | (CA-06) | 12 | 138 | 7 |
| | Albariza. | Campiña-Alta | (CO-01) | 93 | - | 15 |
| | Bujeo. | Campiña-Baja | (CO-02) | 13 | - | 3 |
| | Laja. | Hornachuelos | (CO-03) | 12 | 47 | 3 |
| | Tierra-Parda. | Pedroches | (CO-04) | 5 | 37 | 6 |
| | Greda-Roja. | Sierra Morena | (CO-05) | 72 | - | 3 |
| | Terra-Rossa. | Sierra Sur | (CO-06) | 27 | 183 | 4 |
| | Franco. | Vega | (CO-07) | 10 | - | 15 |
| Granada | Codrial. | Alhama | (GR-01) | 8 | - | 4 |
| | Alpino. | Alpujarras | (GR-02) | 17 | 117 | 12 |
| | Arenas. | Baza | (GR-03) | 4 | - | 4 |
| | Laja. | Costa | (GR-04) | 27 | 183 | 2 |
| | Rojo. | Guadix | (GR-05) | 11 | - | 4 |
| | Yermo. | Huescar | (GR-06) | 48 | 119 | 2 |
| | Pardo-Calizo | Hiznalloz | (GR-07) | 13 | - | 7 |
| | Albariza. | Loja | (GR-08) | 86 | - | 3 |
| | Bujeo. | Montefrío | (GR-09) | 63 | - | 17 |
| | Rojo. | Valle-Lección | (GR-10) | 6 | - | 11 |
| | Franco. | Vega | (GR-11) | 8 | - | 12 |
| Huelva | Tierra-Parda. | Andévalo Occid. | (H- 01) | 1 | 7 | 2 |
| | Laja. | Andévalo Oriental | (H- 02) | 2 | 15 | 1 |
| | Bujeo. | Condado-Campiña | (H- 03) | 15 | - | 18 |
| | Arenas. | Condado-Litoral | (H- 04) | 1 | 2 | 4 |
| | Pseudogley. | Costa | (H- 05) | 1 | 5 | 5 |
| | Salino. | Marisma | (H- 06) | 1 | 2 | 7 |
| Jaén | Hollinegra. | Sierra Morena | (J- 07) | 1 | 8 | 6 |
| | Rojo. | Campiña Norte | (J- 01) | 4 | - | 4 |
| | Almagra. | Campiña Sur | (J- 02) | 48 | 84 | 18 |
| | Barro- Rojo. | Condado | (J- 03) | 10 | - | 17 |
| | Bujeo. | La Loma | (J- 04) | 48 | - | 17 |
| | Terra-Rossa. | Mágina | (J- 05) | 7 | 46 | 8 |
| | Redsina. | Sierra Cazorla | (J- 06) | 5 | 58 | 5 |
| | Tierra Parda. | Sierra Morena | (J- 07) | 2 | 170 | 9 |
| | Redsina. | Sierra Morena | (J- 08) | 11 | 143 | 4 |
| Pardo-Caliza. | Sierra Sur | (J- 09) | 60 | - | 10 | |
| Málaga | Pardo-Caliza. | Antequera | (MA-01) | 6 | - | 8 |
| | Laj. | Axarquía | (MA-02) | 18 | 244 | 4 |
| | Albariza. | Costa | (MA-03) | 1 | - | 7 |
| | Pardo-Caliza. | Guadalhorce | (MA-04) | 183 | - | 10 |
| Sevilla | Tierra-Bermeja. | Serranía de Ronda | (MA-05) | 1 | 89 | 6 |
| | Rojo. | Alcorea | (SE-01) | 9 | - | 11 |
| | Rojo. | Aljarafe | (SE-02) | 24 | - | 14 |
| | Bujeo. | Campiña | (SE-03) | 6 | - | 20 |
| | Albariza. | Estepa | (SE-04) | 40 | - | 5 |
| | Salino. | Marisma | (SE-05) | 1 | 3 | 5 |
| | Greda-Roja. | Sierra Morena | (SE-06) | 5 | 84 | 6 |
| | Almagra. | Sierra Sur | (SE-07) | 119 | - | 7 |
| | Arenas. | Terrazas | (SE-08) | 14 | - | 5 |
| | Franco. | Vega | (SE-09) | 15 | - | 17 |

Fte: Catálogo de Suelos de Andalucía. Agencia de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 1984.

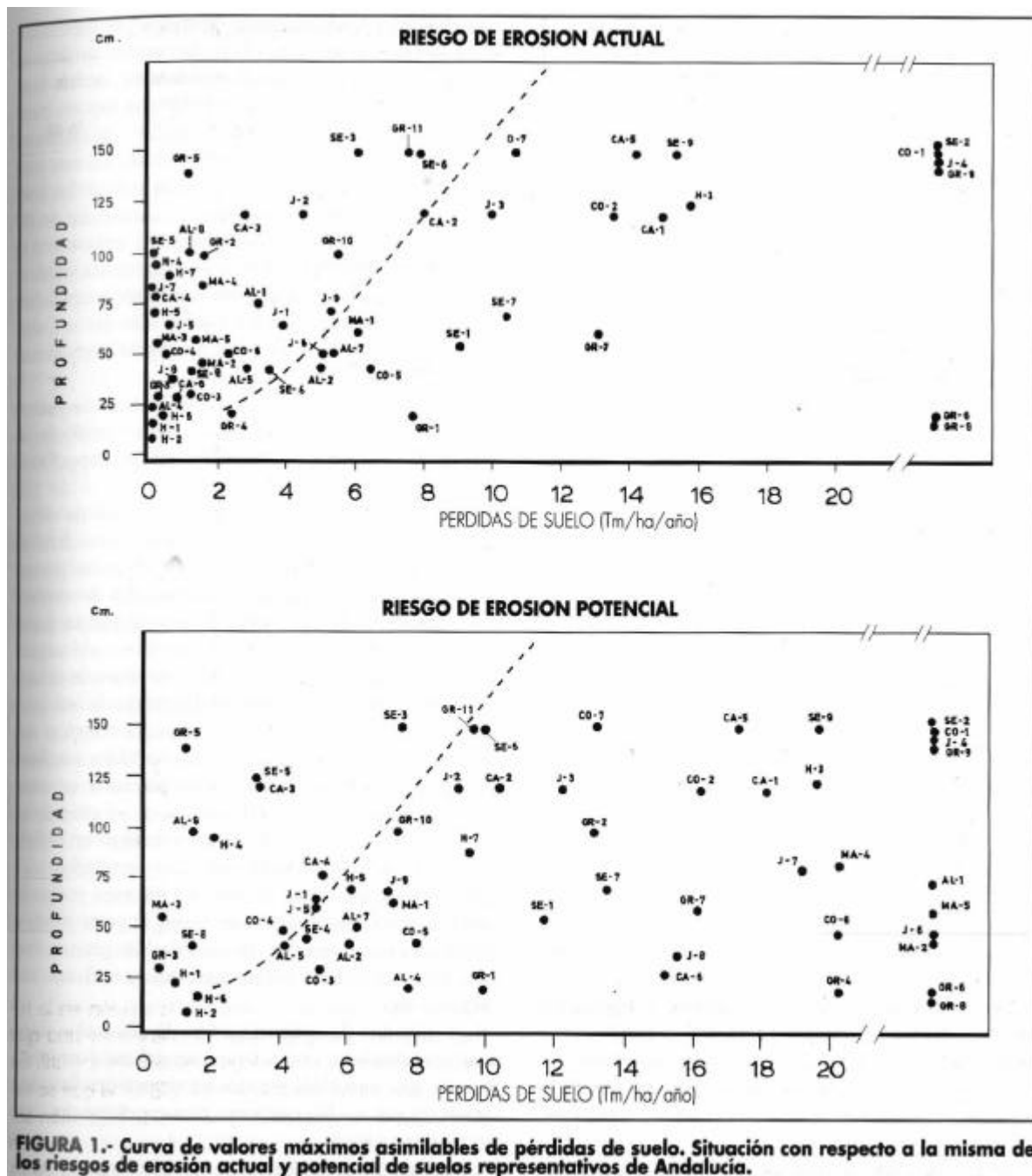


FIGURA 1.- Curva de valores máximos asimilables de pérdidas de suelo. Situación con respecto a la misma de los riesgos de erosión actual y potencial de suelos representativos de Andalucía.

Por otra parte, en la línea de aplicación de metodologías semicuantitativas, que ofrecen resultados gráficos, se sitúan los trabajos efectuados (MOREIRA, 1.982 y 1.983) que realizan una modificación del método inicial propuesto por el I.T.C. de Holanda para determinar la susceptibilidad frente a la erosión de los suelos en una superficie de aproximadamente 2.000 Km². situada al Norte de la provincia de Cádiz.

No existen, a nivel de investigadores privados, muchos estudios sobre el problema de la erosión en la región, pero no queremos dejar de mencionar uno que nos ha resultado por su enfoque, especialmente útil. Se trata del efectuado por HURTADO (1.982) en el que se establece una comparación del impacto de la erosión sobre la productividad agrícola de suelos representativos de las provincias de Sevilla (España) y Buenos Aires (Argentina). En dicho trabajo, por lo que respecta a Andalucía, se hace aplicación simplificada de la U.S.L.E. a siete

suelos representativos de comarcas agrícolas de Sevilla. Al mismo tiempo, y para estimar la productividad de dichos suelos, se hace uso de un método de evaluación de rendimientos esperados para trigo, maíz y algodón (DE LA ROSA, et al. 1.981). El cambio por erosión en las variables utilizadas en la predicción de rendimientos hace variar con el tiempo los rendimientos esperados para cada suelo y cultivo. Los resultados que se ofrecen en este trabajo aparecen recogidos de un modo simplificado en la **Tabla 8**, siendo evidente lo elevado de las cifras de erosión dadas, como consecuencia de haber empleado el autor una simplificación de la U.S.L.E. que asigna valores de erosividad de la lluvia excesivamente elevados ($R = 455$) y un factor de protección muy bajo ($C = 0.4 - 0.9$). Sin embargo, la línea de investigación nos parece fundamental, habiendo dedicado parte de nuestro trabajo a profundizar en ella, como veremos mas adelante.

Tabla 8.- Pérdidas de suelo, rendimientos actuales y esperados al sufrir erosión algunos suelos representativos de la provincia de Sevilla.

| Suelo | Pérdida suelo Kg/m ² /año | | Comparación entre rendimiento actual pronosticado (100%) y rendimiento esperado al perder 30 cm. de prof. útil | | |
|----------|---|------|--|------|---------|
| | Min. | Max. | Trigo | Maiz | Algodón |
| Aljarafe | 0.77 | 26.0 | 98 | 92 | 99 |
| Campo | 1.08 | 19.7 | 100 | 100 | 100 |
| Vega | 1.49 | 7.0 | 94 | 100 | 94 |
| Terrazas | 0.96 | 8.7 | 45 | 53 | 85 |
| Alcores | 1.01 | 42.4 | 91 | 91 | 95 |
| Campaña | 1.50 | 34.0 | 100 | 100 | 100 |
| Estepa | 0.79 | 76.7 | 97 | 84 | 100 |

Fte: HURTADO, M. 1982.

Consideraciones generales sobre métodos de evaluación.

A la vista de la exhaustiva presentación de métodos de evaluación de tierras, tanto desde el punto de vista de la Edafología, como desde la Geomorfología, hemos de decir que ambas aproximaciones tienden a coincidir, en términos generales, en la valoración de variables que afectan al medio. Mientras la aproximación edáfica, al hacer evaluaciones de tipo general, simplifica los elementos a considerar y pasa de una cuantificación a una cualificación de éstos, la aproximación geomorfológica amplía el conjunto de parámetros a utilizar en la evaluación acudiendo a variables edáficas, climáticas, etc.

Es por esto que, a pesar de ser dos aproximaciones diferentes, en principio, coinciden en lo esencial de la evaluación, demostrando, además, que la evaluación de tierras es, como argumenta F.A.O. (1.976), una tarea multidisciplinaria que necesita aportaciones de técnicos en las más diversas disciplinas.

Edafología y Geomorfología difieren en lo particular de sus objetos de estudio, ya que la primera analiza el suelo y la segunda las formas. No obstante, ambas trabajan paralelamente, en el sentido de que existen modos de analizar los suelos que conllevan una clasificación y cartografía de índole genética (clasificaciones naturales); igualmente existen maneras de analizar las formas que conllevan una clasificación y cartografía de tipo genético. No obstante,

el análisis de ambos enfoques para aplicaciones prácticas es muy similar, llegándose, en el caso de la Edafología, a establecer unidades absolutamente similares a las establecidas en la Geomorfología. El concepto tierra se puede considerar equidistante desde ambos enfoques.

Resulta evidente una mayor consolidación de métodos y procedimientos en el campo de la Edafología, a la hora de establecer evaluaciones de tipo específico, es decir de todas aquellas referidas a suelos.

Cuando se trata de realizar estudios a nivel de reconocimiento e incluso semidetalle, parece consolidarse la propuesta metodológica de F.A.O. de crear pocas clases (generalmente cuatro), acompañadas de simbología definidora de subclases. El procedimiento para asignar una clase a su situación definitiva varía según los casos y autores. Mientras F.A.O. recomienda el uso del factor más limitante, como el definitorio de una unidad, otros autores y organismos utilizan la situación relativa de cada unidad en las distintas variables empleadas, como un coeficiente que, bien actúa como sumando (caso de la metodología de riesgos de erosión de la C.E.E. o de la aptitud para el cultivo de maíz en Italia), o como un factor multiplicativo. Los resultados son agrupados en las clases finales por diversos procedimientos, como: agrupación en torno al valor medio, agrupación por intervalos, trazado de histogramas cuyas curvas definen los valores máximos y mínimos del intervalo, etc.

Los métodos de evaluación son desarrollados para unas necesidades y condiciones específicas y no son, en principio, aplicables a todas las situaciones físicas y socioeconómicas. No obstante, poseen elementos comunes muy valiosos.

Dado que las condiciones de medios técnicos, reconocimiento de suelos, etc, no se repiten en todos los países, siempre surgirán problemas al intentar aplicar los métodos de evaluación a zonas para las que no han sido creados, de ahí que se realicen numerosas adaptaciones de estos métodos.

Si bien se habla, en ocasiones, de métodos de evaluación de suelos, muchos de ellos no son estrictamente esto, puesto que incluyen algunos criterios de diagnóstico, como el clima o la topografía que no son características edáficas. No obstante, estos factores juegan, en todos los casos en que se efectúa evaluación de suelos, un papel relativamente subordinado, mientras en el caso de evaluación de tierras se suele dar mayor importancia a los mismos.

Algunos métodos, han sido desarrollados sólo para reconocimientos detallados, pues únicamente en este tipo de estudios se realiza una cartografía suficientemente detallada como para poder agrupar sus unidades en clases con necesidades similares en cuanto a manejo y conservación. Sin embargo, numerosas adaptaciones utilizan estos métodos de un modo genérico y para escalas de reconocimiento en su más amplio sentido.

Al depender la aptitud de una unidad suelo o tierra de la interacción de numerosos parámetros, el problema radica en su adecuada selección y medición, en su interacción y en el peso relativo de cada uno. Los parámetros pueden variar de un lugar a otro, al igual que su interacción y valor relativo. La resultante de estos parámetros difícilmente se puede obtener por exclusivo método matemático, sino que ha de ser corroborada por la experiencia práctica. Un conocimiento de la realidad resulta imprescindible. En este sentido son los métodos semicuantitativos los que más se aproximan a la realidad, ya que se apoyan en el conocimiento del terreno por parte del especialista.

Los métodos de evaluación de la erosión constituyen una parte importante de la evaluación de tierras y quizá la tendencia que ha recibido una mayor influencia de la matematización y el uso de nuevas tecnologías informáticas. Dentro del campo de evaluación de la erosión son también diferenciables las orientaciones seguidas por los métodos de evaluación general.

Los estudios de evaluación de la erosión, realizados por geomorfólogos, siguen estando dominados por temáticas clásicas y métodos descriptivos. No obstante, son cada vez más importantes las nuevas corrientes de análisis paramétricos y experimentación de campo.