

Cambio de usos acelerado y repercusiones sobre los riesgos en el territorio. El caso de la extensión de los cultivos subtropicales en la Axarquía malagueña.

Francisco José Cantarero Prados¹, Antonio Jesús Gallegos Reina², Jesús Vías Martínez³, Darío Gumiel Muñoz⁴

¹Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, fjcantarero@uma.es

²Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, a.gallegos@uma.es

³Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, jmvias@uma.es

⁴Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, dariogumiel@hotmail.com

RESUMEN

El trabajo se fundamenta en la perspectiva que focaliza la génesis de buena parte de los procesos de riesgo ambiental en la acción humana sobre el territorio. El área de estudio es una pequeña cuenca localizada en la Axarquía (Málaga España), comarca que asiste a un proceso muy acelerado de cambio de usos tradicionales agrícolas hacia el cultivo intensivo de especies arbóreas subtropicales. Estos cultivos exigen cambios drásticos en la morfología de las laderas con el objeto de aterrizarlas.

Se plantea un análisis de las consecuencias del acelerado cambio de uso sobre los procesos de riesgos, tanto de inducción de los de origen natural (erosión, movimientos en masa o la inundación) como otros tecnológicos (contaminación de acuíferos). Para ello se eligen diferentes parámetros que tienen incidencia en cada uno de ellos para emplearlos como indicadores de la variación de la peligrosidad. Los resultados muestran un aumento generalizado de la misma.

ABSTRACT

The work is based on the perspective that focuses the genesis of a good part of the processes of environmental risk in human action on the territory. The study area is a small basin located in the Axarquía (Málaga Spain), a region that experiences a very accelerated process of change of traditional agricultural uses towards the intensive cultivation of subtropical tree species. These crops require drastic changes in the hillside morphology in order to terrach them.

It is proposed an analysis of the consequences of the accelerated change of use on the risk processes, both of induction of those of natural origin (erosion, mass movements or flooding) and other technological (pollution of aquifers). Several parameters has been chosen to assess that impact on hazard in order to use them as indicators of the variation of it. The results show a general increase in hazard in this area.

1.- INTRODUCCIÓN

La Axarquía es una comarca situada al oriente de la provincia de Málaga (España) cuya economía ha girado históricamente entorno a actividades del sector primario, principalmente en las áreas más alejadas de su costa. Pese lo anterior, en el litoral aún pervive cierta actividad agrícola en aquellos tramos donde el turismo no ha sido capaz de imponerse. A finales del siglo XX, el auge vivido por el sector de la construcción atrajo a buena parte de la población activa local. El apogeo de la actividad constructiva duró hasta 2008, y con ello la imperiosa necesidad de cambiar de actividad de buena parte del empresariado local. Una alternativa fue la vuelta a la actividad agrícola a través de la introducción de cultivos subtropicales, principalmente mango. Debido a la buena aceptación de este, empieza a ocupar los espacios interiores, periféricos a las llanuras aluviales, los cuales estaban ocupados tradicionalmente por cultivos de secano como la vid, el almendro o el olivar, e incluso zonas de saltus ocupadas por algarrobos y retamas. Este nuevo cultivo requiere de especiales condiciones de aterramiento o irrigación para su puesta en producción de forma intensiva, por tanto, allí donde se ha introducido es necesaria la adecuación del terreno. Esto requiere en muchos casos de movimientos de tierras para el abancalamiento, lo cual implica alterar en ocasiones de forma sustancial las características físicas del terreno con cambios en la geometría de las laderas, alteración de la consistencia del suelo, eliminación de vegetación natural, etc. El resultado es la alteración de los equilibrios conseguidos de forma natural en las laderas y la potenciación, por inducción humana, de procesos naturales como la erosión, movimientos de ladera o inundación. A lo anterior, además se suma el hecho de que la puesta en producción de los nuevos frutales exige insumos de forma intensiva; los químicos empleados a tal efecto además pueden comportar peligrosidad desde el punto de vista de la contaminación del agua del subsuelo.

En contextos territoriales como el que aborda el presente trabajo, la dinámica económica y poblacional está interfiriendo con los procesos naturales en aquellas áreas de expansión de la actividad antrópica. En tales circunstancias la susceptibilidad a la activación de los procesos de peligrosidad es muy elevada, ya no por la especial violencia de los procesos climáticos o geomorfológicos locales sino por la activación desde el lado humano de las dinámicas naturales que provocan situaciones de riesgo (reconfiguración de pendientes, modificación de redes de drenaje, etc.). Si a lo anterior, además, se agregan los factores que suman exposición humana al riesgo (edificación en áreas propensas a inundaciones, movimientos en masa, etc.; trazado de vías de comunicación sobre zonas no aptas, etc.) los territorios como este se reconfiguran hacia la propensión al riesgo.

La reiteración de interferencias similares a lo largo de una región es un claro indicador de la inadaptación del patrón de usos humanos a las dinámicas naturales existentes. Esta circunstancia, esbozada por García-Tornel (1984) o Ayala y Olcina (2002) es planteada específicamente por Cantarero Prados (2013), quien considera que la peligrosidad en espacios transformados estará determinada tanto por la propia amenaza natural como por esas inadaptaciones al medio que suponen las actuaciones de índole humana activadoras de las condiciones naturales de peligrosidad. Con este mismo enfoque, los procesos de inducción de la peligrosidad de forma concreta sobre los espacios litorales de la provincia de Málaga han sido objeto de estudio por Perles Roselló y Mérida Rodríguez (2010), Cantarero Prados (2013) y Gallegos Reina (2015 y 2019), entre otros.

La imbricación de fenómenos puramente naturales con otros de origen antrópico hace necesario análisis del riesgo con enfoques ya no sectoriales sino planteamientos de tipo fenomenológico, que aborden la globalidad de factores implicados en la generación del riesgo.

Cantarero (2013) resume los principales motivos de interferencia del patrón artificial sobre la distribución de la peligrosidad de inundación y los peligros asociados a la misma (erosión y movimientos en masa):

Tipos de intervención sobre el terreno	Acción	Consecuencias sobre el peligro (probabilidad de activación, aceleración, intensificación, transferencia de impactos)
Modificaciones de la morfología terreno (pendientes y desniveles relativos)	Neo-relieves subsidentes: excavaciones, taludes. Neo-relieves prominentes: acumulación de tierras movilizadas, escombreras.	Modificación de la red natural de evacuación de flujos y transferencia de energía. Producción de sólidos sueltos Aumento de la probabilidad de peligro por acumulaciones de subproductos (vertederos, escombreras, rastros)
Modificaciones de la compactación del terreno	Excavaciones, remoción de sólidos	Producción de sólidos sueltos
Modificaciones de la permeabilidad del terreno	Asfaltado, compactación con maquinaria, ganadería, invernaderos.	Aumento de escorrentía
Modificaciones de la red de flujos naturales de evacuación de masa y energía	Invasión de cauces y bloqueo construcción en pendientes	Transferencia de consecuencias a lugares no previstos. Generación de represas
Aproximación (superposición, adyacencia) de factores activadores humanos a determinantes físicos	Acciones sobre áreas causantes del peligro (superposición) Acciones cercanas a áreas causantes (adyacencia)	Aumento de probabilidad de activación

El patrón de usos humanos interfiere, por tanto, en esta área de estudio sobre la dinámica natural. La puesta en cultivo de buena parte de la cuenca con frutales subtropicales ha requerido obras de acondicionamiento del terreno que podrían tener efectos en los mecanismos de generación de la peligrosidad de algunos riesgos naturales en la zona. Por esta razón este trabajo se plantea como objetivo principal la estimación de la evolución del factor peligrosidad natural en la zona derivada de los cambios introducidos por la intensificación de la actividad humana. Para ello se compara la variación de la intensidad de los procesos de peligrosidad natural a través de la evolución de algunos parámetros que tienen incidencia directa en la generación de la amenaza. De este modo, como objetivos parciales se evalúan el cambio de los factores “pendiente” y “uso del suelo” empleados para el cálculo de la erosión con el método RUSLE (Renard et al. 1997), las variaciones en la red de drenaje y la variación en la propensión a la peligrosidad de contaminación de acuíferos. Para dicha comparativa se han tomado dos fechas de referencia: una previa a la gran puesta en cultivo de parte de la cuenca, 2011, y otra, 2018, tras las modificaciones del terreno que se han llevado a cabo.

2. ÁREA DE ESTUDIO y CONTEXTO REGIONAL

La cuenca estudiada en este trabajo se encuentra situada en la comarca malagueña de la Axarquía, concretamente en la franja norte de la franja periurbana de la ciudad de Velez-Málaga. Su tamaño es relativamente pequeño (1,65 kilómetros cuadrados) y su cauce principal es el arroyo de Salinas (tributario del río Vélez por su margen izquierda) que la recorre de norte a sur a lo largo de aproximadamente 3 kilómetros. Su localización exacta puede apreciarse en la Figura 1, siendo sus coordenadas extremas las siguientes:

Punto más septentrional: 36° 49'16.23''N - 4°05'55.36'' O

Punto más meridional: 36°47'49.60''N – 4°06'42.39'' O

Punto más occidental: 36°47'56.32''N – 4°06'49.38''O

Punto más oriental 36°48'56.02''N – 4°05'51089''O

Su cota más alta se sitúa a 480 metros, mientras que la cota más baja se encuentra a 60 metros sobre el nivel del mar, siendo la altitud media de la zona de estudio unos 195 metros. La pendiente del cauce principal es de aproximadamente el 14% .

La comarca en la que se ubica destaca por su paisaje de montaña de cierta singularidad en la que los espacios llanos, los cuales son escasos, se encuentran muy bien valorados para la implantación de usos diversos. Destaca su paisaje natural, el de una solana mediterránea en latitud más meridional, la cual presta una gran benignidad climática, y ofrece, en su descenso desde las sierras al mar, un relieve compartido y accidentado, acentuando su carácter montuoso. También podemos destacar dicha comarca por el interés que radica en su organización humana. Destaca su montaña de agricultores, densamente ocupada y cultivada en el pasado, su huella se comprende en la cultura y el paisaje. Encontramos así un espacio de montaña abundantemente humanizado, con un sinfín de pequeños asentamientos y un hábitat diseminado profuso, dentro de un paisaje agrario heterogéneo y difuso, en el que se confunde con frecuencia el ager y el saltus, motivo de una historia de vicisitudes de avances y retroceso de uno sobre el otro.

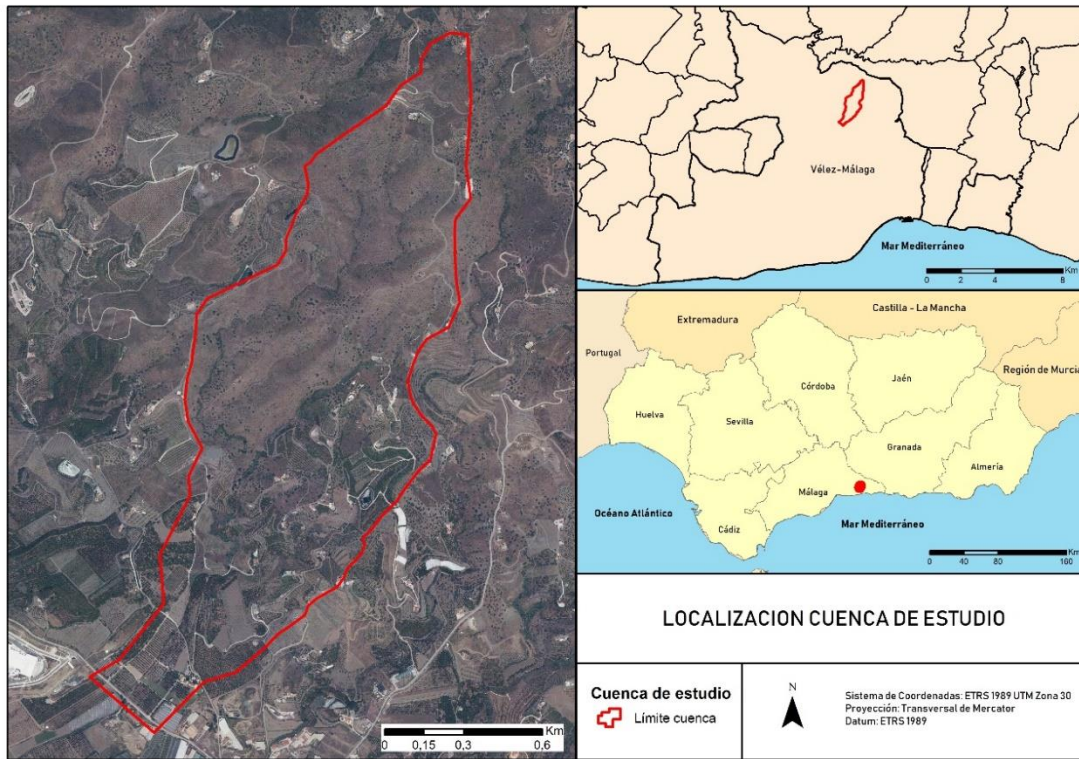


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Cuenca del arroyo de Salinas (Velez-Málaga, España). Fuente: elaboración propia

Su litoral es un espacio que poco a poco se ha ido abriendo al turismo aunque ni mucho menos con la intensidad del sector de costa ubicado al oeste de la ciudad de Málaga. Las áreas montañosas que remontan la costa se ofrecen como zonas de expansión de los nuevos usos de la franja costera. Tal proximidad constituye una expectativa potencial de desarrollo de la actividad turística, mucho más real que en otras comarcas rurales, si bien esto conlleva un mayor riesgo en cuanto a los procesos que desencadena la actividad turística a gran escala (desnaturalización, transformación del paisaje, pérdida de valores culturales).

3.- MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada está diseñada para efectuar un ejercicio comparativo del grado de peligrosidad natural que induce la configuración del terreno en dos momentos temporales diferentes: antes del auge del cultivo de frutales subtropicales (año 2005) y después de éste (año 2018). Concretamente se abordan aspectos como la erosión, la inundación, los movimientos del terreno y la contaminación de acuíferos. Para cada una de estas amenazas se eligen diversos factores que inciden en la intensidad de las mismas y a través de su estimación se extraen conclusiones en relación a la peligrosidad y la incidencia que sobre esta ha tenido la acelerada transformación sufrida del terreno en el área de estudio.

3.1.1 CARTOGRAFÍA DIACRÓNICA DE USOS DEL SUELO

En el presente apartado se expone de un modo sintético y conciso las fuentes, herramientas y métodos utilizados para la creación de las bases de datos de los usos del suelo para los años 1977, 2005 y 2018, utilizadas para realizar el análisis comparativo de los usos del suelo y concretamente del cultivo subtropical en la cuenca de estudio localizada en el municipio de Vélez Málaga. Dicho esto, añadir que para la elaboración de dicha base de datos ha sido utilizado el software ArcMap 10.6.1.

El primer paso fue realizar una exploración de las fuentes de datos que recogieran información geoespacial y de usos del suelo de la zona de estudio, en este caso al pertenecer a la Comunidad Autónoma de Andalucía, el ámbito de exploración de datos ha sido a nivel tanto de comunidad autónoma como estatal.

En el caso concreto de la presente investigación las fuentes consultadas han sido:

SIOSE. Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España. Base de datos a escala 1:25.000 para los años 2005, 2009, 2011 y 2014.

MUCVA. Mapa de Usos y Coberturas Vegetales de Andalucía. Base de datos a escala 1:25.000 para los años 1956, 1977, 1999, 2003 y 2007.

ORTOFOTO PNOA. Mosaico de ortofotos del PNOA de 2005 y 2018 en formato ECW, sistema geodésico de referencia ETRS89 y proyección UTM en su huso correspondiente.

Para el análisis comparativo han sido escogidos los años 1977, 2005 y 2018. En el caso concreto de la presente investigación, las fuentes consultadas para la creación de la base de datos geoespacial ha sido la del SIOSE para las fechas más actuales (2005 y 2018), mientras que para 1977 la fuente consultada ha sido la base de datos MUCVA.

Una vez descargados los datos, se procedió a realizar el recorte de los usos del suelo para la cuenca de estudio con el objetivo de simplificar los datos en la mayor medida posible, a continuación, se procedió a moldear las tablas de atributos con la finalidad de ajustarlas a las necesidades de la presente investigación. De igual modo, se realizó la limpieza de las tablas de atributos eliminando todo aquello que no aportase un valor añadido.

Por último, una vez que se limpiaron las bases de datos para cada uno de los años, se crearon tres campos adicionales que definieran más claramente los usos del suelo tanto del MUCVA como del SIOSE, con el objetivo de crear una base de datos definitiva orientada al estudio del cultivo de regadío. Cada uno de estos campos fue creado utilizando como apoyo las imágenes satelitales para el año en cuestión, de modo que se corrigiese mediante fotointerpretación aquel uso que no se correspondiera con lo existente en la realidad.

Finalmente, cada campo recogería de menor a mayor detalle la categoría de cada uno de los usos del suelo hasta definir el tipo de cultivo concreto, siendo dicha información utilizada para la realización de la cartografía presente en este estudio. De manera adicional, se creó un campo en el que quedaría recogido el área para cada uno de los usos del suelo de la cuenca de estudio con el fin de analizar de forma cuantitativa los diferentes usos encontrados.

Una vez realizado los procedimientos anteriores, obtuvimos tres bases de datos de diferentes años con tipologías de cultivos similares, obtenidas y basadas en fuentes distintas (SIOSE y MUCVA).

Cabe matizar que para obtener los usos del suelo del año 2018 el método utilizado ha sido algo distinto, esto se debe a que la comparación y fotointerpretación ha sido utilizando los usos del suelo 2014 sobre una ortofoto actualizada al año 2018, existiendo, por tanto, mayores necesidades de rectificar usos del suelo a través de la fotointerpretación y edición de la capa de usos con el programa ArcMap.

Por último, para que las cifras sobre las bases de datos espaciales de los cultivos de los años 2005 y 2018 se aproximen más a la realidad, se eliminó de las parcelas agrícolas aquellos elementos territoriales que no se correspondiesen con cultivos, es decir, caminos, sendas, pistas, etc. Para ello ha sido utilizada la información tanto de catastro como de BTN25.

3.1.2 ESTIMACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA GENERACIÓN DE RIESGO

El impacto que tienen los cambios en los usos del suelo tanto en la respuesta hidrológica de una cuenca como en otras peligrosidades tales como la erosión de suelos o el deslizamiento de laderas, se ha documentado abundantemente en la literatura científica, abordándose también desde distintas perspectivas. De entre éstas, destacan las que hacen referencia a las modificaciones en la escorrentía en respuesta a cambios en los usos del suelo, o el estudio de la variabilidad espacial de las áreas urbanas y su efecto en la generación de escorrentía (Camarasa et al., 2018; Gallegos y Perles, 2019; Hammani, 2016; Batalla, 2013; Cantarero, 2013; Gallegos y Perles, 2015; Conesa et al., 2011; Linares et al., 2009; Liqueste et al., 2008; Bari et al., 2005; Landphair y Klat, 1998; Brown, 1988). Trabajos especialmente interesantes en la materia son los aportados por Bodoque (Bodoque, 2006, 2007), en los que evalúa diferentes escenarios de relación entre geomorfología e hidrología, incluyendo distintos análisis metodológicos de la erosión hídrica, la estabilidad de laderas o la calidad edáfica.

Los usos del suelo se han obtenido por digitalización, usando una escala de trabajo 1/500, sobre ortofotos a escala 1/10.000 de los años 2005 y 2018 (REDIAM, Junta de Andalucía). El software usado ha sido ArcGIS 10.7.

En relación igualmente a los usos del suelo, un caso particular de peligrosidad en el área de estudio es la erosión hídrica por la frecuencia de depósitos, excavaciones, rellenos y vertidos de depósitos de inertes. Éstos son movilizados fácilmente, sin necesidad de esperar a un evento tormentoso. Además, se suma el hecho de tratarse de que las cuencas estén conformadas por materiales metamórficos. Éstos se forman en condiciones termodinámicas muy diferentes a las atmosféricas, de lo que resulta una mineralogía altamente sensible a los procesos de meteorización. En su alteración, producen un sustrato terroso de naturaleza areno-limosa, con gran facilidad de desagregación, a lo que ayuda además la escasa cobertura vegetal. Esto favorece los procesos de erosión superficial en régimen laminar, y en determinados puntos en régimen lineal, produciendo surcos, barrancos y cárcavas (Yus Ramos et al., 2004).

Para cuantificar este hecho se trabaja con el factor C, de cubierta vegetal o usos del suelo, de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE). Este factor mide la influencia de la cobertura vegetal sobre el terreno, lo que resulta especialmente relevante

al ser el medio más eficaz para que la erosión disminuya. El factor C está basado en el concepto de desviación estándar, siendo el estándar un área bajo condiciones de barbecho con cultivo limpio en cuyo caso su valor es 1. Inicialmente con este factor se consideró el manejo del cultivo, pero por extensión, para suelos no agrícolas, se ha asimilado al valor de protección ejercido por la cubierta vegetal, con cuyo porcentaje de cobertura del suelo se relaciona de manera inversa la tasa de erosión. Su valor varía entre 0 y 1 y disminuye a medida que aumenta la cobertura vegetal. Este factor es determinante en el flujo de retención del suelo, y su valor aparece en el modelo como constante, introducido manualmente a partir de una tabla propuesta por el ICONA. Esto llevó a que, en el planteamiento de los estudios del proyecto LUCDEME (ICONA, 1982), cuyos resultados fueron publicados por ICONA en 1982, el factor C fuese analizado igualmente de forma simplificada. De este modo, los diferentes tipos de vegetación cartografiados en el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos, realizado por el Ministerio de Agricultura, fueron agrupados y valorados en una serie de tipos de cubiertas que han sido usadas en este trabajo. Estos valores reflejan como las zonas de vegetación natural, en la cual existe una cierta potencia en el desarrollo de la misma, los suelos están bastante protegidos porque suelen tener una densa vegetación en la parte aérea (copas) y en la parte subterránea (raíces), disminuyendo con ello la energía cinética de la lluvia y evitando la desestructuración del suelo.

3.2 EVOLUCIÓN DE LA RED DE DRENAJE

La red de drenaje ha sido trazada también para los periodos de 2005 y 2018. En ambos casos el procedimiento para su delineación ha sido la fotointerpretación. Se han empleado ortofotografías de alta resolución con el objetivo de detectar cualquier cambio aunque sea leve. Concretamente las imágenes empleadas han sido disponibles en Google Earth para las fechas 11 de abril de 2005 (Maxar Technologies, 2019) y 17 de junio de 2018.

Además, también se han delineado unidades homogéneas de relieve, para cuyo trazado se han seguido criterios hidrológicos y morfológicos. La regla básica para su definición ha consistido en delimitar las unidades en función de los tramos de la red hídrica y, si la delimitación no genera unidades uniformes, se han empleado los criterios de orientación y pendiente para terminar de perfilar laderas que en cuyo interior las características del terreno sean similares.

3.3 COMPARATIVA DE LA INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para estudiar los peligros de contaminación procedentes de la actividad humana, que potencialmente afectan a la calidad de las aguas subterráneas, existen diversas aproximaciones. El método POSH (Pollutant Origin and Hydraulic Sucharge) de Foster et al. (2001)¹ analiza una treintena de actividades potencialmente contaminantes, el método DCI (Danger Contamination Index) de Civita y De Maio (1997)² analiza 41 actividades, el método DRA (Detailed Risk Assessment) de Darmendrail (2001)³ analiza 67 tipos de peligro e incorpora la cantidad de sustancias que pueden ser emitidas al medio y, por último, el método HI (Hazard Index) De Keteleare et al. (2004)⁴ que, además de analizar más de 90 actividades

humanas y tener en cuenta la cantidad de contaminante susceptible de ser vertido, incluye la probabilidad de vertido.

En este trabajo se ha utilizado la metodología desarrollada por De Keteleare et al. (2004), la cual fue desarrollada por un grupo de investigadores en el marco del programa europeo COST Action 620, a principios de la década del 2000, y cuyo objetivo principal era estudiar el riesgo y la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación de las aguas subterráneas (Zwahlen, 2004).

El método HI está basado en un índice numérico que tiene en cuenta tres factores. El primer factor, que condiciona en gran medida el resultado final del índice, está relacionado con la toxicidad de las sustancias que puedan ser emitidas al medio natural a través de las diversas actividades humanas. En total son 96 actividades humanas que durante su funcionamiento pueden emitir sustancias potencialmente contaminantes. Los otros dos factores, son factores correctores de esa toxicidad inicial y están relacionados con la cantidad y con la probabilidad de que esas sustancias potencialmente contaminantes pueden ser emitidas al medio natural.

El producto de los valores de estos tres factores da lugar al índice HI que puede variar entre 0 y 120 y mide el grado de peligrosidad de las actividades humanas para la potencial contaminación de las aguas subterráneas, siendo 0 el valor mínimo y 120 el valor máximo de peligrosidad. Los diversos valores que puede tomar el índice, se clasifican en cinco intervalos que indican el grado de peligrosidad de las actividades humanas sobre el medio de forma relativa, como se indica en la Figura 2 .

Índice HI = $H \cdot Q_n \cdot R_f$	Intervalos del índice HI	Clase de peligro
$H \in \{0 - 100\}$	[0 – 24]	Muy Bajo
	(24 – 48]	Bajo
$Q_n \in \{0,8 - 1,2\}$	(48 – 72]	Moderado
	(72 – 96]	Alto
$R_f \in \{0 - 1\}$	(96 – 120]	Muy Alto

Figura 2. Esquema del método HI y clasificación del índice según De Keteleare, et al. (2004).

A partir del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España, trabajo de campo y fotointerpretación, tareas comentadas anteriormente, se ha evaluado la peligrosidad potencial de las actividades humanas para la contaminación de las aguas subterráneas en la zona de estudio en dos momentos históricos: 2005 y 2018.

4. RESULTADOS

Una vez aplicados los procedimientos detallados en el apartado metodológico, se pasa a exponer a continuación los principales resultados obtenidos.

4.1 INCIDENCIA DEL USO DEL SUELO EN LA EVOLUCIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y DEL RIESGO DE MOVIMIENTO EN MASA

Atendiendo a los resultados del factor C, de cubierta vegetal o usos del suelo, los movimientos de relieve realizados para la implantación de los cultivos subtropicales han duplicado el riesgo de erosión potencial de suelos. Los resultados cartográficos aparecen representados en la **Figura 3**. Para 2005, el valor medio de este factor era 0.223 y para 2018 asciende hasta 0.443. Debe tenerse en consideración, no obstante, que se trata de una situación transitoria, ya que una vez que los subtropicales alcanzan cierta madurez, la erosión potencial disminuye con respecto a la erosión potencial de los cultivos leñosos de secano anteriores.

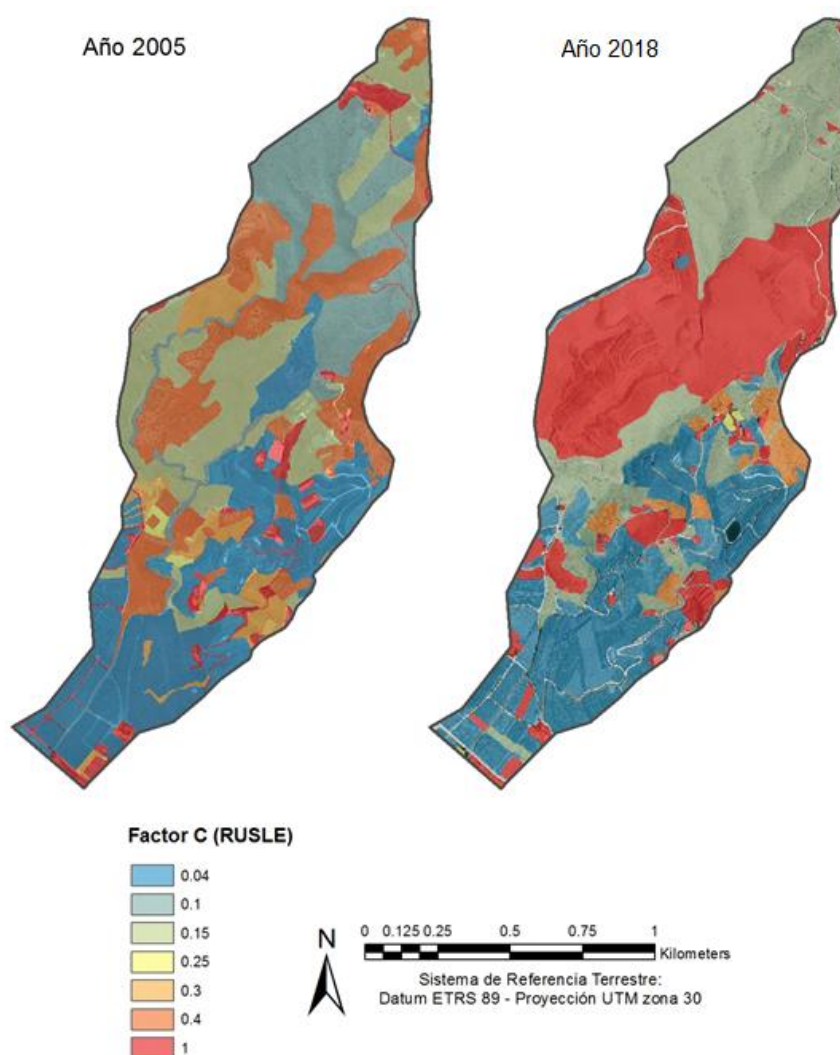


Figura 3. Distribución del factor C, de Usos del Suelo de la RUSLE para las fechas 2005 y 2018 en el área de estudio. Los valores más elevados indican una mayor predisposición a la pérdida de suelo.
Fuente: Elaboración propia.

De otro lado, en relación a la susceptibilidad a los movimientos de ladera (

Figura 4), nos encontramos con un escenario similar, manifestándose una peligrosidad considerablemente mayor en la fecha más reciente, tanto atendiendo a la susceptibilidad propia de los usos del suelo, como a la existencia de neorelieves y depósitos de áridos fácilmente movilizables en caso de escorrentía.

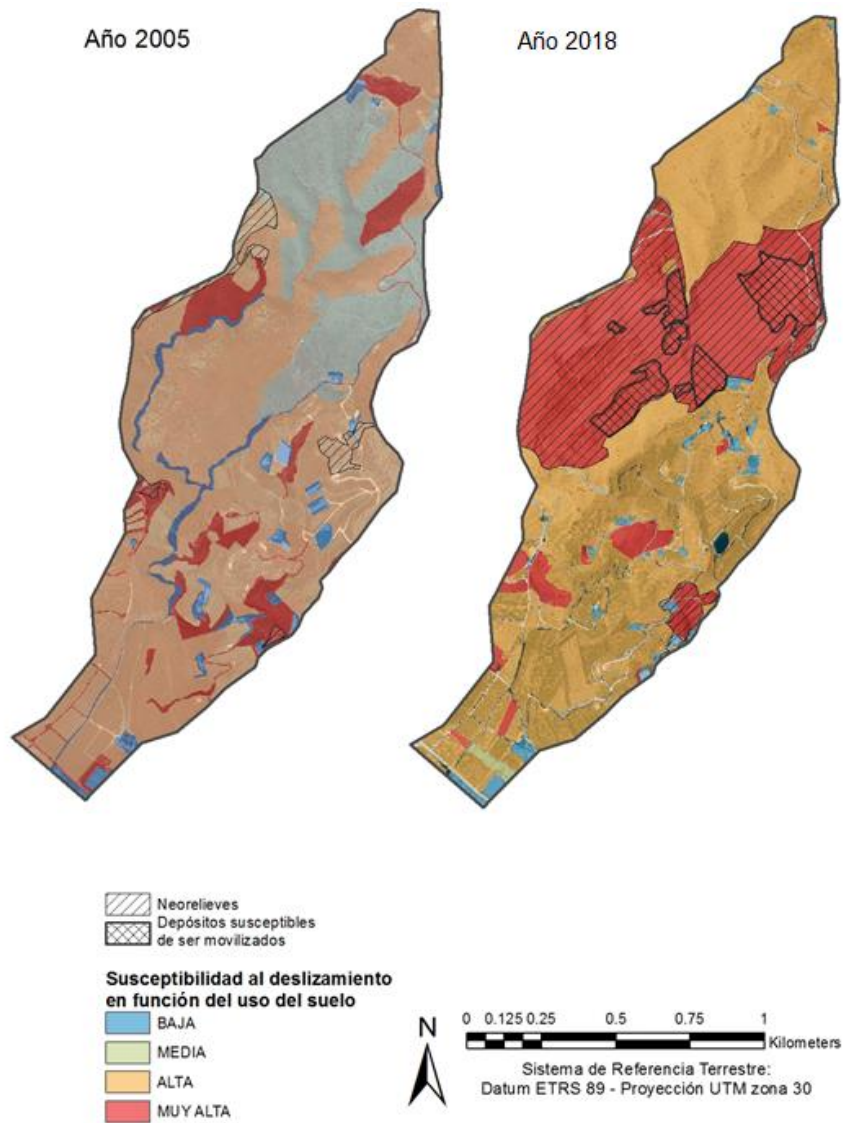


Figura 4. Análisis diacrónico de la susceptibilidad al movimiento de laderas en base a los cambios en los usos del suelo que han tenido lugar en el área de estudio. Más allá de la propia susceptibilidad de los usos del suelo, la existencia de neorelieves supone una susceptibilidad media, y la existencia de depósitos de áridos una susceptibilidad alta. Fuente: Elaboración propia.

4.2 ASPECTOS HIDROLÓGICOS IMPLICADOS EN LA VARIACIÓN DE LA PELIGROSIDAD NATURAL

La red delimitada en esta cuenca, cuyo principal arroyo recibe nombre de Salinas, tiene un patrón dendrítico tendente a paralelo. Al ser alargada y pequeña, los tramos de cauce que la diseccionan no son excesivamente largos. Precisamente el mayor de todos en 2005, con 650 metros de longitud, ha sido eliminado tras la obra que ha modificado los terrenos en 2018. Esta modificación no es la única practicada de forma artificial en la zona. La puesta en cultivo de parte de la cuenca ha ido comportado modificaciones. Algunas, incluso anteriores a 2005, pueden observarse en el área suroriental de la cuenca, donde los bancales artificiales han fragmentado y aislado tramos de cauce que en los años 70 discurrían directos hasta el cauce principal del arroyo de Salinas.

Concretamente en el periodo de comparación que atañe a este trabajo (2005 y 2018) el mayor cambio que se advierte es la desaparición del ya mencionado cauce ubicado en el área central (señalado en la Figura 5). Su área receptora contaba en 2005 con una extensión de 0,324 has. Las aguas pluviales que ahora precipiten en su antigua subcuenca han sido derivadas a las cuencas aledañas, y una pequeña fracción se recepcionará directamente en una balsa de riego ubicada en su parte más alta. Además, otro cambio que merece ser mencionado es la aparición de dos nuevos pequeños canales labrados sobre el material removido de una de las áreas ubicadas en la parte alta de los terrenos transformados. Estos son producto de la elevada erosión observada en esa área, cuyos efectos se detectan en la fotografía aérea (mapa “d” de la Figura 5) donde se observa una amplia porción del terreno fuertemente acarcavada.

Las repercusiones en la generación del peligro son variadas y de diferente signo. Por un lado, el nuevo cauce tiene mayor longitud y sobre él se ha eliminado toda clase de elementos vegetales que aporten rugosidad. Al ser más largo puede ayudar a laminar posibles avenidas, mientras que su baja rugosidad unida a al nuevo trazado artificial, más rectilíneo, imprimirán más velocidad de evacuación al flujo. Las obras de modificación del terreno han hecho derivar hacia este tramo aproximadamente la mitad de las aguas que recibía el cercano cauce suprimido en 2018 (Figura 5). Esta circunstancia obliga a aumentar la sección del cauce, pues además la eliminación de vegetación implica la disminución del umbral de escorrentía y el aumento de esta. Efectivamente puede observarse que las obras lo han ensanchado, sin embargo, a pesar de ello, debe tenerse en cuenta que la susceptibilidad a la obstrucción de este nuevo cauce, artificialmente alargado, es tal vez más alta que en su antiguo estado natural. Esto se debe a que las obras han situado sobre el mismo varios puentes de pequeña sección que antes no existían y que ahora son necesarios para el paso de la maquinaria o vehículos que requieran acceder a la explotación. La probabilidad de que estos puedan ser cegados es alta debido a que los terrenos en este área y aguas arriba de la misma aún se observan removidos y desprovistos de vegetación. En relación con estos procesos de erosión hídrica, se observa que afectan sobre todo a la parte alta del área transformada. Su funcionamiento asociado a las inundaciones podría significar un aumento de la peligrosidad de estas últimas provocado por los aportes de sólidos que tras la obra pueden generarse, algo que antes no sucedía, al menos tan intensamente, debido a que la vegetación natural protegía el sustrato antes de ser removido. Además, no solo la desprotección suministra aportes

sólidos; aún mayores podría ser los causados por los terrenos removidos y depositados en partes de la cuenca, tal como se ha señalado en el apartado 4.1 dedicado específicamente a estos procesos.

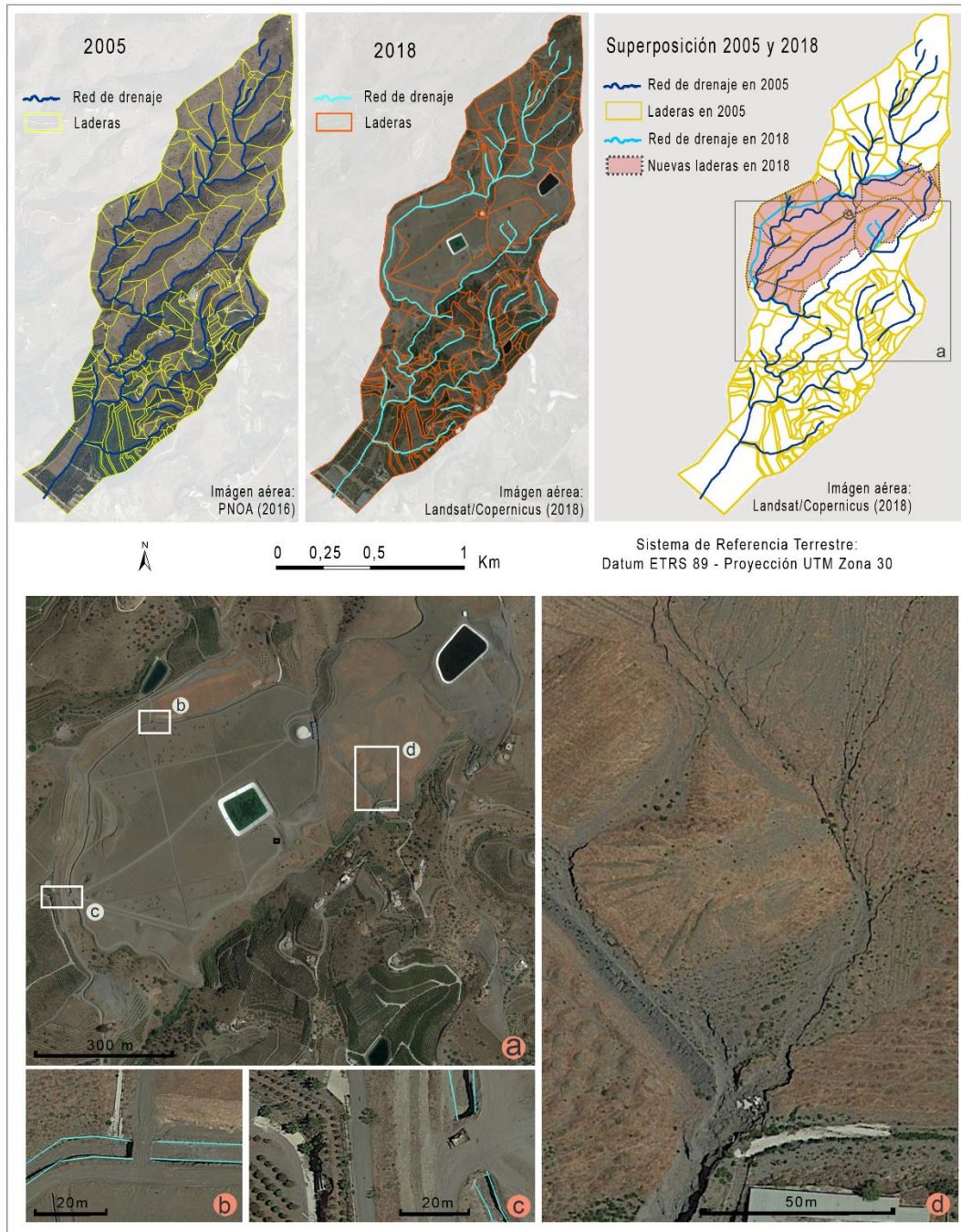


Figura 5. Comparación de la red de drenaje (años 2005 y 2018) y detalles relacionados con el funcionamiento hidrológico en el área recientemente modificada para ser puesta en cultivo

4.3 EVOLUCIÓN DE LA PELIGROSIDAD A LA CONTAMINACIÓN DE ACUIFEROS

Los resultados obtenidos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestran, en general, una baja peligrosidad a la contaminación de las aguas subterráneas, como consecuencia del predominio de actividades que generan un impacto escaso sobre la calidad de las aguas subterráneas. En la zona de estudio predominan las actividades agrícolas y, en menor medida, actividades ligadas con las infraestructuras humanas, caso de la presencia de casas rurales y los caminos de acceso a las casas y terrenos de cultivo.

Lo que sí es claramente visible, aunque sea poco significativo, es el aumento de la peligrosidad entre el año 2005 y 2018, sobre todo en la parte central de la zona de estudio, debido a la puesta en producción de terrenos que tenían cultivos abandonados o simplemente eran espacios de vegetación natural. La puesta en cultivo de productos subtropicales ha provocado un aumento de la peligrosidad sobre el terreno por la introducción de un tipo de agricultura intensiva en la utilización de fertilizantes y pesticidas, al margen de que las prácticas agrícolas estén optimizadas para mejorar el rendimiento económico de la producción de productos subtropicales, como es el caso del aguacate. Los nuevos sistemas de riego de las fincas conllevan un beneficio medioambiental al reducir el uso de agua y al estar optimizada la utilización de fertilizantes, gracias al riego por goteo implantado en todas las nuevas fincas puestas en explotación en la zona de estudio.

En la zona de estudio, la actividad humana predominante es la agricultura. Según el factor H del método HI, las zonas de agricultura intensiva tienen una valoración de 30. Teniendo en cuenta el factor corrector Q_n , relativo a la cantidad de contaminante, varía entre 0,8 y 1,2, el valor de HI para las zonas agrícolas puede aumentar hasta 36. Eso quiere decir que, a lo sumo, la actividad agrícola puede alcanzar una peligrosidad de clase Baja, puesto que el factor R_f , que varía entre 0 y 1, puede reducir la peligrosidad, pero nunca aumentarla.

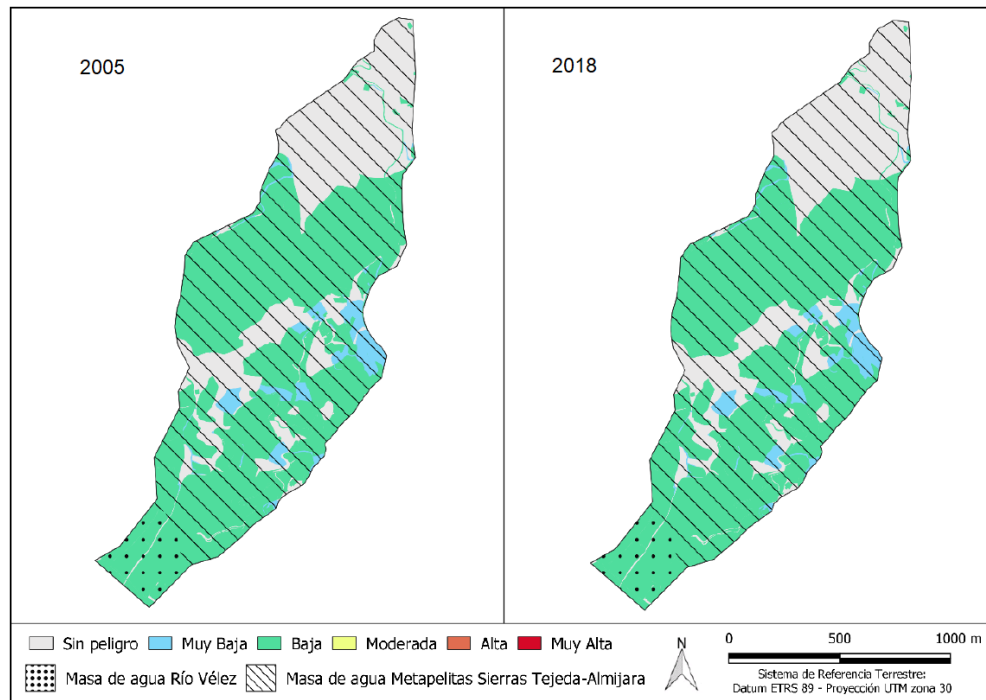


Figura 6. Distribución de masas de agua subterráneas y peligrosidad a la contaminación de las aguas subterráneas por actividades humanas potencialmente contaminantes en la zona de estudio.

Por otro lado, el método HI evalúa la peligrosidad de cada actividad humana de forma aislada y no tiene en cuenta los efectos sinérgicos que se producen por la concentración y acumulación, en una determinada zona, de sustancias potencialmente contaminantes. Este hecho es especialmente significativo y relevante en zonas agrícolas sobre acuíferos detríticos en llanuras aluviales. En este tipo de entorno natural, los flujos de agua subterránea tienden a concentrarse en determinadas zonas de los acuíferos, por lo que las sustancias contaminantes que son arrastradas por el agua subterránea se concentran igualmente en esas zonas, con el consiguiente aumento de los efectos negativos en la calidad de las aguas subterráneas. Este hecho ha estado presente en la historia del acuífero aluvial del curso bajo del río Vélez, limítrofe con la zona de estudio, el cual ha estado contaminado por nitratos desde hace varias décadas, siendo declarado por la administración pública como acuífero vulnerable a los nitratos.

La zona estudiada se encuentra localizada sobre dos masas de agua subterránea (Figura 6). La masa 060.065, denominada Metapelitas de Sierra Tejeda-Almijara, tiene una permeabilidad baja de los materiales y ocupa el 95 % del subsuelo de la zona de estudio. La masa 060.027, denominada Río Vélez, está formada por terrenos con una permeabilidad media y ocupa solo un 5% del subsuelo en la parte meridional de la zona de estudio.

zona no saturada y saturada del acuífero y, por tanto, podrían contaminar el acuífero. El método HI solo tiene en cuenta la peligrosidad de la actividad realizada in situ, y no las consecuencias que se podrían derivar del arrastre de sustancias contaminantes por la escorrentía superficial y subsuperficial. De esta carencia son un claro ejemplo dos sucesos ocurridos en épocas de fuertes precipitaciones. Por un lado, en el año 2010 se detectaron fuertes incrementos de la concentración nitratos en agua subterránea (en zonas de baja peligrosidad) como consecuencia del lavado que se produjo durante las intensas lluvias de la primavera de ese año, que arrastraron una gran cantidad de nitrógeno acumulado en el suelo durante años por la actividad agrícola, pero que, dada la escasez de precipitaciones, habitual en ambientes de clima mediterráneo, no fueron movilizados hasta la llegada de un evento pluviométrico extraordinario. Por otro lado, este mismo proceso de lavado del suelo y arrastre del nitrato del suelo a cotas inferiores, tuvo como consecuencia que la producción de una explotación de aguacate no alcanzase los niveles de calidad exigidos y fueran retirados del mercado, con las consecuentes pérdidas económicas para el propietario de la finca.

En resumen, la peligrosidad de las actividades humanas sobre la zona de estudio para influir negativamente en la calidad de las aguas subterráneas es baja, aunque no se debe olvidar la elevada presión al que está siendo sometido el entorno del acuífero aluvial del río Vélez, el cual está declarado como vulnerable a los nitratos y la puesta en explotación de nuevas tierras para agricultura intensiva de cultivos subtropicales añade una amenaza más sobre las existentes en zonas de recarga del acuífero.

5. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados apunta a un aumento generalizado de la peligrosidad en la zona, algo que concuerda con lo expresado en otros trabajos similares (Gallegos, 2015 y 2019; Cantarero Prados, 2013; Perles, 2010) en la región objeto de este estudio. Cabe mencionar además que los observados poseen carácter sinérgico y concatenado, por lo cual merecería la pena profundizar en el estudio o simulación de estos a través de estrategias de modelización multipeligro de una manera similar a la practicada por Perles y Cantarero (2010). Valdría la pena, además, contemplar escenarios diversos en función de la fase o momento de actuación sobre las laderas. En este sentido cabe destacar como momento más crítico aquel en el que se llevan a cabo los movimientos del terreno. Posteriormente una vez consolidada la transformación del terreno en la zona, con los subtropicales ya en producción, lógicamente se prevé que los coeficientes de escorrentía y la aportación de sólidos a la corriente de inundación se aminore, sin embargo, valdría la pena también realizar un seguimiento de monitoreo. A tal efecto podrían elegirse variables similares a las empleadas en este trabajo. En este sentido, por ejemplo, para medir la erosión, podrían emplearse técnicas de levantamientos topográficos de alta resolución con apoyo de drones o simplemente empleando técnicas de foto-reconstrucción tridimensional en parcelas seleccionadas. En este sentido los trabajos de Gómez Gutiérrez et al., 2014, Errea et al., 2014 o Gómez et al., 2018, entre otros, pueden servir de ejemplo.

6.- CONCLUSIONES

El área estudiada ha experimentado un acelerado cambio de uso que ha implicado además la modificación de buena parte del relieve de la cuenca del arroyo de Salado. En un corto periodo de tiempo: desde mediados de 2015 a verano de 2017, pueden observarse movimientos de tierra en las fotografías aéreas consultadas, siendo además especialmente notables en el mes de febrero de 2017. Por suerte, a pesar de que los movimientos de tierra se extendieron a lo largo de dos años hidrológicos, la componente probabilística a la que están sujetos los procesos de riesgo natural “respetó” con lluvias no del todo extremas la zona objeto de este estudio a lo largo de la obra de adecuación de los terrenos.

De las amenazas naturales tratadas en este trabajo puede concluirse que todas en alguna medida podrían experimentar un incremento de su intensidad en caso de desencadenamiento de un evento extremo de lluvia. La erosión es el proceso que de forma más obvia sufre este aumento; lo demuestran las estimaciones de los valores de pendiente y usos del suelo (RUSLE) y se puede además comprobar observando las cárcavas de la Figura 5 (mapa “d”). Tras la etapa de movimientos de tierra (2015-2017) puede esperarse una posible atenuación de la gravedad de los factores indicadores de la peligrosidad natural estudiados en este trabajo (erosión, movimientos de ladera e inundación) a excepción de la susceptibilidad a la contaminación de acuíferos, pues la entrada en producción de los subtropicales requerirá el aporte de insumos a los frutales.

La transformación del terreno responde a un momento en económico favorable (demanda de frutas subtropicales por parte del mercado europeo). Esta intervención sobre los parámetros que controlan la estabilidad de las laderas requiere, en una fase posterior a la de la propia obra de adecuación, una labor de mantenimiento y control de procesos naturales, como por ejemplo la erosión. Esta dependencia de lo comercial provoca que el mantenimiento de las operaciones de conservación de las laderas intervenidas quede a expensas de la coyuntura económica. En vista de lo anterior, un posible abandono por causas económicas comportaría la probable degradación de las mismas y el consiguiente aumento de la peligrosidad por erosión, con un agravamiento, además, de fenómenos como la inundación o los movimientos gravitacionales.

La legislación ambiental española efectivamente prevé medidas de control en operaciones de movimiento de tierras como las que han transformado parte de esta cuenca, sin embargo los factores específicos que determinan la peligrosidad en cuencas aconsejan incorporar recomendaciones concretas enfocadas a controlar el riesgo de inundación (y sus asociados: erosión, movimientos gravitacionales, etc.) en base al agravamiento de sus consecuencias en virtud de aspectos temporales o espaciales (específicamente locacionales o de emplazamiento concreto sobre la cuenca). En este sentido debería controlarse que los trabajos de movimientos del terreno solo puedan efectuarse en época de estiaje, del mismo modo que en las áreas forestales se prohíbe cualquier tipo de fuego en verano. Por otro lado, además de las precauciones derivadas de las circunstancias anteriormente citadas, sería necesario también contemplar la exposición humana (personas y bienes) existente específicamente aguas abajo del área donde se realizan los movimientos del terreno. En este sentido, es necesario el máximo control de intervenciones como estas, tan alteradoras del sustrato, a fin de evitar desastres vividos en la misma comarca (por ejemplo, en Rincón de la

Victoria en el año 2002) con condiciones similares donde el factor de mayor peligrosidad fue la carga sólida transportada por la inundación. Las características rexistásicas mediterráneas, son especialmente sensibles al cambio de cualquiera de sus componentes, pero muy especialmente a las alteraciones del relieve y de los usos del suelo. A estas circunstancias se debe sumar además el actual contexto de cambio climático y el predecible incremento de episodios de DANAs como factores desencadenantes de las peligrosidades estudiadas en este trabajo. Sería conveniente por ello, antes de autorizar cambios en los usos del suelo de la relevancia de los considerados, incluir estudios detallados de riesgos naturales que analicen de manera previa los cambios ambientales y de sus principales peligrosidades.

7. REFERENCIAS

- AYALA-CARCEDO, F. J. (2002): “Introducción al análisis y gestión de riesgos”, en Ayala-Carcedo F.J. y Olcina Cantos, J. (Eds.) Riesgos naturales. Editorial Ariel, S.A., Barcelona, pp. 133-145.
- CALVO GARCÍA-TORNEL, F. (1984): “La geografía de los riesgos”, en *Geocrítica*, nº 54, pp. 1-37.
- CIVITA, M. Y DE MAIO, M. (1997a). Assessing groundwater contamination risk using ArcInfo via grid function. Proceedings of ESRI conference, San Diego, 33 p.
- CANTARERO PRADOS, F.J. (2013). Relaciones entre el patrón territorial y la generación del peligro de inundación. análisis comparado de casos en Málaga (España) y Motozintla (México). Tesis Doctoral. Departamento de Geografía, Universidad de Málaga.
- DARMENDRAIL, D. (2001). The French approach to contaminated-land management. BRGM/RP- 51098-FR, 150 p.
- DE KETELAERE, D.; HÖTZL, H.; NEUKUM, C.; CIVITTA, M. Y SAPPA, G. (2004). Hazard analysis and mapping. En F. Zwahlen (ed), Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, European Commission, Directorate General for Research, Luxembourg, pp 86-105.
- ERREA, P.; REVUELTO, J.; NADAL-ROMERO, E. Y LÓPEZ-MORENO, J.I. (2014). LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS GEOMÁTICAS EN ESTUDIOS GEOMORFOLÓGICOS: PROCESOS DE EROSIÓN Y DEPOSICIÓN EN CÁRCAVAS. En Actas de la XIII Reunión Nacional de Geomorfología, Cáceres 2014.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D’ELIA, M. Y PARIS, M. (2001). Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies. World Bank, GWMATE. Washington. 101 p.
- GÓMEZ GUTIÉRREZ, Á., SCHNABEL, S., LAVADO CONTADOR, F., DE SANJOSÉ, J. J., ATKINSON, A. D. J., PULIDO FERNÁNDEZ, M., & SÁNCHEZ FERNÁNDEZ, M. (2018). Studying the influence of livestock pressure on gully erosion in rangelands of SW Spain by means of the UAV+SfM workflow. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 78, 66–88. doi: <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2712>
- BARI, M.A., SMETTEM, K.R.; SIVAPALA, M. (2005). 'Understanding changes in annual runoff following land use changes: a systematic data-based approach'. *Hydrological Processes*, 19: 2463-2479.

- BATALLA CAMARGO, G. (2013). 'Efecto del cambio de uso de suelo en el aporte de sedimentos hacia la presa Jalpán (Sierra Gorda Querétaro)'. Tesis Doctoral. Universidad autónoma de Querétaro (México).
- BODOQUE DEL POZO, J.M. (2007). 'Ensayos metodológicos para la cuantificación de procesos geomorfológicos activos asociados a la hidrología de superficie en la sierra de Guadarrama y Gredos'. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Geológicas. Departamento de Geodinámica. Dirección: Andrés Díez Herrero y José Francisco Martín Duque. Madrid.
- BODOQUE, J.M.; DÍEZ, A.; DE PEDRAZA, J.; MARTÍN, J.F.; OLIVERA, F. (2006). 'Estimación de la carga sólida en avenidas de derrubios mediante modelos geomecánicos, hidrológicos e hidráulicos combinados: Venero Claro (Ávila)'. Pérez Alberti, A. y López Bedoya, J. (eds.), Geomorfología y territorio. Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología, Santiago de Compostela, 13-15 de septiembre de 2006. Cursos y Congresos, 171, 483-495, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 1037 pp.
- BROWN, R.G. (1988). 'Effects of precipitation and land use on storm runoff'. Water Resources Bulletin, 24 (2): 421-425.
- CAMARASA-BELMONTE, A. M., CABALLERO LÓPEZ, M. P., IRANZO GARCÍA, E. (2018). 'Cambios de uso del suelo, producción de escorrentía y pérdida de suelo. Sinergias y compensaciones en una rambla mediterránea (Barranc del Carraixet, 1956-2011)'. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 78, 127–153. <http://dx.doi.org/10.21138/2714>
- CONESA GARCÍA, C. ET AL. (2011). 'Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre'. Nimbus, nº29-30. 159-176.
- GALLEGOS REINA, A.; PERLES ROSELLÓ, M.J. (2015). 'Erosión hídrica y modificación del caudal de inundación en ambientes mediterráneos. Aproximación metodológica'. Revista científica Monfragüe resiliente Vol. 4, nº1/pp.153-163/ Universidad de Extremadura/Cáceres.
- GALLEGOS REINA, A.; PERLES ROSELLÓ, M.J. (2019). 'Relaciones entre los cambios en los usos del suelo y el incremento de los riesgos de inundabilidad y erosión: análisis diacrónico en la provincia de Málaga (1957-2007)'. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 81, 2740, 1–38. <http://dx.doi.org/10.21138/bage.2740>
- GÓMEZ-GUTIÉRREZ, A., SCHNABEL, S., BERENGUER-SEMPERE, F., LAVADO-CONTADOR, F & RUBIO-DELGADO, J. (2014) Using 3D photo-reconstruction methods to estimate gully headcut erosion. En Catena, 120, 91–101.
- HAMANI, M.; GRACIA, F. J.; BENAVENTE, J.; GOMIZ, J. J. (2016). 'Estimación inicial de la producción hidrosedimentaria en la cuenca hidrográfica del Guadalete (Cádiz, España)'. XIV Reunión Nacional de Geomorfología, 81-88. Málaga.
- ICONA (1982). 'Paisajes erosivos en el sureste español. Ensayo de metodología para el estudio de su cualificación y cuantificación'. MAPA. Proyecto Lucdeme. Madrid.
- LANDPHAIR, H.C.; KLATT, F. (1998). 'Landscape Architecture Construction, Third Edition, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey'. Third Edition, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, New Jersey.

- LANDSAT/COPERNICUS (2018). Imágenes satelitales. Fecha: 17 de junio de 2018. Ed. Google Earth.
- LINARES, G. ET AL. (2009). 'Parametrización de modelos de erosión hídrica y transporte de sedimentos en parcelas agrícolas ubicadas en la cuenca del río Chirgua (Venezuela)'. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Salta, Argentina.
- LIQUETE, C.; CANALS, M.; LUDWIG, W.; ARNAU, P. (2008). 'Sediment discharge of the rivers of Catalonia, NE Spain, and the influence of human impacts'. *Journal of Hydrology* 366 (2009) 76–88.
- PERLES ROSELLÓ, M.J. y CANTARERO PRADOS, F. (2010). "Problemas y retos en el análisis de los riesgos múltiples del territorio. Propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros". En *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N.º 52 - 2010. Pp 254 - 271. I.S.S.N.: 0212-9426.
- PERLES ROSELLÓ, M.J. y MÉRIDA RODRÍGUEZ, M. (2010). "Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga". *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*. Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Vol. XIV, núm. 329, 10 de julio de 2010.
- PLAN NACIONAL DE ORTOFOTOGRAFÍA AÉREA (2016). Ortofotografías del año 2016. Hoja 1054. Ed. Instituto Geográfico Nacional (Ministerio de Fomento).
- RENARD, K.; FOSTER, G.; WEESIES, G.; MCCOOL, D.; YODER, D. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.703, Washington DC. 407 p.
- ROMERO, M. (2019). Estimación de la concentración de peligros por actividades antrópicas, para la contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga. Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales, Universidad de Málaga. Inédito. 40 p.
- VÍAS, J. (2005). Desarrollo metodológico para la estimación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante SIG. Aplicación en acuíferos del sur de España. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga. 423 p.
- YUS RAMOS, R.; TORRES DELGADO, M.A.; GÁMEZ MARTÍN, J.L. (2004). '28-M: Inundaciones en Rincón de la Victoria. Sus causas y soluciones'. Gabinete de Estudios de la Naturaleza de la Axarquía. Málaga.
- ZWAHLEN, F. (editor) (2004). Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers. Final Report of the COST Action 620, EUR 20912, European Commission, Directorate General for Science, Research and Development. Luxembourg, 320 p.