
TESIS DOCTORALES

MARTÍNEZ LLORIS, Mariano: «El comportamiento hidrodinámico de la cuenca del río Quípar (Sureste de España). La función de los diques de corrección hidrológica». Universidad de Murcia. Septiembre 2006. Directores: Dra. Asunción Romero Díaz y Dr. Francisco Alonso Sarriá.

La construcción de diques de corrección hidrológica, como obras para la retención de sedimentos y laminación de caudales punta de avenidas, es bastante usual en España, y especialmente en el sureste peninsular. Son fundamentales en zonas semiáridas debido a la degradación de la cubierta vegetal y a la torrencialidad de las precipitaciones, que las convierten en áreas muy afectadas por procesos erosivos. Los diques disminuyen el aporte de sólidos a los embalses y controlan caudales punta de avenidas, tras su instalación, estabilizan laderas, disminuyen la velocidad del agua y su capacidad erosiva.

La evaluación cuantitativa indirecta de la erosión se realiza habitualmente mediante modelos empíricos como la USLE, fórmulas como la de Fournier o mediante batimetrías de embalses. En esta investigación se ha evaluado la función y utilidad de los diques de corrección hidrológica y se ha intentado determinar los posibles factores que afectan a la erosión y la degradación de los suelos, con la información proporcionada por los sedimentos retenidos en los diques. Creemos que la obtención de tasas de erosión utilizando estos sedimentos permite obtener valores más exactos para subcuencas y, con ello, es posible determinar mejor donde es necesario realizar actuaciones de conservación de suelos, corrección hidrológica, etc.

El estudio se ha realizado en la cuenca del río Quípar, afluente del río Segura por su margen derecha, situada en el centro occidental de la Región de Murcia, donde se construyó en 1916 la presa de Alfonso XIII. Debido a la pérdida de la capacidad del vaso de su embalse, se realizaron por parte de la Confederación Hidrográfica del Segura dos proyectos de corrección hidrológica (1962 y 1996), construyéndose un total de 425 diques.

Del reconocimiento y estudio de los diques se desprende que:

- El 45% de los diques son antiguos (construidos en 1962), 1/3 han sido reparados o recrecidos y se han construido 76 diques nuevos (en 1996).
- Según la obra de fábrica, un 90% de diques son de gaviones y un 10% de mampostería, de los cuales 247 son funcionales y 141 se encuentran colmatados.
- Los diques se encuentran en buen estado en un 90% y dañados en un 10%. El 70% de las roturas se localizan en diques de gaviones construidos sobre margas, arcillas o margocalizas.
- El 44% de los diques no son funcionales y el 33% están colmatados.

Teniendo en cuenta el periodo total de vida de todos los diques, se han retenido hasta la fecha 850.000 toneladas de sedimentos, que no han ido a parar al embalse. Las tasas de erosión obtenidas han sido inferiores a 1 tn/ha/año en más del 53% de los casos.

La tasa media de erosión obtenida para la cuenca, utilizando los diques, es de 3,95 tn/ha/año, muy similar a la obtenida por técnicas batimétricas (3,76 tn/ha/año). Es inferior a los valores obtenidos siguiendo a Fournier (4,18 tn/ha/año), pero difiere mucho de la calculada mediante la USLE, que en este caso obtiene un valor de 17.9 tn/ha/año. La USLE que, para los medios semiáridos, en numerosas ocasiones y por diferentes autores, ya se había puesto de manifiesto, que sobrevaloraba las tasas de erosión, pero que podía ser útil en términos relativos; en este estudio se demuestra que tampoco es válida para eso. Las áreas que mediante la USLE se determinan como las de mayor erosión no coinciden con los datos que de manera experimental se han recogido en el campo.

La litología es el factor principal que condiciona la degradación de los suelos, la erosión y la sedimentación resultante. En margas, margocalizas y arcillas las tasas son mayores, en yesos y calizas las tasas son muy bajas. Siguiendo las condiciones medias de sedimentación de los periodos estudiados, el 56% de los diques tienen una vida útil inferior a 20 años. Los diques con menor vida útil se encuentran sobre margas y los de mayor sobre calizas y yesos.

El análisis físico-químico de los sedimentos retenidos en los diques pone de manifiesto la relación directa entre estos sedimentos y la litología de la que proceden. Son sedimentos muy calizos, con más del 70% de carbonato cálcico en los procedentes de calizas, margocalizas y margas. Los materiales erosionados, depositados posteriormente, muestran un predominio de limos y arenas, lo que indica que han dejado desprovistos a los suelos originales de estas fracciones, que en definitiva son las que favorecen las tasas de infiltración y disminuyen los arrastres. La materia orgánica de los sedimentos es en general baja, aunque si se tiene en cuenta que en los suelos originales también lo es, en algunas zonas es bastante significativa la pérdida de fertilidad y degradación de estos suelos.

Se ha realizado un estudio de los efectos geomorfológicos de la construcción de los diques y se ha observado como la erosión de los cauces aguas abajo genera el 15% de los sedimentos retenidos en el dique posterior, que sumados a los sedimentos generados por la construcción del camino de acceso (10%), supone que cerca del 25% de los sedimentos retenidos en cada dique son generados por su propia construcción.

Otro aspecto estudiado ha sido la utilidad que los diques puedan tener como posibles áreas de recarga artificial de acuíferos. Uno de los puntos a destacar es la metodología que se propone para la construcción de estos diques con fines de recarga, que consideramos puede ser extrapolada a otras zonas con características similares y donde la construcción de estas obras permita el aprovechamiento de las escasas aguas superficiales existentes. De los 425 diques construidos en esta cuenca, sólo algunos construidos sobre substrato calizo, pueden ser utilizados para esta finalidad, siempre que se realicen obras de acondicionamiento. Tras el estudio de las características geológicas e hidrológicas de la cuenca, también se propone la construcción de diques nuevos con finalidad de recarga, ubicados sobre acuíferos ya sobre-explotados o en vías de estarlo.

Son diversos los efectos positivos y negativos que supone la restauración hidrológico forestal, como positivos se pueden citar la regulación de avenidas, el control de las inunda-

ciones y la retención de sedimentos, como negativos, el coste económico y ambiental que en ocasiones es muy alto. Desde un punto de vista económico para la construcción de cada dique es necesario invertir, por término medio, la cantidad de 36.000 euros. Si esta cifra se relaciona con la cantidad de sedimentos retenida se obtiene un valor de 23,3 euros por tonelada.

Las conclusiones obtenidas en esta investigación pueden ser utilizadas por las distintas Administraciones locales o nacionales a la hora de elaborar nuevos Proyectos de Corrección Hidrológico Forestal, especialmente en zonas semiáridas, con grandes carencias hídricas como es la Región de Murcia, donde todos los trabajos y medidas encaminadas a evitar la degradación de la cubierta vegetal, la erosión de los suelos y a aumentar las reservas de agua son de vital importancia. En este sentido se hacen varias propuestas de actuación entre las que destacan las siguientes:

- 1 Las restauraciones hidrológico forestales no deben limitarse a la construcción de obras de hidrotecnia, es necesario y muy importante realizar repoblaciones como complemento a la labor encomendada a los diques, utilizando siempre técnicas y especies adecuadas.
- 2 La zona prioritaria de actuación en esta cuenca es la subcuenca más cercana al embalse, de litología predominantemente margosa, donde se debería elaborar un programa de seguimiento y mantenimiento de los diques existentes.
- 3 Los trabajos de vaciado de cuñas de sedimentos que en la actualidad se están realizando, no tienen demasiado sentido, pues los sedimentos no son trasladados, sólo apartados a las márgenes de los cauces. Estos sedimentos, ricos en nutrientes, se podrían trasladar a zonas de cultivo cercanas, mejorando considerablemente sus características.
- 4 Sería muy conveniente que la ubicación de nuevos diques se estudiara concienzudamente, minimizando el coste ambiental, e introduciendo medidas correctoras, sobre todo en los caminos de acceso.
- 5 La construcción de nuevos diques, o la adecuación de algunos de los ya existentes para recarga artificial de acuíferos, supondría un almacenamiento extra de agua, con un coste económico no muy elevado. La cantidad de agua almacenada, podría ayudar a los núcleos de población cercanos, con una economía generalmente basada en la agricultura y la ganadería.

PEÑAS SÁNCHEZ, Víctor. «El río Zadorra: Análisis ecogeográfico de las intervenciones antrópicas en el ecosistema fluvial, 1932-2004». Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Septiembre 2006. Director: Dr. D. Eugenio Ruiz Urrestarazu.

La tesis doctoral estudia, desde una perspectiva ecogeográfica, la alteración del ecosistema fluvial del río Zadorra debido a las intervenciones antrópicas en el periodo comprendido entre 1932 y 2004. A lo largo de estos setenta y dos años se ha producido una profunda transformación en el ecosistema fluvial del río debido fundamentalmente a obras de encauzamiento en su curso alto, a la construcción del embalse de Ullíbarri-Gamboa, a las rectificaciones del trazado

(cortas) en el curso medio, a diversas obras en el dominio público hidráulico, a la eliminación de la cobertura vegetal riparia, los vertidos directos e indirectos que alcanzan el cauce y la profunda transformación de los usos del suelo en la llanura de inundación, que entre otros, han sido los principales factores que han transformado el paisaje fluvial del río más importante de Álava. Las intervenciones humanas en el ecosistema fluvial han respondido, fundamentalmente, a la necesidad de satisfacer unas necesidades con intereses económicos y productivistas, que en unos casos ha servido para satisfacer las demandas de agua urbanas o agrícolas y, en otros, para ganar espacio agrícola en las márgenes fluviales o bien llevar a cabo actuaciones para defenderse de las avenidas. Teniendo en cuenta que la caracterización e identificación de los impactos es algo dinámico la descripción de las intervenciones antrópicas que se plasma en el estudio analiza y recoge las actuaciones realizadas sobre el cauce y la vega de inundación desde el año 1932 y plasma la fotografía actual del ecosistema fluvial, que sin duda seguirá cambiando. El ecosistema fluvial del río Zadorra ha sufrido los avatares de un modelo de gestión que ha preponderado los intereses productivos sin tener en cuenta otros valores lúdicos, culturales, escénicos y patrimoniales del río vinculados estrechamente con el marco territorial. El río Zadorra es un buen ejemplo de la situación en la que se encuentran muchos ríos de la cuenca del Ebro, fuertemente intervenidos y con importantes afecciones sobre el ecosistema fluvial. El trabajo presentado cobra especial importancia en el marco de la Directiva Marco de Aguas (DMA) (2000/60/CE) al mostrarse como un documento de análisis, que además de censar y caracterizar la casuística de impactos, plantea propuestas y directrices de actuación con el objeto de mejorar el estado ecológico del ecosistema fluvial del río. El objetivo fundamental de este trabajo de investigación es detectar y analizar, desde una perspectiva ecológica y geográfica los cambios más significativos sobre el ecosistema, relacionados con la dinámica fluvial natural a nivel geomorfológico, pérdida de funcionalidad hidráulica, la vegetación riparia, pérdida de la calidad de las agua y progresiva ocupación del cauce y llanura aluvial, entre otros. Con el trabajo se pretende reflexionar sobre la urgente necesidad de aplicar medidas de gestión encaminadas a mejorar estos medios tan frágiles y tan vitales bajo una óptica en la que la ordenación del territorio y la planificación hidrológica sean un binomio indisoluble.

La metodología desarrollada contempla distintos procedimientos de trabajo: delimitación temporal y espacial del ámbito de estudio, tramificación y sectorización del río, acceso a las fuentes de información: escritas, gráficas, planimétricas..., uso de la fotografía aérea y fotointerpretación, aplicación de técnicas de georreferenciación, fotografía histórica y análisis comparativo con la situación actual, trabajo de campo, tratamiento digital de la información con bases de datos y sistema de información geográfica y finalmente exposición de los resultados mediante la elaboración de cartografía temática. De esta manera el procedimiento metodológico desarrollado se convierte una herramienta útil para estudiar y valorar, desde una perspectiva ecogeográfica, las intervenciones humanas en un ecosistema fluvial.

El estudio se ha organizado en siete capítulos. En el capítulo primero se presenta una introducción general en la que, además de presentar la filosofía general del trabajo de investigación, se parte de la consideración de la hipótesis de trabajo. Después se recogen los objetivos que se persiguen con el estudio y el estado de la cuestión sobre el tema. Se dedica especial atención a la presentación de los principales documentos legales en materia de aguas en el ámbito nacional y se valora la importancia y la oportunidad de la Directiva Marco de Aguas. El capítulo segundo esta dedicado a la presentación de la cuenca vertiente del río Zadorra

como marco de referencia y unidad de gestión. A lo largo del capítulo se analizan distintos aspectos físicos, sociales, económicos y demográficos de la cuenca. El capítulo tercero se dedica al análisis de algunos aspectos relativos a la geomorfología y dinámica fluvial del río Zadorra. Además de la descripción general del cauce y la delimitación legal de sus zonas de protección, se presentan los datos cuantitativos referentes a los caudales históricos aportados por el río. Se incorporan referencias relativas a la calidad de las aguas del río y también información relativa a la función morfológica del corredor ripario asociado al río. El cuarto capítulo es el más importante del trabajo. No solamente por su extensión, sino por que en el se presenta el análisis detallado de las distintas intervenciones humanas sobre el ecosistema fluvial del río Zadorra. También se realiza una interpretación de las intervenciones antrópicas en el ecosistema fluvial y su relación con el problema de las inundaciones, así como los riesgos asociados. Después de plantear los antecedentes, la problemática y las implicaciones desde el punto de vista legal se proponen una serie de propuestas y directrices de actuación para minimizar el efecto de las inundaciones del río Zadorra en las zonas urbanas, principalmente. Al final del capítulo se presenta una estadística de presiones e impactos sobre el ecosistema fluvial del río Zadorra. El capítulo cinco está dedicado al estudio de la actividad antrópica como principal factor modificador del paisaje fluvial. Se parte de una presentación en la que se realiza una aproximación al concepto de paisaje fluvial y se concluye con una interpretación de los cambios sufridos en el paisaje fluvial del río. En el capítulo seis se presentan las propuestas y directrices para la ordenación y protección del ecosistema fluvial del río Zadorra. Se parte de la presentación de los antecedentes en la ordenación de los espacios fluviales en el ámbito europeo y después se dedica un apartado para esbozar las bases de lo que debe ser una planificación ordenada y ecosistémica de los ecosistemas fluviales bajo los principios emanados de la Nueva Cultura del Agua. También se dedica un apartado al planteamiento de medidas para garantizar un espacio de libertad fluvial en el río. En el capítulo siete se recogen las conclusiones del trabajo de investigación. Al final del trabajo se incluye un anexo fotográfico y cartográfico.

Los resultados han demostrado que el Zadorra es un río altamente antropizado y en muchos tramos podríamos hablar de un río altamente degradado. Las causas de su degradación, todas ellas de origen antrópico, son entre otras: rectificaciones del trazado (cortas), encauzamientos, embalse, captaciones, vertidos, contaminación difusa agrícola, ocupación del dominio público hidráulico, disminución y/o eliminación del espacio de libertad fluvial, eliminación de vegetación de ribera, presión agrícola y urbana, etc. El factor humano aparece como el principal responsable de los cambios en el paisaje fluvial y del distanciamiento de las condiciones de referencia y del buen estado ecológico del río. La búsqueda de un equilibrio, sin imposiciones, en los usos del espacio fluvial por parte del hombre y del río debe prevalecer en la gestión del entorno fluvial, si queremos poner límites a su degradación y recuperar el río para su disfrute.

En definitiva, el trabajo de investigación aporta un desarrollo metodológico válido para abordar el estudio y el análisis de las intervenciones antrópicas sobre el ecosistema fluvial del río Zadorra, perfectamente trasladable al estudio de otros ámbitos fluviales. No se pretende abordar los fundamentos teóricos de la ecología, geomorfología o hidráulica fluvial, sino que el objetivo es analizar, en profundidad, las intervenciones humanas en el ecosistema

fluvial del río tratando de analizar sus causas y consecuencias derivadas, planteando al final del trabajo, medidas y pautas de ordenación para la protección del río.

RUIZ PULPÓN, A. Raúl. *Tipología territorial de la agricultura de regadío en los municipios de la cuenca hidrográfica del Guadiana. Propuesta espacial previa a la toma de decisiones en Castilla-La Mancha*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Castilla-La Mancha. Diciembre de 2005. Director: D. Félix Pillet Capdepón.

La expansión de la agricultura de regadío ha ocasionado una significativa conflictividad ecológica, económica y social concerniente al uso del agua en la cuenca del Guadiana en Castilla-La Mancha. Entre otros, la desaparición de sus humedales, la deficiente calidad del agua, la demanda que supera con creces los recursos renovables, la complejidad legal en el proceso de reconocimiento de derechos sobre el agua, los pozos ilegales, la falta de coordinación entre las administraciones, el distinto rendimiento de las explotaciones de secano y regadío, y el control de los grandes propietarios sobre las comunidades de usuarios son problemas que se han ido consolidando en el tiempo debido a la ausencia de los criterios sistémicos o multidisciplinares en la planificación y gestión de los recursos agrarios e hídricos del territorio.

Partiendo de estas premisas, el objetivo fundamental consiste en el establecimiento de una clasificación espacial de los modelos de regadío delimitados desde el ámbito municipal. Los principios de agrupación se basan en los aspectos ecológicos, económicos y sociales que constituyen los pilares de la agricultura sostenible. El estudio obedece a la necesidad de establecer un marco de referencia global que ayude a la resolución de problemas a nivel particular. Todos los objetivos se enmarcan dentro de una perspectiva previa, que exige el desarrollo de modelos explicativos con finalidad operativa o aplicada a fin de priorizar y diferenciar las distintas intervenciones en materia de regadíos en el ámbito de cuenca, con el objeto de que se adecuen lo máximo posible a los principios de calidad y de gestión razonada de los recursos hídricos que promueven la *Directiva Marco de Aguas* y la *Estrategia Territorial Europea*.

La hipótesis parte de la posible existencia de distintos comportamientos territoriales de la agricultura de regadío en el ámbito municipal. La articulación de los factores ecológicos, económicos y sociales perfilan diferentes modelos agrarios de regadío en nuestro territorio. El estudio interrelacionado nos señalaría la existencia de una serie de municipios que tienen un modelo desequilibrado de regadío, frente a otros que lo tienen más racionalizado, en virtud de un mayor equilibrio entre los factores que hacen posible la agricultura sostenible.

I. METODOLOGÍA

Desde un punto de vista metodológico se hizo necesaria la elección de una herramienta que permitiera la clasificación territorial y se adecuara lo máximo posible al planteamiento integral que requería el problema. Los cálculos estadísticos de un método multivariante

responden a estas exigencias, constituyéndose en un procedimiento idóneo para el procesamiento, la síntesis y el análisis de los datos de una muestra a través del estudio de la relación simultánea de las variables de información referidas al contexto teórico.

Para la clasificación se ha utilizado un análisis de conglomerados o método cluster que persigue el agrupamiento de los individuos que componen una muestra a tenor de la homogeneidad o heterogeneidad de su información. Dentro de la amplia gama de técnicas se ha seleccionado un análisis jerárquico mediante el método de Ward que permite la obtención de grupos con unos individuos homogéneos entre sí, mientras que garantiza la máxima heterogeneidad respecto al resto de conglomerados creados.

Los 176 municipios que componen la muestra se han agrupado según el comportamiento observado en diez variables de información referidas al contexto teórico de la agricultura sostenible. En el proceso de selección se siguieron varias etapas, entre las que destacan la selección y omisión de indicadores, la transformación y obtención de las variables finales, la estandarización a partir del coeficiente de variación, y por último, la inserción de las variables normalizadas en el programa informático de tratamiento de paquetes estadísticos SPSS versión 11.5.

De los indicadores ecológicos se han elegido aquellos que personalizan las necesidades hídricas municipales, sobretodo los que evidencian el nivel de las extracciones y que tienen, además, disponibilidad de datos para todo el territorio, eligiendo las variables *Superficie regada de cultivos con elevada necesidad hídrica entre la superficie agraria útil y el consumo medio de agua por municipio*.

De los indicadores económicos hemos preferido aquellas informaciones que se pronunciaban sobre los aprovechamientos agrarios y por los que hacían mención a la riqueza municipal. Se ha seleccionado: *la superficie inscrita en la Confederación Hidrográfica por pozo; la superficie regada entre la superficie del término municipal; la superficie de cebada y trigo entre la superficie municipal; y la base imponible catastral entre la superficie imponible del municipio*.

Finalmente, de los indicadores sociales se ha tenido en cuenta la capacidad de dinamismo social del agricultor, la capacidad de generación de empleo, la superficie de cultivos sociales, y la estructura de la propiedad. Las variables seleccionadas han sido *la edad mediana del titular de explotación; la superficie agraria útil por unidad de trabajo al año; la superficie vitícola entre la superficie municipal; y la superficie agraria útil por parcela catastral*.

II. RESULTADOS

Se han logrado un total de ocho tipologías y un caso atípico. Se constata la heterogeneidad de modelos de regadío agrupados en tres niveles de intensidad: una zona de máximo nivel conteniendo tres grupos; otra de nivel intermedio con tan sólo uno; y una de mínimo nivel con cuatro tipologías.

En la de máxima intensidad se ha llevado a cabo un estudio de caso particular para cada una de las tipologías. En la primera, denominada «*municipios centrales*», se evidencia que es el grupo con la estructura de regadío más consolidada, derivado del considerable tamaño de las captaciones, del significativo papel de los grandes propietarios de derechos de agua, del porcentaje de las superficies regadas respecto a la extensión de sus correspondientes tér-

minos municipales, y del elevado consumo de agua logrado por la presencia de cultivos con alta necesidad hídrica. En la segunda tipología se constata el peso del viñedo, determinando unas estructuras agrarias muy diferentes respecto a las demás, tal y como se deduce del comportamiento de variables como la estructura de la parcela, el consumo de agua, la creación de fuerza laboral o el nivel de riqueza agraria. Por último, la tercera tipología agrupa a dos zonas regables como las de Torre de Abrahám y El Simarro caracterizadas por la significación de los cultivos con alta necesidad hídrica (maíz, alfalfa y remolacha azucarera).

El resto de tipologías que se insertan en zonas de nivel intermedio o mínimo corresponden a espacios alejados de las áreas de influencia de los acuíferos subterráneos, localizándose en los dominios geomorfológicos del paleozoico que están caracterizados por la impermeabilidad de sus materiales y en el predominio de otros usos del suelo distintos del regadío, como son los forestales, los cinegéticos y los ganaderos.

En conclusión, en las tipologías de máximo nivel serían inexcusables unas pautas de actuación mucho más detalladas y razonadas. El excesivo consumo de agua y el nivel tan elevado de las superficies de regadío obligan a tomar las medidas necesarias para un cambio en la ordenación de los usos del suelo. El papel desempeñado por los grandes propietarios requiere un ordenamiento hídrico que ajuste una serie de medidas que beneficien, bajo un principio de solidaridad, a la mayoría de los agricultores que utilizan el agua como único medio para el sustento de sus familias.

En el resto de tipologías no parece que el nivel de los regadíos pueda incrementarse debido a las obvias limitaciones de carácter físico existentes en la parte occidental y más oriental de la cuenca hidrográfica. Por ello, parece conveniente que las escasas superficies de regadío se consoliden mediante la puesta en valor de la producción hortícola a través de los programas de desarrollo rural, promoviendo una serie de cultivos que pongan en valor el patrimonio local de la zona como parte del proceso de diversificación económica.

En suma, la tipología territorial permite hablar de una heterogeneidad real de la agricultura de regadío. Se configura como una etapa previa a los intentos de planificación y de gestión del agua que debe ser continuada por otra serie de estudios que descendan a otra escala territorial. La aplicación de este tipo de enfoques *general-particular* permitiría una mayor eficacia en todos los procesos de toma de decisiones, mejorando especialmente el diseño de los programas agroambientales, las iniciativas de desarrollo rural, u otra serie de disposiciones encaminadas a la recuperación de los acuíferos sobreexplotados.