

**PLAN PARCIAL DE ORDENACIÓN DEL SECTOR SURS-
AO.1 "ENSANCHE OESTE I" DE ANTEQUERA
(MÁLAGA)
ESTUDIO DE EROSIÓN**

Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

Arquitectos

Bernardo Callejas
Humberto Rodríguez

Arturo Abril
Pablo Arráez

Promotor

Gestión de Inmuebles Adquiridos S.L.
CIF: B-92.954.197
C/ Mauricio Moro nº 6. Edificio Eurocom, 6ª
29.006 - Málaga

Granada, febrero de 2020



La autenticidad de este documento se puede comprobar con el código 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9H5 en la web del Ayto. Antequera

FIRMANTE - FECHA

FRANCISCO FERNANDEZ YERA-SECRETARIO GENERAL - 12/09/2024
serialNumber=S2833002E,CN=Sello de tiempo TS@ - @firma,OU=Secretaría General de Administración Digital,O=Secretaría de Estado de Función Pública,C=ES - 12/09/2024 13:38:10

APROBACION INICIAL POR ACUERDO DE JUNTA DE GOBIERNO LOCAL, EN SESION ORDINARIA DE FECHA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2024

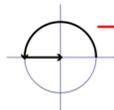
DOCUMENTO: 20242830304

Fecha: 12/09/2024

Hora: 13:38

CSV: 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9H5





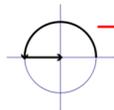
ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES.....	3
METODOLOGÍAS Y MODELOS PARA EL ORDENAMIENTO DE CUENCAS	4
METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA BASADA EN EL MODELO USLE DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN	6
MÉTODOS DE CÁLCULO DE LOS FACTORES USLE	6
FACTOR EROSIONABILIDAD (K).....	7
FACTOR LONGITUD-INCLINACIÓN (LS)	9
FACTOR CUBIERTA VEGETAL (C).....	11
FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN (P)	14
TOLERANCIA DE PÉRDIDAS DE SUELO Y TASA DE EROSIÓN SEGÚN EL MODELO USLE.....	14
CONCLUSIONES	16



FIRMANTE - FECHA





INTRODUCCIÓN

Se redacta el presente estudio de erosión petición del Promotor **Gestión de Inmuebles Adquiridos S.L.**, con CIF número **B-92.954.197** y domicilio a efectos de notificaciones en **C/ Mauricio Moro nº 6. Edificio Eurocom, 6º**, código postal **29.006 de Málaga**, referido al texto completo, al cual complementa, y que es el Plan Parcial de Ordenación del Sector SURS-AO.1 "Ensanche Oeste I", en Antequera (Málaga).

La racional ocupación del territorio y la preservación del ambiente son procesos consustanciales con un enfoque de desarrollo, que coloca en su centro de atención la necesaria relación de armonía sociedad-naturaleza. Los planes de ordenación constituyen, instrumentos adecuados de la acción y gestión de los procesos y políticas de ordenación en función del desarrollo integral y sostenible. La ordenación de cuencas hidrográficas se erige, entonces, en una herramienta apropiada al servicio de esta concepción de desarrollo y, por tanto, para configurar un cuerpo territorial que responda a las exigencias de la sociedad.

Si bien el concepto de prevención y limitación de usos insostenibles ha estado siempre en la concepción de los proyectos de corrección de cuencas torrenciales, en épocas anteriores prevalecieron en la sociedad las necesidades inmediatas, mientras que, en la actualidad, la opinión pública acerca de los recursos naturales ha evolucionado: Se requiere una utilización racional de los recursos, capaz de asegurar su óptimo aprovechamiento y prevenir frente a los usos que impliquen su destrucción o deterioro irreversible. Ello obliga a la aplicación de la llamada planificación física, como fase previa a la restauración hidrológico-forestal, en aquellas cuencas hidrográficas en las que se trata de la corrección de un curso torrencial importante y sus tributarios.

En este contexto, el instrumento de planificación adecuado resulta ser la ordenación agrohidrológica de la cuenca, cuyas directrices generales son: La distribución racional de cultivos, la conservación de áreas no degradadas y la restauración de espacios degradados. Las dos primeras directrices implican la aplicación estricta de las normativas derivadas de la agricultura, pascicultura y selvicultura. La tercera supone la aplicación de medidas de rehabilitación, como pueden ser prácticas de conservación de suelos agrícolas, establecimiento de pastizales, repoblación forestal, corrección de torrentes y aludes, y trabajos hidrológico-forestales en los cauces.

La degradación de una cuenca es la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de tierras y aguas, acompañada de cambios pronunciados en el comportamiento hidrológico de un sistema fluvial que se traduce en una peor calidad, cantidad y regularidad en el tiempo, del caudal hídrico. La degradación de una cuenca hidrográfica procede de los efectos recíprocos, de las características fisiográficas, el clima y el uso inadecuado de las tierras (destrucción indiscriminada de los bosques, cultivos inadecuados, alteración de suelos y pendientes por la minería, movimiento de animales, construcción de caminos, y la desviación, almacenamiento, transporte y utilización sin control del agua). La degradación de una cuenca ocasiona a su vez una degeneración ecológica acelerada, menores oportunidades económicas y mayores problemas sociales.

Toda cuenca hidrográfica contiene muchos tipos de recursos naturales: suelo, agua, bosque, pastizal, fauna silvestre, minerales, etc. En el desarrollo y manejo de una cuenca hidrográfica la utilización de algunos recursos naturales será complementaria con la de otros y en algunos casos será competitiva. El cambio de un uso intensivo de las tierras por otros menos intensivos puede ser beneficioso para los recursos de suelos y aguas. La clave está en utilizar estos recursos de la forma más eficaz y permanente que sea posible, con el mínimo de perturbación para la cuenca en su conjunto. Aunque en muchos casos puede suceder que los gestores de las cuencas no sean los que tomen las decisiones sobre el uso de los recursos, su tarea es planificar y aplicar sistemas que favorezcan aquellos usos que sean complementarios y recomendar medidas preventivas y protectoras para los otros usos que puedan perjudicar a la cuenca hidrográfica.

Como la ordenación de una cuenca hidrográfica incluye la adopción de decisiones sobre el uso de los recursos para muchos fines, es fundamental un enfoque multidisciplinar. Sin embargo, la participación de demasiados elementos en la planificación y adopción de decisiones puede ser causa de ineficacia y de unos resultados finales insatisfactorios. La participación debe limitarse a los representantes de las principales instituciones gubernamentales y a las comunidades locales que estén directamente afectadas.

Antecedentes

Los orígenes de los proyectos de Restauración Hidrológico-Forestal o de Corrección de Torrentes como también se han denominado, hay que enmarcarlos dentro de la preocupación por la restauración de las cuencas de montaña que surge en toda Europa a partir de la segunda mitad del siglo XIX, ante el grave estado de deterioro en que se hallaban estas áreas, consecuencia de la sobreexplotación y abandono a que habían sido sometidas. Las principales cadenas montañosas del viejo continente se encontraban seriamente deforestadas, por lo que los efectos catastróficos de los procesos geo-torrenciales, a los que en ocasiones se añadían los derivados por los desprendimientos de aludes, estaban bastante generalizados. Ante esta circunstancia, los parlamentarios nacionales de los países afectados, promulgaron una serie de normas para llevar a cabo lo que se denominó entonces la "restauración de montañas", que con el tiempo ha dado lugar a los proyectos actuales de restauración hidrológico-forestal.

Así, países como Suiza (1848), Francia (1882) o Austria (1884), ajustaron su legislación específica en la materia de restauración hidrológico-forestal. En lo que respecta a España, el Real Decreto de 3 de febrero de 1888 establece el "Plan sistemático de repoblación de cabeceras de cuencas hidrográficas", que puede considerarse como el inicio de los trabajos de restauración hidrológico-forestal en España. La hidrología forestal se extiende al conjunto del país con la creación, por Real Decreto de 7 de junio de 1901, del Servicio Hidrológico-Forestal, constituido por diez Divisiones Hidrológico-Forestales que cubrían la totalidad de las grandes cuencas hidrográficas nacionales. En la Real Orden de 22 de junio de 1901 se dispone el estudio de las diez Divisiones para designar las cuencas que en cada una de ellas debían ser objeto preferente de trabajos hidrológico-forestales. Este proceso legislador culmina con la ley de 24 de junio de 1908 en que se incorporan a la consideración de utilidad pública, además de los montes catalogados como tales, los que merecieran la condición de protectores, por razones de afectar a cabeceras de cuencas, regulación de avenidas, sujeción de terrenos, etc., cualesquiera que fuesen sus dueños.

En 1926 se crean las Confederaciones Hidrográficas. Tanto el Real Decreto de marzo de 1926 sobre organización de las Confederaciones como, posteriormente, los respectivos reglamentos de las mismas y, finalmente, el Real Decreto Ley de 26 de julio de 1926 para un Plan Nacional de Repoblación de los Montes, aseguran por vez primera la participación de los ingenieros de montes en los trabajos



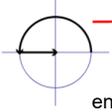
La autenticidad de este documento se puede comprobar con el código 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9HS en la web del Ayto. Antequera

FIRMANTE - FECHA	
FRANCISCO FERNANDEZ YERA-SECRETARIO GENERAL - 12/09/2024	
serialNumber=S2833002E,CN=Sello de tiempo TS@ - @firma,OU=Secretaría General de Administración Digital,O=Secretaría de Estado de Función Pública,C=ES - 12/09/2024 13:38:10	
APROBACION INICIAL POR ACUERDO DE JUNTA DE GOBIERNO LOCAL, EN SESION ORDINARIA DE FECHA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2024	

DOCUMENTO: 20242830304
Fecha: 12/09/2024
Hora: 13:38



CSV: 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9HS



encaminados a la ordenación y el aprovechamiento de las cuencas hidrográficas. La línea de integración continuó con el Plan Nacional de Obras Hidráulicas de 1933, que contenía una parte forestal en la que se proponía un plan repoblador que debía afectar a una superficie de algo más de 2,7 millones de hectáreas, pero la guerra civil supuso una ruptura en el camino de integración emprendido. La Ley de 9 de octubre de 1935 crea un organismo forestal específico para la repoblación denominado Patrimonio Forestal del Estado (PFE), que no pudo actuar como consecuencia de la guerra civil. Una vez finalizada esta, las Divisiones Hidrológicas siguen trabajando en colaboración con el Patrimonio Forestal del Estado, organismo que acabará absorbiéndolas. En 1968 se reestructura el PFE, desapareciendo las antiguas Divisiones cuyas funciones fueron asumidas por los Servicios Hidrológico-Forestales de carácter provincial. En 1971 se suprime el PFE, creándose el Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza (ICONA), por lo que el cometido de los Servicios pasa a depender de este nuevo organismo.

En el período comprendido entre los años cuarenta y ochenta, se extiende la restauración de cuencas al conjunto de la geografía española, con especial incidencia en las cuencas de los embalses y en la defensa de poblaciones y sus vegas. Durante los años cuarenta y cincuenta hay una serie de exponentes, en materia legislativa, que representan la evolución del concepto conservacionista hacia la consideración integral de los recursos agua- suelo-vegetación. Estas leyes tratan sobre:

- La repoblación forestal de riberas de arroyos y ríos
- La restauración hidrológico-forestal de la cuenca del río Segura
- La repoblación forestal y ordenación de cultivos agrícolas integrados en las cuencas alimentadoras de los embalses de regulación
- La refundación y actualización de lo legislado en materia de Montes, acciones hidrológico-forestales y conservación de suelos forestales

En las décadas siguientes y manteniendo invariable la sentencia defendida por los ingenieros pioneros en la restauración de montañas, que veían necesario la restauración previa de la cuenca alimentadora de un torrente antes que la corrección del mismo, se propusieron diferentes criterios para plantear la ordenación agrohidrológica previa de una cuenca antes de abordar las obras y trabajos de restauración hidrológico-forestal que se requieren para su corrección. En España, hasta la década de los sesenta las zonas prioritarias para realizar los proyectos de restauración eran aquellas áreas afectadas intensamente por la erosión hídrica, obviando en la práctica otros aspectos importantes de la torrencialidad. Como modelo de la época se recuerda a los "índices de protección del suelo por la vegetación", basados en estudios anteriores sobre la "pendiente máxima admisible en cultivos y pastizales".

Con el mismo objetivo, se introduce y se extiende en la década de los setenta la utilización del modelo USLE, en el cual desempeñó una importante labor el antiguo departamento de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Por otro lado, el ICONA promueve, a partir de 1979, el Proyecto LUCDEME, aprobado por Orden de 5 de octubre de 1981, y a su amparo se realizan importantes estudios como la "Determinación del factor lluvia, coeficiente R o índice de erosión pluvial de la USLE en la vertiente mediterránea española" en 1980, aplicable a 182000 km² del territorio peninsular; y "Agresividad de la lluvia en España", en el 1988, que extiende y generaliza el valor del factor R a todo el territorio nacional. Finalmente, como resultado de éstos y otros estudios, se han elaborado los "Mapas de estados erosivos" (1987- 1993), que apoyándose en el modelo USLE, reflejan la erosión potencial en las diferentes áreas de España.

Más recientemente, el Ministerio de Medio Ambiente de España elaboró el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES), que tiene como objetivos detectar, cuantificar y reflejar cartográficamente los principales procesos de erosión en el territorio nacional y determinar su evolución en el tiempo mediante su inventariación de forma continua. Además, el INES mejora y actualiza anteriores Mapas de Estados Erosivos y sirve como instrumento para la coordinación de las políticas que inciden en la conservación del suelo de las Comunidades Autónomas, del Estado y de la Unión Europea.

Metodologías y modelos para el ordenamiento de cuencas

La ordenación de cuencas hidrográficas condiciona los usos del suelo en una cuenca a la conservación del suelo, el agua y el equilibrio del ciclo hidrológico.

La metodología clásica para la asignación de usos del suelo, es decir, para la ordenación de la cuenca, más aplicada en España, parte de un mapa de erosión del suelo. A pesar de las simplificaciones que se asumen en cualquier ejercicio de cartografía de la erosión, el procedimiento de ordenación es válido para establecer un mapa en el que las áreas afectadas se pueden agrupar en distintas intensidades de erosión. En la mayoría de los proyectos de restauración hidrológico-forestal el mapa de erosión es considerado como una herramienta valiosa para asignar prioridades de actuación y definir estrategias de restauración y gestión.

El procedimiento de cartografía más empleado (I.C.O.N.A, 1986), está inspirado en la generalización de los factores de la erosión de la ecuación universal de pérdidas de suelo, es decir, del modelo USLE. El uso de este modelo con objetivos de planificación, se basa en la comparación de la cifra de pérdida de suelo que proporciona el mapa con una cifra de pérdidas admisibles fijada de antemano. En aquellas áreas en las que las pérdidas de suelo son superiores a las admisibles, el uso del suelo es considerado incompatible con su conservación y por tanto, se proponen medidas y prácticas de conservación de suelos o acciones que proporcionasen una mejora de la cubierta vegetal protectora frente a la erosión.

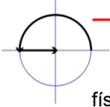
El análisis de los fenómenos torrenciales y la necesidad de proteger y al mismo tiempo utilizar adecuadamente los recursos hídricos y edáficos de una cuenca, basándose en el mantenimiento permanente de cubiertas vegetales de cierta extensión en la misma y de manera especial en su cabecera, son dos aspectos fundamentales para asegurarse el equilibrio dinámico de la cuenca y su aprovechamiento sostenido. Ambos pueden estudiarse de forma conjunta a través de los modelos hidrológicos distribuidos espacio-temporales, que permiten una exhaustiva ordenación agrohidrológica de la cuenca.

El estudio integral de una cuenca y su evolución implica la ordenación y análisis de una gran cantidad de datos espacialmente distribuidos y variables de forma aleatoria en el tiempo. La amplia evolución sufrida por los sistemas informáticos en los últimos años, concretamente en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), hace de estos programas elementos de análisis y consulta de gran capacidad. La facultad para gestionar y manipular sus Bases de Datos Geográficas permite desarrollar modelos asociados para el estudio



FIRMANTE - FECHA		DOCUMENTO: 20242830304
FRANCISCO FERNANDEZ YERA- SECRETARIO GENERAL - 12/09/2024 serialNumber=S2833002E,CN=Sello de tiempo TS@ - @firma,OU=Secretaría General de Administración Digital,O=Secretaría de Estado de Función Pública,C=ES - 12/09/2024 13:38:10		Fecha: 12/09/2024 Hora: 13:38
APROBACION INICIAL POR ACUERDO DE JUNTA DE GOBIERNO LOCAL, EN SESION ORDINARIA DE FECHA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2024		





físico, espacial y temporal, de multitud de procesos. Es el caso, por citar algunos, de modelos hidrológicos, de calidad de aguas, de ordenación urbana y territorial.

Un modelo integral de cuenca debe aglutinar de manera eficiente y coordinada la explotación de todos esos modelos definidos por separado, pero simultáneos e indisolubles en la realidad. Los datos de campo permiten ajustar el modelo más exactamente a la realidad y, a su vez, el análisis de los resultados del modelo conduce a la mejor comprensión de la realidad y al replanteamiento de la distribución espacial o temporal de las mediciones que se están llevando a cabo. Con esta doble herramienta que coordina el trabajo de campo con el de gabinete, se dispone de un apoyo inestimable para cualquier estudio de gestión integrada de un sistema tan complejo como es una cuenca hidrográfica.

El uso de los sistemas de información geográfica permite identificar y analizar los problemas de una manera más rápida, a la vez que permite seleccionar, a través de la simulación, las medidas más apropiadas para la conservación y rehabilitación de las cuencas.

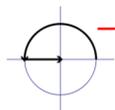


La autenticidad de este documento se puede comprobar con el código 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9H5 en la web del Ayto. Antequera

FIRMANTE - FECHA		DOCUMENTO: 20242830304
FRANCISCO FERNANDEZ YERA-SECRETARIO GENERAL - 12/09/2024 serialNumber=S2833002E,CN=Sello de tiempo TS@ - @firma,OU=Secretaría General de Administración Digital,O=Secretaría de Estado de Función Pública,C=ES - 12/09/2024 13:38:10		Fecha: 12/09/2024 Hora: 13:38
APROBACION INICIAL POR ACUERDO DE JUNTA DE GOBIERNO LOCAL, EN SESION ORDINARIA DE FECHA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2024		

CSV: 07E8002B2FE000B4Z5S3C1H9H5





METODOLOGÍA DE ORDENACIÓN DE LA CUENCA BASADA EN EL MODELO USLE DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) es un método empírico que sirve para estimar los promedios anuales de pérdidas de suelo, y está enfocado hacia planes específicos de restauración medioambiental y conservación del suelo. Se trata de un modelo especialmente adaptado para evaluar la erosión laminar y surcos o regueros. La bondad del modelo depende del rigor con el que los seis factores que componen la ecuación, reproduzcan las condiciones del medio al interpretar los mecanismos erosivos por sus causas y efectos.

El fundamento del modelo USLE está documentado suficientemente en los estudios originales de Wischmeier y Smith (1978) que comprobaron, al contrastar una base de datos de 2300 parcelas, que USLE daba predicciones de pérdidas medias anuales con un error de ± 5 t/ha, en el 84% de los casos en que se aplicó, y también en estudios posteriores, que dan cuenta de este modelo.

La ecuación básica del modelo USLE para la estimación de pérdidas medias de suelo como consecuencia de la erosión hídrica laminar y en regueros, es la siguiente:

$$A = R \times K \times (L \times S) \times C \times P$$

Donde:

- A = Pérdidas de suelo por unidad de superficie para el período de tiempo considerado, expresado en toneladas/ha/año
- R = Factor lluvia (índice de erosión pluvial), expresado en J. cm / m². hora
- K = Factor erosionabilidad del suelo, expresado en t. m². hora / ha. J. cm
- L = Factor longitud de la ladera, expresado en metros
- S = Factor pendiente de la ladera, expresado en %
- C = Factor cubierta y manejo del suelo, adimensional
- P = Factor de prácticas de conservación del suelo, adimensional

El objetivo de este informe es representar cartográficamente los resultados del modelo USLE aplicados a la cuenca y zona objeto de estudio mediante un mapa de niveles cuantitativos actuales de pérdidas medias anuales de suelo. Para ello se utilizarán diversos mapas temáticos de la zona de estudio que, mediante su intersección por técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica), darán lugar al mapa resultante de pérdidas de suelo. Los mapas temáticos que se van a utilizar son:

- Pendientes
- Usos del suelo y/o vegetación
- Litología / Edafología

Métodos de cálculo de los factores USLE

Factor erosividad de la lluvia (R)

El índice de erosión pluvial o factor de erosividad de los aguaceros, se define como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos.

Para estimar el valor de R en la zona de estudio se utiliza el método propuesto por Zaragoza *et al* (2007), que emplea los datos pluviométricos disponibles en las estaciones pluviométricas convencionales. Este método se basa en el índice de Fournier modificado (IFM).

Así, la fórmula propuesta por Zaragoza *et al* es:

$$R = 2'56 \cdot IFM^{1'065} \cdot 0'56^{Z_2} \cdot 1'66^{Z_4}$$

Donde R es el índice de erosión pluvial, IFM es el índice de Fournier modificado y Z₂ y Z₄ son factores zonales propuestos por ICONA-INTECSA. El valor de IFM se calcula con la siguiente expresión:

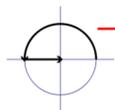
$$IFM = \sum_1^{12} \frac{pd^2}{P}$$

Siendo pd la precipitación máxima diaria mensual y P la precipitación media anual.

Los valores de R obtenidos para la zona de estudio se han obtenido directamente desde la REDIAM publicado por la Junta de Andalucía. La Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) tiene como objeto la integración, normalización y difusión de toda la información sobre el medio ambiente andaluz generada por todo tipo de centros productores de información ambiental en la Comunidad Autónoma. Fue creada por la Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (GICA) y ordenada por el Decreto 347/2011, de 22 de noviembre, por el que se regula la estructura y funcionamiento de la Red de Información Ambiental de Andalucía y el acceso a la información ambiental.

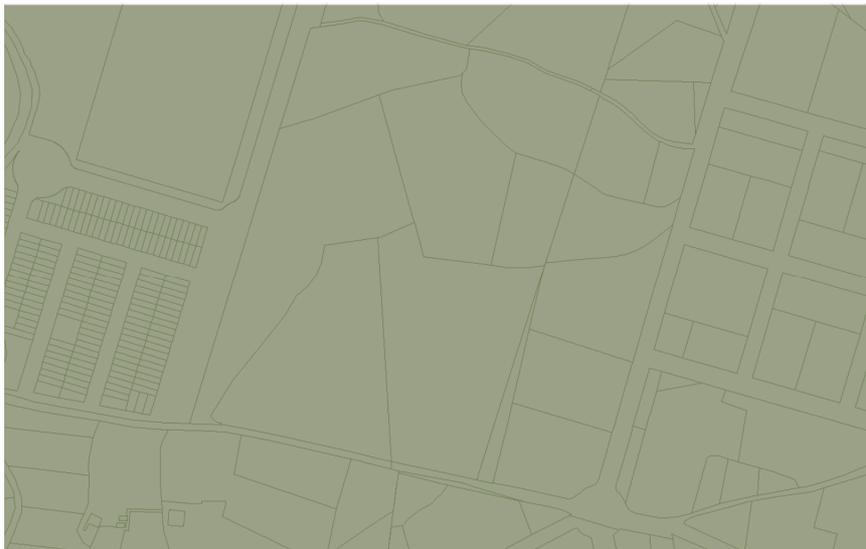
Con dicha información, y a partir del siguiente esquema, se obtiene el mapa del Factor R:





Erosividad de la lluvia

Nivel	Factor R (MJ.mm/ha.h.año)	Denominación
1	10-250	Extremadamente baja
2	250-500	Muy baja
3	500-750	Baja
4	750-1000	Moderadamente baja
5	1000-1500	Moderada
6	1500-2000	Moderadamente alta
7	2000-3000	Alta
8	3000-5000	Muy alta
9	>5000	Extremadamente alta



En este caso el valor del Factor R es 2, es decir, entre 250 y 500. Considero un valor conservador de 499 MJ.mm/ha.h al año.

Factor erosionabilidad (K)

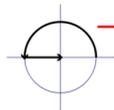
Este factor expresa la influencia de las propiedades químicas y físicas del suelo en la erosión, a través de la infiltración, permeabilidad, capacidad de retención de agua, resistencia a la dispersión, aplastamiento, abrasión y a las fuerzas de transporte.

Se determina empíricamente y es el valor de las pérdidas de suelo por unidades del índice de erosión pluvial, para un suelo determinado en barbecho continuo, con una pendiente del 9% y una longitud de ladera de 22'1 m.

Un procedimiento para calcular el valor del factor de erosionabilidad K, consiste en utilizar la ecuación de ajuste que relaciona dicho factor con las características físico-químicas del suelo y de textura. No obstante, puesto que no se dispone de datos de análisis de suelos de la cuenca, este procedimiento no es posible aplicarlo en el caso del cálculo de K para la zona de estudio.

Finalmente, para estimar el valor de K de la zona de estudio, se ha utilizado un procedimiento que se ajusta mejor a los datos disponibles de la zona de estudio, y que está basado en distintas investigaciones que buscan cuantificar el grado de relación del factor K con otras variables como litología, tipo de suelo, cobertura vegetal, uso del suelo o afección por incendio. Las conclusiones de estas investigaciones son que, además de la clara relación existente con el tipo de suelo, el factor K presenta también una correlación muy destacada con el tipo de litología, con respecto al resto de variables antes mencionadas. Por tanto, como existe información litológica de la cuenca, se estimará el factor K en base a la misma. Zaragoza *et al* (2007) a partir de las investigaciones descritas, y para una zona de estudio, localizada en Crevillente (Alicante), elaboró una tabla, que relacionaba la litología con el factor K.

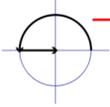




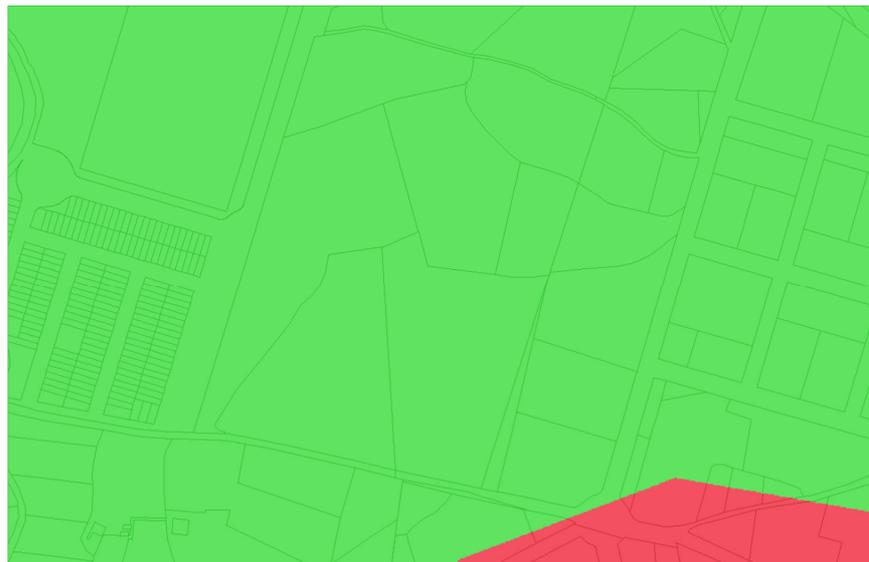
Descripción litología	Factor K
Aluvión	0,24
Arcillas	0,28
Arcillas y conglomerados	0,28
Arcillas, margas y yesos	0,30
Arenas	0,26
Areniscas	0,18
Areniscas calcomargosas y margas	0,24
Calcareníta	0,16
Calcáreas tobáceas	0,14
Calcáreas y areniscas	0,14
Calcáreas y dolomías	0,14
Calcáreas y margas	0,22
Caliza zoógena	0,14
Cantos, gravas y limos	0,20
Cantos, gravas, arenas y arcillas	0,20
Cantos, gravas, arenas y limos	0,20
Conglomerado arcilloso y arcillas	0,16
Conglomerado tramo regresivo	0,16
Conglomerados y arcillas	0,22
Conglomerados y margas: caliche	0,18
Conglomerados, areniscas y arcillas	0,16
Cuaternario indiferenciado arenas, gravas	0,22
Detrítico cañadas	0,24
Dolomías	0,14
Dunas	0,26
Lentejón detrítico intercalado	0,20
Limos y arcillas	0,28
Limos y arenas	0,28
Margas ocre claro con niveles arenosos	0,32
Margas y areniscas	0,28
Margocalizas	0,16
Terra rossa: dolinas	0,28

Basándose en los valores de K proporcionados por esta tabla y en el mapa de litología de la zona de estudio, se obtienen los valores de este factor para cada grupo litológico presente en la misma.





Plano de litología de la zona



Factor K

Factor longitud-inclinación (LS)

Los factores L y S, longitud y pendiente de ladera respectivamente, se agrupan en un solo factor LS, que introduce el relieve como elemento fundamental para que actúe la erosión. Para conseguir una mayor precisión en su elaboración, es necesario utilizar Modelos Digitales del Terreno (MDT), ya que su estimación se complica a medida que el relieve es más complejo.

Para la topografía del terreno se ha utilizado la base del IGN publicada:

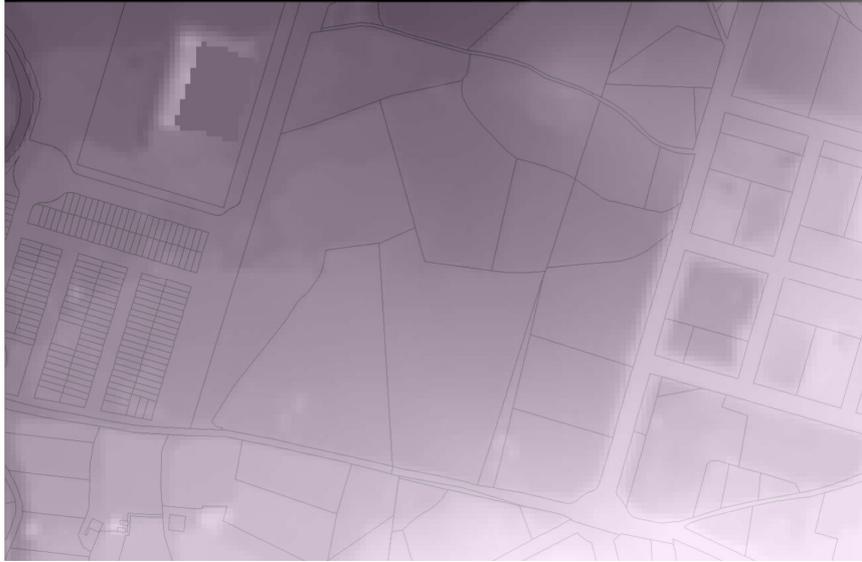
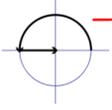
- PNOA-MDT05-ETRS89-HU30-1023-LID.ASC

Para la obtención del factor LS se aplica la siguiente ecuación:

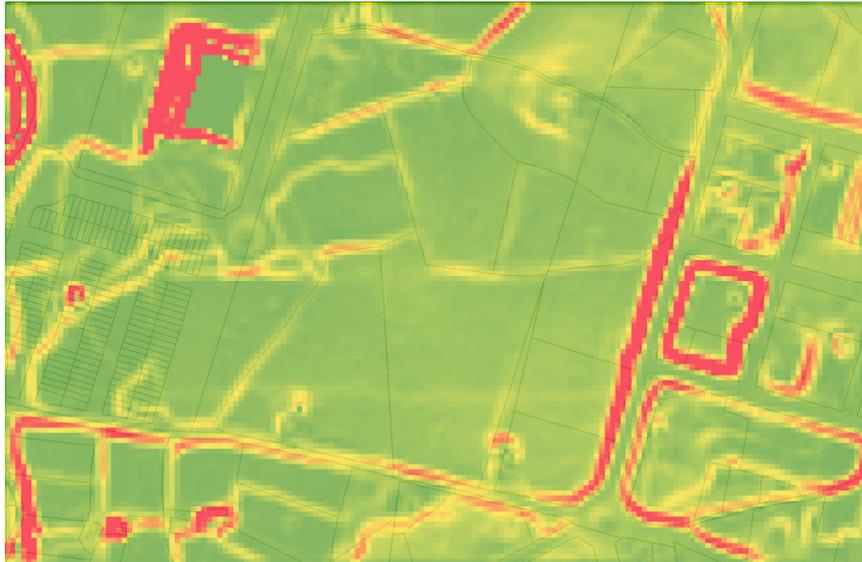
$$LS = (Flow\ accumulation + cell\ size / 22,13)^{0,4} \cdot (sin\ slope / 0,0896)^{1,3}$$

Aplicada a la zona de estudio, dando lo siguiente para cada uno de los factores en estudio:



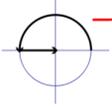


Plano de topografía

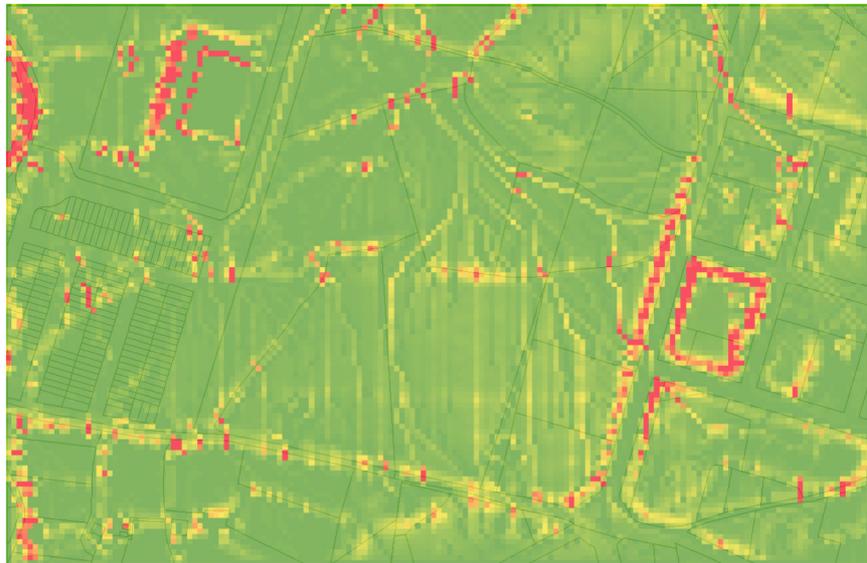


Plano de pendientes en radianes





Plano de acumulación de flujo



Plano del factor LS

Factor cubierta vegetal (C)

La influencia del cultivo en la erosión se manifiesta a través de la especie cultivada, de su posición dentro de la alternativa, las mezclas cuando existan, la forma y número de labores, la productividad, la existencia de mayor o menor erosividad de la lluvia en el período del año en que se realiza el cultivo, etc. Sin embargo, el número de combinaciones es muy elevado y no es posible separar los efectos de cada uno de los supuestos, por lo que se utilizan mediante un solo factor.

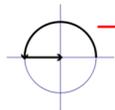
El efecto que la vegetación proporciona al suelo y que es recogido en la determinación del factor C, se debe fundamentalmente:

- A la protección aérea que la vegetación proporciona al suelo, creando una especie de pabellón cubierto.
- A la protección que proporciona la vegetación al ras del suelo, y al efecto beneficioso que se produce en la defensa del suelo contra la erosión, cuando el crecimiento de las plantas es lo bastante denso.
- A los efectos que los residuos de la vegetación tienen en la protección del suelo, tanto porque la cubren, como porque pueden variar algunas de sus propiedades físicas, por ejemplo, produciéndole un aumento de la porosidad, siempre que éstas no estén consideradas en el factor K.



FIRMANTE - FECHA		DOCUMENTO: 20242830304
FRANCISCO FERNANDEZ YERA-SECRETARIO GENERAL - 12/09/2024		Fecha: 12/09/2024
serialNumber=S2833002E,CN=Sello de tiempo TS@ - @firma,OU=Secretaría General de Administración Digital,O=Secretaría de Estado de Función Pública,C=ES - 12/09/2024 13:38:10		Hora: 13:38
APROBACION INICIAL POR ACUERDO DE JUNTA DE GOBIERNO LOCAL, EN SESION ORDINARIA DE FECHA 02 DE SEPTIEMBRE DE 2024		





Es difícil de fijar, debido a la infinidad de formas de vegetación, cultivo y tratamiento.

El factor C es la relación entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y la pérdida correspondiente del suelo en barbecho continuo. Esta comparación se hace suponiendo que son semejantes las condiciones suelo, pendiente y lluvia.

El I.C.O.N.A. (1982) propuso unos valores medios para el factor C adaptados a las condiciones del territorio español que se presentan en la Tabla siguiente.

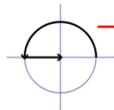
Tipo de cubierta	Factor C (ICONA)
Arbolado forestal denso	0,01
Arbolado forestal claro	0,03
Matorral con buena cobertura	0,08
Matorral ralo y eriales	0,2
Cultivos arbóreos y viñedos	0,4
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Cultivos en regadío	0,04

En este caso utilizaré la base de datos del corine Land Cover de 2018, publicada por el IGN:



Plano de usos del suelo





Plano de Factor C (entre 0'40 y 0'01)

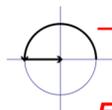
Code_18	Descripción Corine Land Cover	Descripción SCS
111	Tejido urbano continuo	Rocas impermeables
112	Tejido urbano discontinuo	Rocas permeables
121	Zonas industriales o comerciales	Rocas impermeables
122	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	Rocas impermeables
131	Zona de extracción minera	Barbecho
133	Zonas en construcción	Barbecho
142	Instalaciones deportivas y recreativas	Pradera pobre
211	Tierras de labor en secano	Cereales de invierno
212	Terrenos regados permanentemente	Rotación de cultivos densos
221	Viñedos	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
222	Frutales	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
223	Olivares	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
231	Prados y praderas	Pradera buena
241	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media
242	Mosaico de cultivos	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
243	Terrenos principalmente agrícolas, pero con vegetación natural	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
244	Sistemas agroforestales	Pradera media
311	Bosques de frondosas	Masa forestal espesa
312	Bosques de coníferas	Masa forestal espesa
313	Bosque mixto	Masa forestal muy espesa
321	Pastizales naturales	Pradera media
323	Matorrales esclerófilos	Masa forestal media
324	Matorral boscoso de transición	Masa forestal media
331	Playas, dunas y arenales	Barbecho
332	Roquedo	Rocas impermeables
333	Espacios con vegetación escasa	Pradera pobre
334	Zonas quemadas	Barbecho
512	Láminas de agua	Rocas impermeables

Debido a que la mayor parte del suelo está en olivar se ha considerado el mayor factor 0'40 para esta zona.



FIRMANTE - FECHA





Factor de prácticas de conservación (P)

Expresa la influencia que ejercen las prácticas de cultivo, corrección y conservación en la erosión hídrica. La función de este factor es disminuir el valor de pérdida de suelo obtenido, suponiendo que existen o van a llevarse a cabo prácticas de conservación, tales como cultivos en fajas, terrazas, etc., en el área de estudio.

En la tabla se muestran los valores propuestos por Wischmeier y Smith (1978) para el factor P, en función de la pendiente y la práctica de conservación.

Pendiente del terreno (%)	Cultivo en contorno o a nivel	Cultivos en fajas	Cultivos en terrazas
1-2	0,60	0,30	0,12
3-8	0,50	0,25	0,10
9-12	0,60	0,30	0,12
13-16	0,70	0,35	0,14
17-20	0,80	0,40	0,16
21-25	0,90	0,45	0,18

En la zona de estudio se han observado prácticas de conservación principalmente en aquellas zonas donde las pendientes son algo más pronunciadas, entre 3 y 12 %. Los valores de P para la zona de estudio se han adaptado a partir de los valores propuestos en la tabla anterior, de manera que se han estimado unos valores medios para cada agrupación de cultivos, siendo el valor de P igual a 1 en aquellos cultivos en los que no se han observado prácticas de conservación, estimando correcto aplicar un valor unitario a la totalidad del sector.

Tolerancia de pérdidas de suelo y tasa de erosión según el modelo USLE

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) ha sido empleada en todo el mundo para numerosos propósitos y para muy diferentes condiciones. Su uso es particularmente recomendado para:

- Predecir la pérdida media anual de suelo en una parcela concreta, con un uso y ordenación determinados.
- Servir de guía en la selección de las medidas de conservación de un terreno determinado. Para ello, es preciso conocer la tolerancia de pérdidas de suelo del terreno, lo que a su vez permite efectuar la ordenación agrológica del espacio considerado.
- Estimar la reducción en las pérdidas del suelo que pueden obtenerse con distintas alternativas de cultivo y/o manejo.
- Definir cuál de las prácticas de conservación incluidas en el factor P es la más adecuada para el terreno.

La tolerancia a la pérdida de suelo es la cantidad de tierra que, expresada en toneladas por unidad de superficie y año, puede perder un perfil edáfico manteniendo su nivel de productividad actual durante un largo periodo de años. Refleja la máxima pérdida de suelo admisible con un grado de conservación tal que mantenga una producción económica similar, con los medios técnicos disponibles en la actualidad.

Al establecer los límites de pérdidas que se pueden tolerar se suelen tener en cuenta las siguientes consideraciones:

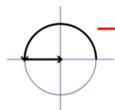
1. Es preciso mantener un espesor adecuado del suelo favorable para la producción agrícola y forestal durante largo tiempo. Deberá pues, tenerse presente el efecto de la erosión sobre los rendimientos de los cultivos en los suelos de que se trate.
2. Las pérdidas habrán de ser menores que aquellas que provocasen formación de surcos y cárcavas.
3. Habrán de ser también inferiores a las que causarían un considerable aterramiento en los cauces de desagüe, cunetas de carretera, etc.
4. Las pérdidas no deben llegar al punto de que por erosión o aterramiento las semillas de cultivos corran el riesgo de perderse.

Conocer la tolerancia de un suelo a las pérdidas resulta, algo primordial para definir los efectos que puede ocasionar la erosión en un futuro más o menos inmediato. La tolerancia depende de las propiedades del suelo en sí mismo, de la profundidad, topografía y erosión precedente sufrida.

En cultivos de suelos fértiles y profundos las pérdidas de suelo tolerables se estiman en medio milímetro del perfil edáfico superior por año. Admitiendo un peso específico del suelo de 2 tn/m³, las pérdidas se evalúan en 10 tn/ha año. Esta cifra normalmente es superada, siendo frecuente que se sitúen entre 17 y 20 tn /ha año en zonas agrícolas de alta potencialidad y aplicándose una elevada tecnología agraria.

En la "Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos" confeccionada por la F.A.O., P.N.U.M.A. y U.N.E.S.C.O. (1981) se propone el siguiente baremo para evaluar el grado de erosión de los suelos, según las pérdidas de suelo.



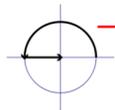


Pérdidas de suelo A (t/ha año)	Grado de la erosión hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10- 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muy alta

Para la elaboración del mapa de pérdidas de suelo en la cuenca objeto de estudio mediante la aplicación del modelo USLE, se realiza la intersección de los mapas correspondientes a cada uno de los factores que intervienen en el cálculo de las pérdidas de suelo por dicho modelo, esto es:

- Mapa de índice de erosión pluvial: definidor de R
- Mapa de litología: definidor de K
- Mapa de pendientes: definidor de LS
- Mapa de cultivos y aprovechamiento del suelo: definidor de C y P



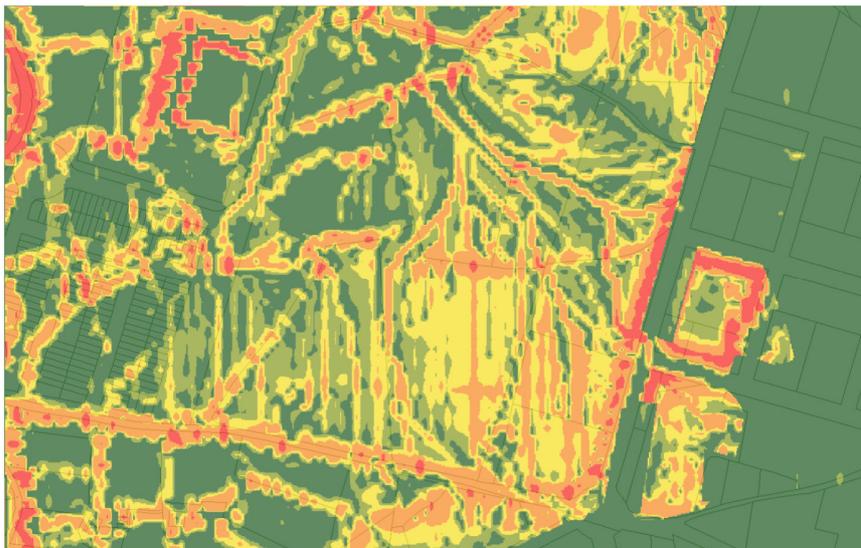


CONCLUSIONES

El resultado final, que representa las superficies afectadas por diferentes grados de erosión, se establece definiendo cinco niveles correspondientes a otros tantos valores de $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$. Estos niveles son:

- 1) $A < 10$ tn/ha año
- 2) $10 < A < 25$ tn/ha año
- 3) $25 < A < 50$ tn/ha año
- 4) $50 < A < 200$ tn/ha año
- 5) $A > 200$ tn/ha año

Para indicar los niveles de erosión en el mapa de pérdidas de suelo obtenido para la zona de estudio se ha optado por emplear una clasificación muy similar a la anterior, como puede observarse en el mapa siguiente, donde además se incluye la distribución superficial de las pérdidas en la zona de estudio.



Plano de erosión del suelo

La zona en color verde supone erosión nula, mientras que las zonas en rojo suponen una erosión muy alta.

La media se sitúa en 30'36, lo que quiere decir que la mayor parte del sector tiene una erosión hídrica moderada, siendo la distribución estadística bastante suave con una desviación típica de 84'73.

En líneas generales se puede considerar que no es necesario establecer ningún tipo de medidas correctoras para la erosión, máxime cuando se va a urbanizar el sector, reduciendo de manera considerable el factor C, reduciéndolo a una cifra pequeña.

En general, **la erosión es moderada con respecto a la erosión de origen hídrico.**

Fdo: Humberto J. Rodríguez García
 Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

