

Capítulo 24

EVALUACIÓN MULTICRITERIO DE ALTERNATIVAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL UTILIZANDO MODELOS HIDROLÓGICOS Y DE EROSIÓN PARA UNA CUENCA REPRESENTATIVA DEL SUR DE CÓRDOBA

José M. Cisneros¹, Juan B. Grau², José M. Antón², Jorge D. de Prada¹, Américo J. Degioanni¹, Alberto Cantero¹ y Horacio A. Gil¹

¹Universidad Nacional de Río Cuarto, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Email Cisneros: jcisneros@ayv.unrc.edu.ar - ²Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. España.

Resumen. La intensificación agrícola en regiones extrapampeanas puede provocar impactos irreversibles sobre los servicios ecosistémicos. Esta contribución tiene por objetivo aplicar herramientas de apoyo a la toma de decisiones para la selección de planes de ordenamiento territorial. La cuenca La Colacha (416 km²), es representativa de la intensificación agrícola en una región subhúmeda seca. Las evaluaciones de los efectos de cada plan sobre variables ambientales, económicas y sociales (criterios) se apoyaron en el uso de modelos hidrológicos y de erosión, información secundaria y encuestas a productores. Se evaluaron 10 alternativas que combinan: a) uso agrosilvopastoril (ASP), uso actual (ACT) e intensificación (INT), b) con y sin conservación de suelos (CS), y c) con y sin ordenamiento hidrológico de cuencas (OH). Los planes o alternativas son evaluados con 13 criterios ambientales, económicos y sociales. Se utilizaron métodos multicriterio discretos. Los resultados muestran variaciones en las alternativas de ordenamiento elegidas. Al predominar los criterios económicos resultan seleccionados ACT, con o sin CS, como muestra la tendencia actual. Cuando pesan criterios ambientales, se seleccionan las opciones ASP, en especial integradas a OH. En igual sentido, al utilizar pesos equilibrados. Las opciones ASP aparecen elegidas al predominar criterios sociales. Se concluye que los métodos tienen tanto una utilidad descriptiva como normativa.

INTRODUCCIÓN

La generación y adopción de políticas agropecuarias y forestales sustentables es una necesidad sentida en el mundo, y en particular en Argentina, cuyo sector actualmente presenta un dinamismo marcado, con visiones encontradas acerca de las ventajas y limitaciones del presente modelo agropecuario (Manuel-Navarrete et al. 2005). El modelo de agriculturización actual en gran parte de la Región Pampeana y Extrapampeana lleva implícitos los impactos sobre el ambiente, y genera preocupación en los ámbitos políticos y académicos.

Hoy, los países desarrollados conciben la agricultura en su dimensión multifuncional (Geneletti 2007), lo cual implica una visión no basada no sólo sobre la producción de bienes de mercado, sino también en bienes públicos vinculados a la calidad del ambiente. El análisis de la agricultura en su dimensión estructural para diferentes escalas (lote, ecosistema, cuenca) permite valorar la producción de bienes y, en su dimensión funcional, la de servicios ecosistémicos tales como el abastecimiento de agua, la asimilación de residuos, la productividad del suelo, el mantenimiento de la biodiversidad, etc. (Lomas et al. 2005).

En este sentido, las políticas de incentivos o regulaciones deben entender esa multifuncionalidad de la agricultura como proveedora de bienes y servicios, a fin de promover el equilibrio entre los factores económicos, sociales y ambientales implícitos en el concepto de "desarrollo sustentable". Bolte et al. (2006) utilizan el concepto de biocomplejidad de los agroecosistemas para analizar las consecuencias futuras de los cambios de uso y cómo impactan las políticas territoriales, sobre la base del análisis del comportamiento de los involucrados.

En el sur de Córdoba, área marginal de la Pampa Húmeda argentina, se puede observar una compleja dinámica de uso de las tierras, procesos de deterioro ambiental local y regional encadenados (e.g., Cantero et al. 1998). En esta región se han realizados estudios sobre la necesidad de ordenamiento hidrológico, red de caminos, nivel de daños causado por la erosión hídrica (e.g., Cisneros et al. 2005), como así también se han estudiado diferentes alternativas de uso y manejo de suelo en el nivel de productor agropecuario (e.g., de Prada et al. 2008). Sin embargo, estos estudios han sido desarrollados en forma aislada y enfocados en un parte del sistema sin considerar la integralidad de los mismos a la hora de definir políticas de actuación. Por otro lado, es reconocida la necesidad de utilización de métodos de evaluación de alternativas de ordenamiento del territorio que consideren de manera simultánea las alternativas de uso y manejo de la tierras en el campo del productor agropecuario y, a su vez, el ordenamiento y estabilización de la red de desagüe y la red de caminos en el ámbito público, incluyendo indicadores de las tres dimensiones del desarrollo sustentable de la agricultura.

Otro de los decisores importantes, la autoridad del agua de la Provincia de Córdoba, ha definido a esta cuenca como prioritaria en su esquema de obras, por lo que se espera que este trabajo contribuya a mejorar tanto el proceso de generación como la selección y el análisis de alternativas.

EL ANÁLISIS MULTICRITERIO Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El análisis multicriterio es una metodología procedente del campo de la toma de decisiones aplicada al análisis de políticas. Este tipo de análisis parte de la idea de que en un determinado problema real, en el que la complejidad es muy alta, no hay una solución que optimice al mismo tiempo todos los criterios, por lo que es necesario llegar a una solución de compromiso entre los distintos valores e intereses. Es decir, una solución multicriterio (Lomas et al. 2005). Un objetivo básico de las metodologías multicriterio es apoyar la resolución de conflictos de intereses entre la explotación de bienes y la pérdida o deterioro de servicios ambientales. Ejemplos de conflictos de este tipo se dan entre agricultura intensiva-polución difusa, agricultura-erosión-calidad de agua, agricultura-pérdida de biodiversidad, agricultura-erosión-deterioro de humedales, entre otros.

Los métodos multicriterio son herramientas para el análisis de alternativas o variables de decisión, que son evaluadas a través del cumplimiento de objetivos, valorados por criterios cuantitativos. Las variables de decisión pueden ser continuas (e.g., la superficie óptima de un determinado cultivo que maximice el ingreso y minimice la erosión), o discretas (la mejor de entre varias alternativas de ordenamiento, como en este trabajo), dando lugar a métodos multicriterio continuos o discretos (Romero 1993).

Un concepto importante en los análisis multicriterio es la escala, en especial cuando se aplican al ámbito de cuencas hidrográficas (Macleod et al. 2007). Dentro de la cuenca coexisten procesos escala-dependientes (contaminación, producción y deposición de sedimentos, hidrología, tipos de erosión) que deben ser caracterizados en el análisis de manera apropiada, a fines de comparar niveles de percepción adecuados. En este trabajo se realiza la integración de las escalas de parcela o lote (conservación de suelos), empresa o predio (sistema de producción) y cuenca (ordenamiento hidrológico).

Las metodologías de análisis multicriterio (AMC) han sido empleadas para resolver gran variedad de problemas ambientales (Munda et al. 1998, Zerkland y Boughanmi 2007), como, por ejemplo, gestión del riego (Gómez Limón et al. 2003), gestión empresarial de montes forestales (Henig y Weintraub 2006), niveles en ríos para distintos usos (Martunnen y Suomalainen 2005), selección de usos del suelo (Degioanni et al. 2000, Koo y O'Connell 2006, Geneletti et al. 2007), reducción de la contaminación difusa en ríos (Munafó et al. 2005, Srdjevic 2007), y en evaluación de manejo de humedales (Janssen et al. 2005).

La Unión Europea (UE) desarrolló el sistema soporte de decisiones denominado MULINO (Giupponi et al. 2004) para la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA). El programa fue aplicado para el análisis de alternativas de control de contaminación difusa en el nivel local y de la UE (Giupponi y Rosato 2002, Mysiak et al. 2005).

En este estudio se pretende aplicar los métodos multicriterio al análisis de alternativas de ordenamiento territorial para una cuenca representativa de los ambientes ondulados subhúmedos del centro argentino.

CASO DE ESTUDIO: LA CUENCA LA COLACHA

Características generales

La cuenca La Colacha está formada por la confluencia de los arroyos La Colacha y El Cipión, ambos tributarios del Arroyo Santa Catalina. Abarca una superficie de 416 km², y se extiende desde los 560 a los 1000 m.s.n.m. (Figura 1). El relieve general de la cuenca es de suave a fuertemente ondulado en sentido este a oeste, con un sector escarpado de sierras que ocupa aproximadamente 17% de la cuenca (6700 ha).

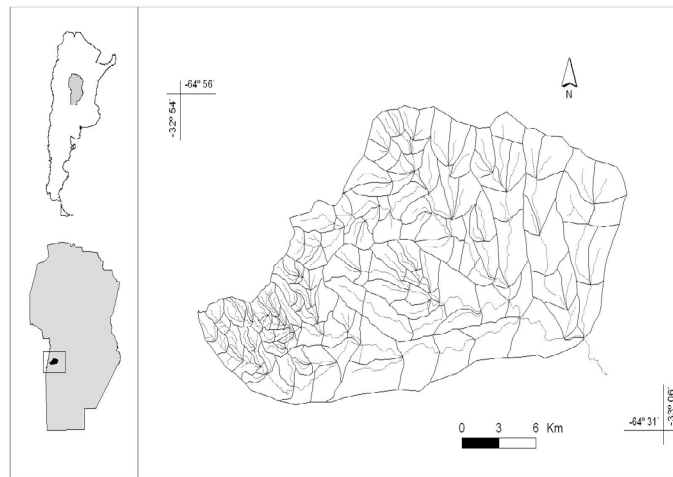


Figura 1. Cuenca La Colacha. Ubicación relativa, límite de subcuencas y red de drenaje. Fuente: elaboración propia.

El clima de la región es templado subhúmedo con estación seca. El régimen de precipitación es monzónico, con lluvias concentradas en el semestre cálido. La precipitación media de la Estación del Campo Experimental de la UNRC, situado en el centro de la cuenca, es de 870 mm/año, para la serie 1994-2004 (Servicio de Agrometeorología UNRC 2004), concentrada en 80% entre octubre y abril. Las precipitaciones máximas registradas alcanzan 140 mm en 24 horas, y tanto la lluvia anual como las máximas precipitaciones diarias se han incrementado en los últimos años en la región, al igual que en el resto de la Región Pampeana.

Los suelos se desarrollaron sobre loess de textura franco arenosa a franca, dando origen a hapludoles típicos y énticos en sectores dominantes, y argiudoles típicos y cumúlicos en los bajos. En los bordes de arroyos y en sectores de antiguos derrames se encuentran entisoles (fluventes y psamentes).

La vegetación natural de la cuenca, casi inexistente en todo el sector agrícola, sólo está presente en relictos en las sierras, y pertenece a las formaciones de bosque serrano y romerillal, ambos muy degradados (Cantero y Bianco 1986).

En la actualidad, el uso de la tierra es agrícola-ganadero en las planicies, y ganadero extensivo en las sierras. Los procesos de degradación predominantes son la erosión hídrica laminar, en surcos y en grandes cárcavas, la erosión de cursos permanentes, la descarga de sedimentos hacia las cuencas bajas, y la destrucción sistemática de la infraestructura de caminos, en especial de tierra. La tendencia del uso del suelo en los últimos años ha sido hacia la agriculturización, al igual que en el resto de la región (Cisneros et al. 2004).

La cuenca es atravesada por una ruta provincial de alto impacto turístico, que comunica a la ciudad de Río Cuarto, y al resto del país, con la región turística del sur de Córdoba (localidades serranas de Achiras, Las Albahacas, El Chacay, Las Tapias, San Bartolomé y Alpa Corral). Por esta razón, la preservación y la mejora de los servicios ecológicos basados sobre la calidad del paisaje y la recreación vinculada al agua tienen un alto impacto regional.

Por otra parte, a la salida de la cuenca la Provincia de Córdoba tiene en proyecto la construcción de un embalse multipropósito (Embalse Cipión II, recreación, regulación y riego), y ya se encuentra en funcionamiento un embalse en la zona de derrame de la cuenca (Embalse Tigre Muerto), el cual está sometido a severos procesos de sedimentación como consecuencia de las pérdidas de sedimentos de los sectores altos, como es el que representa la cuenca bajo estudio (Cantero et al. 1998).

La problemática del área de la cuenca ha sido estudiada desde escalas y perspectivas diversas. Las más actuales se vinculan a estimaciones preliminares de tasas de sedimentación de la futura presa CIPION (Cisneros et al. 2005), a escala de la cuenca del Arroyo Santa Catalina, del que La Colacha es uno de sus principales tributarios. Sobre aplicación de métodos multicriterio continuos, de Prada et al. (2008) analizaron los niveles de compensación entre maximización de margen bruto y otras variables económicas y minimización de la erosión en el nivel predial. Los autores concluyen que la aplicación de técnicas de conservación de suelos produce una reducción significativa de la erosión, sin pérdidas importantes de margen bruto para la actividad agrícola-ganadera. Degioanni et al. (2000) utilizaron métodos multicriterio discretos (MMD) para seleccionar estrategias de uso sostenible de los suelos en relación a la aptitud y a los usos predominantes a finales de la década del '90.

Objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es aplicar métodos multicriterio discretos a la selección de planes de ordenamiento territorial de la cuenca La Colacha, que incluyan de manera explícita servicios ecosistémicos, con la finalidad de aportar al diseño y evaluación de políticas que armonicen el beneficio económico y social y la calidad del ambiente de la cuenca. Además, se pretende poner en evidencia los conflictos de intereses que surgen de forma necesaria al considerar criterios de diferente tipo en la evaluación de los planes, y aportar claridad a las relaciones de compromiso a tener en cuenta en los procesos futuros de negociación/consenso de políticas.

METODOLOGÍA

Selección de alternativas

La aplicación de metodologías multicriterio implica la definición de objetivos, alternativas, criterios y pesos (Romero 1993), y cada criterio es puesto en operación a través de atributos medibles. Para esta primera aproximación, y por ser un trabajo académico, "los autores asumen el rol de decisores" (Koo y O'Connell 2006), es decir que desarrollan las propuestas, definen los criterios y los pesos. No obstante, la posición de los productores es tenida en cuenta a través de información de encuestas recientes (Gil et al. 2008).

Cada plan o alternativa es definido en base a escenarios posibles y se asume como una integralidad, en el sentido de abarcar medidas o actuaciones a diferentes escalas de tiempo (de corto y largo plazo), espacio, (desde escala de lote o parcela, de microcuenca, y de cuenca), en sus dimensiones pública y privada, en lo que se ha dado en llamar manejo (o gestión) integrada de cuencas, del agua, o de las tierras (Munda et al. 1998). Las alternativas seleccionadas surgen de la combinación de las siguientes estrategias.

Tipos de uso del suelo

Uso agro-silvo-pastoril (ASP). Basado sobre una combinación de bosques implantados, cultivos y pasturas, de acuerdo a la calidad de los suelos. También implica el manejo racional del bosque y los pastizales del sector serrano de la cuenca, aunque sólo involucran una reducida proporción de su superficie total.

Uso actual (ACT). Basado sobre el uso que se lleva a cabo en la actualidad, según resultados de un censo reciente (Cisneros et al. 2008a). Sería la alternativa de uso del "status quo" (según Janssen 2001, es necesario analizar ambas).

Uso más intensivo (INT). Escenario en el que se consolida la agricultura en la cuenca, y surge del análisis de tendencias observado en los últimos años (Cisneros et al. 2005). Se supone que es la alternativa más probable de continuar el uso del suelo sujeto a las alternativas del mercado, como principal fuerza directriz. En la Tabla 1 se indica la distribución porcentual de cada tipo de uso de los suelos de la cuenca, sin incluir las superficies afectadas por franjas buffer, embalses y sistematización sobre la base de cultivos en fajas. Se supone que ningún uso altera la superficie de tierras de sierra.

Tabla 1. Distribución de los usos del suelo para tres escenarios de análisis en la cuenca La Colacha (Córdoba). Fuente: elaboración propia.

Uso-rubros de producción	Tipo de uso, % de la superficie total (% sobre superficie agrícola)		
	ASP	ACT	INT
Agrícola	42 (51)	56 (67)	83 (100)
Maíz	21	22	19
Soja	21	30	58
Maní	-	-	7
Girasol	-	2	-
Trigo	-	2	-
Pasturas anuales	-	21	-
Pasturas perennes	25	13	-
Forestales	17	-	-
Sierras	17	17	17

Ordenamiento del relieve o conservación del suelo (CS)

Adopción de técnicas de estabilización del suelo mediante terrazas o franjas de cultivo (pasto-

cultivo), apoyadas en adopción y financiamiento privado, a escala de lote. Su objetivo es reducir la pérdida de suelos, la producción de sedimentos y la contaminación difusa de las aguas (Dorner et al. 2007).

Ordenamiento hidrológico de cuencas (OH)

Conjunto de acciones que permitan reducir caudales pico y sedimentación de cursos principales y estabilizar la red de drenaje. Basadas sobre la inversión pública, incluye diferentes tipos de obras: microembalses de regulación o humedales construidos (Schwab et al. 1993, Lasage 2007), fajas riparias buffer, bordes vegetados-forestados de los cursos (Muñoz-Carpena y Parsons 2005, Dabney et al. 2009, Giupponi y Rosato 2002), canales empastados sobre cauces temporarios, defensas de cabecera de cárcavas y protección de márgenes de arroyos mediante bioingeniería (Morgan y Rickson 1995).

Los microembalses provocan una reducción de caudales pico, con poca alteración del escurrimiento neto de la cuenca, ya que tienen limitada capacidad de retención y descarga por la base. Su misión en la cuenca es recuperar la capacidad de retención de antiguos humedales que fueron drenados por erosión en cárcavas retrocedentes. Por otra parte, cumplen una importante función de filtro de sedimentos y contaminantes (Verstraeten y Poesen 2002), junto con las fajas buffer.

La reforestación se considera como parte de la alternativa agrosilvopastoril, y no es una opción alternativa a las obras hidráulicas, sino una estrategia complementaria que posibilite aprovechar de forma parcial los efectos benéficos de las masas forestales en la porción agrícola de la cuenca. Por otra parte, la restauración del bosque serrano es una alternativa de alcance limitado, ya que la mayor parte de la sierra pertenece al dominio del arbustal y del pastizal serrano, y la superficie de sierra en la cuenca es escasa (Tabla 1). La combinación de estos 3 tipos de acciones daría las 10 posibles alternativas que figuran en la Tabla 2, y cuyas siglas serán utilizadas de aquí en adelante.

Tabla 2. Alternativas de ordenamiento territorial analizadas para la cuenca La Colacha. Fuente: elaboración propia.

Sigla alternativa	Descripción
ASP	Uso agro-silvo-pastoril sin ordenamiento hidrológico Promoción hacia una reconversión productiva diversificada en el largo plazo
ASP+OH	La reconversión productiva va acompañada de políticas públicas de ordenamiento hidrológico de las cuencas
ACTUAL	Se mantiene el uso actual ("status quo"), sin aplicación de técnicas de conservación de suelos
ACTUAL+CS	El uso actual va acompañado de políticas de adopción masiva de técnicas de conservación de suelos
ACTUAL+OH	El uso actual va acompañado de políticas de ordenamiento hidrológico de cuencas
ACTUAL+CS+OH	El uso actual va acompañado tanto de políticas de conservación de suelos como de ordenamiento de cuencas
INTENSIVO	Se consolida la tendencia hacia la agriculturización en el uso del suelo
INTENSIVO+CS	La intensificación va acompañada con políticas públicas de promoción de conservación de suelos en toda la cuenca
INTENSIVO+OH	La intensificación va acompañada con políticas públicas de ordenamiento de cuencas
INTENSIVO+CS+OH	La intensificación va acompañada tanto de políticas públicas de conservación de suelos como de ordenamiento de cuencas

Criterios e indicadores

Cada una de las 10 alternativas anteriores representan cambios estructurales y funcionales en la cuenca que es necesario valorar o cuantificar, para ello se seleccionaron 13 criterios que incluyen las dimensiones ambiental, económica y social del problema de manejo de los recursos y servicios de la cuenca. Se describen a continuación.

Criterios ambientales

Caudal pico de la cuenca (QPI). Es el caudal máximo erogado por la cuenca para una precipitación máxima de 80 mm en 6 h, la cual tiene una recurrencia aproximada de 25 años, con un máximo en el segundo sextil. La valoración del criterio es "a más, peor", en razón de considerar que un mayor caudal pico implica una mayor desestabilización hidrológica (diferencia entre caudal pico y base), una menor retención y retardo de los escurrimientos, menores tiempos de concentración, menores caudales base y mayor potencial erosivo. No se consideró como criterio el flujo base o flujo de invierno (en este caso, con valoración "a más, mejor") debido a la dificultad de su modelado, en especial bajo condiciones de microembalses, deforestación o reforestación (Smakhtin 2001, Jobágy et al. 2008), y para evitar sesgos en la valoración o "doble contabilidad" al aplicar criterios altamente correlacionados.

Tasa de erosión (ERO, suelo removido). Es la pérdida anual promedio de suelo sobre la base del uso propuesto para cada alternativa. Provee información sobre la sustentabilidad agroecológica

de largo plazo del plan propuesto (Antoine et al. 1997, Agrell et al. 2004, Lakshminarayan et al. 1995). Valorado como "a más, peor". No se consideraron efectos de los cambios de uso sobre la salinización de los suelos de la cuenca, en razón de que no existen, para esta escala de trabajo, vinculaciones entre forestación/deforestación y ascenso/descenso de napas (las cuales se encuentran a profundidad) y salinización de suelos, procesos que si se manifiestan a una escala regional más amplia, involucrando no sólo cuencas altas, sino también áreas de derrame deprimidas (Cantero et al. 1998, Jobágy et al. 2008).

Tasa de aporte de sedimentos y contaminantes (SED). A diferencia de la anterior, está variable cuantifica el suelo perdido que llega a un curso de agua permanente. Si bien está relacionada con la anterior, son indicadores diferentes (Agrell et al. 2004). Estas dos variables no implicarían "doble contabilidad" o redundancia (Geneletti 2007) dado que son controladas por diferentes técnicas, tomadas en cuenta por las diferentes alternativas analizadas. Valoración: "a más, peor".

Índice de calidad ambiental (CAM). Se tomaron en cuenta una serie de factores, ponderados en una escala 0-1, y sumados; criterio: "más es mejor" (Gómez Orea 1999). Dentro de los factores considerados se encuentran: % de sitios para pastizal, % de sitios para agricultura, diversidad de tipos de vegetación, características de las vías fluviales, biodiversidad, atributos escénicos del paisaje y márgenes y corredores arbolados.

Criterios económicos

Inversión (INV). Se estima sobre la base de la cuantificación del número y el dimensionamiento preliminar de las posibles actuaciones. Los valores de inversión se transforman en una anualidad (costo anual equivalente), considerando el tiempo de duración estimado de las obras, y un costo de oportunidad de la inversión del 12%. Valorado "a más, peor". No se tuvieron en cuenta inversiones vinculadas a calidad de aguas (e.g., tratamientos de potabilización asociados a la carga de sedimentos) debido a que la escala de trabajo no permite abarcar una dimensión de cuenca y poblaciones a servir, que haga posible estimaciones en ese sentido.

Costo de mantenimiento (MAN). Sobre una base anual, incluye los costos de reparación y mantenimiento del plan de obras, y la reparación de caminos rurales dañados por erosión. En caminos se estimó el daño por erosión en función del caudal pico de la cuenca (de Prada 1994). Se valora "a más, peor".

Pérdida de superficie agrícola (SAG). Se estima sobre la base del dimensionamiento de obras necesarias para control de erosión y sedimentos. Está apoyado en HEC-HMS y VFSSMOD. Incluye tierras forestales, cultivos en fajas, canales empastados y fajas buffer. Se considera como "a más, peor".

Beneficio de corto plazo (BEN). Valora la rentabilidad de las alternativas de uso del suelo. Si bien el productor considera que la tendencia al monocultivo empeora las condiciones de su campo, un porcentaje elevado la justifica debido al aumento de la rentabilidad (Gil et al. 2008). Se estima en función del margen bruto de una explotación tipo de la zona, con la distribución de usos de cada alternativa y rendimientos promedio (de Prada et al. 2008). Es valorado "a más, mejor".

Crterios sociales

Facilidad de implementación (FIM). Implica el tiempo en el que se deben llevar a cabo las acciones; criterio "a más, peor" (Degioanni et al. 2000, Grau et al. 2008, Gonçalves et al. 2007).

Estabilidad productiva de largo plazo (EPR). Se estima sobre la base del concepto de vida media de productividad del suelo ("half-life" según Sparovek y Schnug 2001) o años de productividad (Dorner et al. 2007). El valor de pérdida tolerable de suelo es de 0.2 mm/año (~2.6 t/ha). Si bien puede ser tomado como un criterio ambiental, se ubicó dentro de los sociales por su significado vinculado a la "vida útil" de la empresa, en términos de producción.

Aceptabilidad social (ACE). Evaluado en forma cualitativa (Grau et al. 2008), sobre la base de cómo perciben los productores la problemática de degradación de sus recursos naturales, y de su actitud frente a las técnicas para resolverlos (Gil et al. 2008). Se evalúa como "a más, mejor".

Impacto en el empleo (EMP). Evaluado en función del número de empleos generados por las diferentes actividades productivas y por la implementación de las diferentes estrategias. Los estimadores de empleo fueron tomados de Llach et al. (2004); valoración: "a más, mejor".

Legislación vigente (LEG) (Grau et al. 2008). Evaluada en forma cualitativa, representa la adecuación del marco institucional y legal en relación a las propuestas del plan. Se utiliza una escala de 0-10; valoración: "a más, mejor".

Recopilación de información básica y uso de modelos

La cuenca fue dividida en 161 subcuencas discretas, con un tamaño medio de 250 ha, a los fines de tener la posibilidad de realizar estimaciones lo más detalladas posibles del esquema de ordenamiento hidrológico propuesto. La delimitación de subcuencas, red de drenaje, áreas agrícolas y de sierra fue digitalizada sobre las imágenes satelitales LANDSAT TM 5 y Google, con ArcView 3.2. (ESRI 1999). Los caudales máximos, láminas y volúmenes de escurrimiento se estimaron mediante el programa HEC-HMS (USACE 2008), utilizando las opciones SCS-CN, hidrograma unitario SCS y lag para traslados. El programa también se utilizó para correr los caudales de entrada y salida de reguladores de escurrimiento (microembalses) mediante la opción altura-almacenaje-descarga.

La pérdida de suelo fue estimada a partir del modelo RUSLE-2 (USDA-ARS 2008), el cual ya fue usado en la región para estimar los impactos del cambio de uso (Cisneros et al. 2004). Investigaciones recientes destacan la capacidad predictiva de este modelo para estimaciones en la escala de lote (Dabney et al. 2009). Se utilizó un valor $R=4040$, $K=0.041$, valores de C de acuerdo a los tipos de uso del suelo, $L=300$ m. Para el factor S se ajustó un metamodelo lineal de pérdida de suelo, para aplicar a la pendiente de cada subcuenca. El factor P fue modificado en los esquemas de manejo que incluyen terrazas con desagüe y fajas de cultivos.

La producción de sedimentos para cada subcuenca fue estimada a partir de la ecuación USLE modificada (MUSLE) (Muñoz-Carpena y Parsons 2005). Todos los dimensionamientos de obras se hicieron a un nivel de prefactibilidad, en función de los objetivos y escalas del trabajo. El ancho de fajas protectoras de cauces (fajas buffer), fue estimado mediante el modelo VFSMOD-W (Muñoz-

Carpena y Parsons 2005), tomando como criterio de dimensionamiento una reducción de la tasa de sedimentos de 75% (relación de transporte de sedimentos, $SDR=25\%$). Para dimensionar canales empastados de desagüe se tomaron los diferentes caudales máximos, con y sin prácticas de ordenamiento y manejo, y se aplicaron los modelos simplificados de Schwab et al. (1993).

Los reguladores de escurrimiento fueron dimensionados en función de datos generales de pendiente, y ubicados en cuencas cabecera. Se hicieron simulaciones con 47, 32 y 21 embalses, variando su relación altura-descarga, en función de los CN de las cuencas de aporte, es decir del uso y manejo de los suelos correspondiente a cada alternativa.

Los costos de las obras se estimaron a partir de trabajos de consultoría previos realizados para la Dirección de Vialidad de Córdoba, para cuencas de similares características (Cisneros et al. 2008b).

Métodos multicriterio

Debido al limitado número de alternativas, y a su carácter discreto, se emplearon métodos multicriterio denominados de sobreclasificación ("outranking") o superación, a los fines de ordenar las alternativas según su desempeño. La alternativa A sobreclasifica a la alternativa B (o bien, la alternativa A es preferible a la alternativa B) cuando A es igual o superior a B en una mayoría de criterios y cuando en los restantes criterios la diferencia de puntuación no es demasiado importante.

De acuerdo a la índole del problema, al número de alternativas y criterios elegidos, se emplearán los métodos que se detallan a continuación.

Método de las jerarquías analíticas

En el método de las jerarquías analíticas (AHP) (Saaty 1980), programado en Expert Choice®, las alternativas y los criterios son analizados por pares en función de una escala de preferencia (entre +9 cuando una opción es extremadamente preferida, 1 cuando es indiferente y -9 cuando es extremadamente no preferida), procediéndose luego a la integración final, que da un resultado numérico del desempeño de todas y cada una de las alternativas.

ELECTRE. El método ELECTRE (Roy 1985) permite seleccionar alternativas según relaciones de concordancia (A es mejor que B para un dado criterio) y discordancia (A no es peor que B para otro dado número de criterios), en donde cada criterio lleva asociado un cierto peso. Ambas relaciones son luego integradas para definir las alternativas que dominan (o sobreclasifican) y que no son dominadas, que pasan a formar parte del núcleo de alternativas preferidas.

PROMETHEE I. De este método existen dos versiones: una original (Brans et al. 1986) y una modificada por Antón et al. (2006), que incorpora pesos al estilo de ELECTRE. Estos dos últimos fueron programados con Mathcad®, según procedimiento de Grau et al. (2008). Este método también diferencia las alternativas en dominantes, dominadas o incomparables. Ordena las alternativas en base a diferentes procedimientos de asignación de valor a las diferencias entre criterios. Los criterios para los cuales A es mejor que B producen un cierto valor (positivo), y

viceversa (negativo), siendo la opción preferida aquella que muestra la mayor diferencia entre valores positivos y negativos. Detalles sobre los diferentes procedimientos utilizados en Promethee pueden verse en Barba Romero y Pomerol (1997).

Además de alternativas y criterios, los métodos multicriterio requieren la definición de pesos, que representan las preferencias de los centros decisores en relación a los criterios. Los diferentes pesos asignados a los criterios hacen explícitos los conflictos de intereses que subyacen en todo proceso de manejo ambiental. Así, por ejemplo, es probable que los grupos de interés vinculados a la producción le asignen más peso a los criterios económicos, mientras que los grupos preocupados por la conservación de la naturaleza o por el turismo lo le den más peso a los criterios ambientales (Bolte et al. 2006, Gil et al. 2008, Janssen et al. 2005).

Se asignaron 4 distribuciones de pesos (Tabla 3), con fines puramente analíticos y sin considerar la opinión de decisores, haciendo predominar los criterios ambientales (pesos 1 de Tabla 3), económicos (pesos 2), utilizando una distribución equilibrada (pesos 3), o una con predominio de criterios sociales (pesos 4) que fueron estimados utilizando Expert Choice a fin de que no se generaran inconsistencias (la suma de todos los pesos asignados debe ser igual a 1).

RESULTADOS

Matriz decisional principal

La matriz decisional representa el núcleo básico en toda metodología multicriterio. En esta matriz se encuentran representadas las alternativas y su comportamiento para cada criterio evaluado. La matriz decisional consta de dos componentes principales: a) la matriz principal, en donde se hallan detallados los coeficientes técnicos que surgen de la aplicación de los modelos de simulación (valores relativamente objetivos), o de apreciación (valores subjetivos), y que no depende de los decisores, y b) la matriz de pesos, en donde se encuentran detalladas las diferentes valoraciones o preferencias, y que sí dependen de los juicios e intereses en juego entre los decisores.

Para este caso de estudio, ambas matrices se encuentran detalladas en la Tabla 2, donde figuran los valores obtenidos para las alternativas y criterios considerados, como así también las cuatro distribuciones de pesos asignadas, que intentan simular, como ya se señalara, cuatro grupos de decisión en conflicto, a los fines de analizar la sensibilidad de cada uno de los métodos multicriterio utilizados.

Tabla 3. Matriz decisional principal elaborada para la cuenca La Colacha (Córdoba) para aplicación de métodos multicriterio discretos. Fuente: elaboración propia.

Alternativa	Criterios ambientales				Criterios económicos				Criterios sociales				
	QPI	ERO	SED	CAM	INV	MAN	SAG	BEN	FIM	EPR	ACE	EMP	LEG
ASP	192	0.94	1.5	6.6	2.38	330.3	24.3	575	8	200	4	956	6
ASP + OH	138	0.94	0.4	6.7	3.38	462.8	24.9	570	10	200	3	970	5
ACTUAL	431	5.39	22.7	4.6	0.24	138.5	18.7	744	1	70	10	475	8
ACTUAL+CS	257	2.40	5.0	5	0.72	163.8	20.1	720	5	150	8	502	9
ACTUAL+OH	272	5.39	5.7	4.8	1.21	229.5	19.5	736	7	70	8	485	7
ACTUAL+CS+OH	170	2.40	1.3	5	1.69	279.6	20.7	712	10	150	7	520	8
INTENSIVO	561	6.49	41.6	3.6	0.30	196.7	6.9	883	3	50	7	270	9
INTENSIVO+CS	431	2.83	10.7	4.15	1.08	294.9	10.4	845	8	100	8	327	7
INTENSIVO+OH	351	6.49	10.4	3.8	1.26	271.5	7.8	873	10	50	8	291	7
INTENSIVO+CS+OH	272	2.83	2.7	4.1	2.03	382.3	11.1	837	10	100	7	336	8
PESOS 1: Ambiental	0.425				0.267				0.329				
	0.066	0.126	0.122	0.111	0.098	0.024	0.035	0.073	0.037	0.096	0.054	0.133	0.046
PESOS 2: Económico	0.176				0.582				0.241				
	0.049	0.066	0.022	0.039	0.146	0.061	0.081	0.16	0.134	0.069	0.135	0.018	0.019
PESOS 3: Equilibrio	0.358				0.324				0.318				
	0.083	0.109	0.063	0.103	0.117	0.033	0.043	0.093	0.038	0.114	0.069	0.076	0.059
PESOS 4: Social	0.251				0.3				0.449				
	0.06	0.069	0.048	0.074	0.089	0.024	0.039	0.062	0.086	0.114	0.099	0.18	0.056

Abreviaturas: ASP = uso agro-silvo-pastoril, OH = ordenamiento hidrológico de la cuenca, ACTUAL = uso actual, CS = conservación de suelos, INTENSIVO = uso intensivo. QPI = caudal pico ($m^3 \cdot s^{-1}$), ERO = erosión de suelo ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$), SED = producción de sedimentos (miles de Mg), CAM = calidad ambiental (ad.), INV = inversión anualizada (millones de \$), MAN = mantenimiento y operación (miles de $\$.año^{-1}$), SAG = pérdida de superficie agrícola (ha), BEN = beneficios de corto plazo ($\$.ha^{-1} \cdot año^{-1}$), FIM = facilidad de implementación (años), EPR = estabilidad productiva (años), ACE = aceptabilidad social (ad.), EMP = empleo (número de puestos de trabajo), LEG = legislación vigente (ad.).

Los resultados preliminares indicarían que tanto para las distribuciones de pesos “ambiental”, “equilibrada” y “social”, las alternativas elegidas son los sistemas agrosilvopastoriles (ASP), seguidas por la alternativa de continuar con el uso actual, pero con conservación de suelos CS (Tabla 4). En la distribución con peso relativo en criterios “económicos”, las alternativas seleccionadas son la de intensificar el uso del suelo (INT) o mantener el actual (ACT), seguida por la de uso ACT+CS.

En términos descriptivos (o de explicación de la realidad), los resultados muestran la tendencia actual del uso del suelo, con predominio de los criterios económicos de corto plazo, y marcarían la tendencia hacia usos más intensivos. Desde una perspectiva normativa de análisis (o de diseño de sistemas mejorados), los resultados indicarían que las opciones más favorables ambiental y socialmente son las vinculadas a usos diversificados y esquemas de ordenamiento integrados (ASP y OH). Por otra parte, la opción ACT+CS aparece siempre en los primeros 4 lugares, lo cual la convierte en la opción más favorable en etapas intermedias hacia manejos más integrados, e indica la necesidad y viabilidad de políticas activas que promuevan la sistematización predial.

La valoración económica tiende a incluir las alternativas que incluyen técnicas de conservación de suelos (CS) entre las elegidas, priorizándolas sobre aquellas alternativas que incluyen el ordenamiento hidrológico o ambas estrategias. No obstante, se requerirían análisis más precisos a los fines de discriminar sólo entre alternativas CS vs. OH, u opciones combinadas, probablemente con métodos multicriterio de tipo continuos, como el de programación por metas (Mendoza y Martins 2006). Estas últimas opciones (CS y OH) aparecen con más frecuencia en las otras distribuciones de pesos de los criterios.

Tabla 4. Orden de preferencia de las alternativas para la cuenca La Colacha, estimadas mediante AHP para diferentes pesos. Fuente: elaboración propia.

Sistemas de pesos (ver Tabla 2)							
1: Ambiental		2: Económico		3: Equilibrado		4: Social	
Orden	Valor	Orden	Valor	Orden	Valor	Orden	Valor
ASP+OH	0.151	ACT	0.151	ASP+OH	0.137	ASP	0.139
ASP	0.151	INT	0.145	ASP	0.133	ASP+OH	0.139
ACT+CS	0.114	ACT+CS	0.108	ACT+CS	0.118	ACT	0.123
ACT+CS+OH	0.104	INT+CS	0.100	ACT	0.111	ACT+CS	0.118
ACT	0.101	INT+OH	0.097	INT	0.103	ACT+OH	0.076
INT	0.088	ASP	0.084	ACT+CS+OH	0.099	ACT+CS+OH	0.096
INT+CS+OH	0.077	ASP+OH	0.081	INT+CS	0.080	INT	0.099
INT+CS	0.074	ACT+OH	0.081	INT+CS+OH	0.076	INT+CS	0.076
ACT+OH	0.073	ACT+CS+OH	0.077	ACT+OH	0.073	INT+OH	0.065
INT+OH	0.062	INT+CS+OH	0.077	INT+OH	0.070	INT+CS+OH	0.069

No obstante, aparecen resultados poco consistentes como la aparición de la alternativa de intensificación agrícola (INT) superando a las que incluyen CS u OH, aun para las valoraciones con peso en lo ambiental. Esto podría deberse a que las distribuciones de peso mostraron índices de inconsistencia algo elevados (del orden de 10%), lo cual requeriría una precisión mayor en el análisis.

La extensión del análisis mediante AHP introduciendo la opinión de expertos, el análisis espacial mediante GIS y la participación de decisores, puede ser mejorada en la actualidad con un programa soporte de decisiones desarrollado en Australia (ASSES) (Hill et al. 2005).

Método ELECTRE

El procesamiento de la matriz principal con este método marca tendencias similares al método anterior en cuanto a las opciones dominantes para todas las distribuciones, aunque con algunas diferencias en el orden de ubicación de las alternativas. La distribución de pesos con predominio ambiental ubica en el núcleo (opciones dominantes y que no son dominadas, Figura 2) a las alternativas silvopastoriles con y sin ordenamiento hidrológico (ASP y ASP+OH), resultados consistentes con el mejor desempeño de estas alternativas en variables ambientales como erosión, caudal e índice de calidad ambiental. La distribución de pesos equilibrada selecciona también a la alternativa ASP como dominante seguida del uso actual con conservación de suelos (ACT+CS). La distribución de pesos en lo social coloca en el núcleo únicamente a la alternativa de uso agrosilvopastoril (ASP).

No obstante no haberse realizado análisis de sensibilidad, que marquen la importancia relativa de los criterios, estos resultados indicarían que las alternativas con uso agrosilvopastoril (ASP) dominan al resto, para un amplio rango de peso de los criterios.

Al predominar los criterios económicos, el método selecciona a las alternativas ACT, ACT+CS e INT; es decir, coincide con el método AHP en cuanto a que jerarquiza las alternativas ACT e INT, pero pondera a la CS como igualmente favorable. En este sentido, el método incorpora restricciones concretas tanto al uso ACT como al uso INT, que deberían estar acompañados por medidas correctivas de conservación para estar entre las alternativas seleccionadas como más favorables.

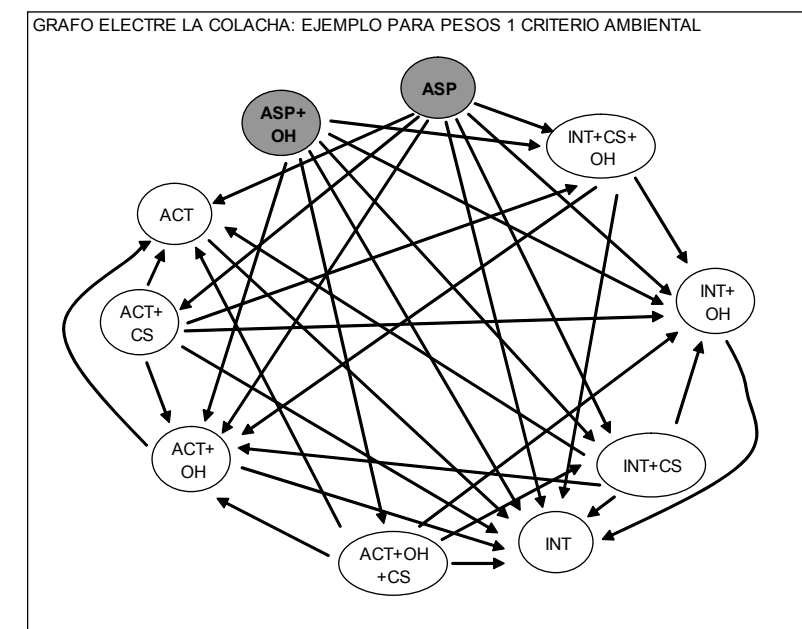


Figura 2. Gráfico de representación de alternativas con el método ELECTRE para la cuenca La Colacha. Resultado de la evaluación con pesos en criterios ambientales. En gris se destacan las alternativas del núcleo (elegidas como preferidas). Fuente: elaboración propia.

Métodos PROMETHEE

Se utilizaron pseudocriterios tipo I (valor 1 cuando la alternativa supera, ó 0 cuando es superada). El orden obtenido aplicando la versión original del método, es decir sin considerar los pesos, es el siguiente: ACT+CS > ACT > ACT+CS+OH > ASP > ACT+OH > ASP+OH > INT+CS > INT > INT+CS+OH > INT+OH. Como se observa, selecciona como mejores opciones a las variantes del uso actual, y dentro de ellas la que incluye conservación de suelos como la más apta. En la Tabla 5 se muestra la aplicación del método modificado por Antón et al. (2006) y que considera los distintos pesos asignados.

Todas las valoraciones de pesos coinciden en que ACT-CS es la opción preferida. La alternativa de mantener el uso actual aparece como la segunda en orden de importancia para las valoraciones con sesgo hacia lo económico y social, mientras que las alternativas ASP+OH y ASP, en teoría las más sustentables en términos ambientales, sólo aparecen cuando predominan estos criterios en la valoración.

Tabla 5. Orden de las alternativas obtenido de la aplicación del método PROMETHEE, para la cuenca La Colacha.

1: Ambiental		2: Económico		3: Equilibrado		4: Social	
Orden	Valor	Orden	Valor	Orden	Valor	Orden	Valor
ACT+CS	3.094	ACT+CS	2.698	ACT+CS	3.19	ACT+CS	3.38
ASP+OH	2.292	ACT	2.63	ACT+CS+OH	1.384	ACT	1.269
ACT+CS+OH	2.109	INT	1.04	ASP	0.935	ASP	1.247
ASP	2.022	INT+CS	0.888	ASP+OH	0.755	ACT+CS+OH	1.243
ACT	-0.199	ACT+OH	0.175	ACT	0.616	ASP+OH	0.885
ACT+OH	-0.535	INT+OH	-0.701	INT+CS	-0.471	ACT+OH	0.02
INT+CS	-1.064	ACT+CS+OH	-0.733	ACT+OH	-0.483	INT+CS	-0.794
INT+CS+OH	-1.108	INT+CS+OH	-1.519	INT+CS+OH	-1.22	INT+CS+OH	-1.721
INT	-3.241	ASP	-1.646	INT	-1.97	INT	-2.317
INT+OH	-3.37	ASP+OH	-2.832	INT+OH	-2.736	INT+OH	-3.212

La alternativa de intensificación (INT) sólo aparece entre las principales cuando predominan criterios económicos, en coincidencia con las tendencias que marca la realidad agrícola regional (Gil et al. 2008).

La ubicación de las opciones agrosilvopastoriles (ASP) aparecen muy afectadas por los criterios económicos, que las colocan en último lugar, frente al resto de los criterios que las considera entre las principales. En el mismo sentido que las estrategias que incluyen ordenamiento hidrológico (OH), las opciones ASP son incluidas como prioritarias dentro de un amplio rango de criterios, excluido el económico que no las incluye entre sus opciones preferidas. La inclusión de pesos en PROMETHEE no altera la prioridad principal, pero sí lo hace con las siguientes. Por esta razón, en etapas posteriores de profundización del análisis se utilizarán otro tipo de pseudocriterios (por caso, los de tipo III) que tomen en cuenta con mayor detalle el gradiente de variación para discriminar entre alternativas, o se utilizarán otras versiones de PROMETHEE (Abu-Taleb y Mareschal 1995).

Síntesis de resultados

La Tabla 6 sintetiza los resultados de las alternativas de ordenación territorial seleccionadas por los diferentes métodos para los sistemas de pesos asignados.

Tabla 6. Síntesis de resultados de la aplicación de métodos multicriterio discretos a la cuenca La Colacha (Córdoba).

Método	Pesos: Ambiental	Pesos: Económico	Pesos: Equilibrado	Pesos: Social
	Orden de preferencia de las alternativas			
AHP	ASP+OH ASP ACT+CS	ACT INT ACT+CS	ASP+OH ASP ACT+CS	ASP ASP+OH ACT
ELECTRE	ASP ASP+OH	ACT ACT+CS INT	ASP ACT+CS	ASP
PROMETHEE original	ACT+CS ACT ACT+CS+OH			
PROMETHEE modificado	ACT+CS ASP+OH ACT+CS+OH	ACT+CS ACT INT	ACT+CS ACT+CS+OH ASP	ACT+CS ACT ASP

Si bien los diferentes métodos varían en el orden asignado a las preferencias, pueden señalarse algunas tendencias preliminares. Los pesos con sesgo en criterios económicos priorizan la alternativa de uso actual (ACT) con o sin conservación de suelos (CS) como preferida. No incluyen ninguna de las alternativas con ordenamiento hidrológico (OH), ni las silvopastoriles (ASP) entre las principales. Incluyen en este grupo a la alternativa de intensificación (INT) de manera sistemática.

Los pesos en criterios ambientales jerarquizan a las opciones de uso agrosilvopastoril (ASP), en especial integradas al ordenamiento hidrológico (OH) entre las principales. Todas las opciones incluyen a la conservación de suelos (CS), al ordenamiento (OH) y, en menor medida a ambas, entre las elegidas.

En igual sentido, al utilizar pesos equilibrados aparecen alternativas de uso agrosilvopastoril (ASP) y actual con conservación de suelos (ACT+CS) en todos los métodos multicriterio. La opción ACT+CS+OH aparece en PROMETHEE entre los principales cuando se otorga peso a lo ambiental, o cuando éstos son equilibrados.

Las alternativas agrosilvopastoriles (ASP) aparecen como elegidas al predominar criterios sociales, aunque con diferente prioridad según los métodos. La alternativa de uso actual (ACT) aparece en la mayoría de ellos, acompañada de forma consistente de conservación de suelos (CS).

No parece haber una definición clara acerca de la importancia relativa de las alternativas que incluyen conservación de suelos (CS) u ordenamiento hidrológico (OH), cuya elección implicaría instrumentos de política diferentes; CS implica promoción de la actividad conservacionista privada, y OH supone una fuerte intervención del Estado en obra pública, bioingeniería e hidráulica. La búsqueda de una combinación óptima entre políticas para CS y para OH requeriría la aplicación de métodos más refinados de análisis, al interior de estas alternativas, para poder ponderar su importancia relativa.

CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

Se considera que los resultados muestran una tendencia consistente en cuanto a la valoración de alternativas por parte de los distintos métodos. En términos descriptivos, los métodos indicarían que las condiciones de uso actual no son ambientalmente las más desfavorables. No obstante, cuando priman los criterios económicos los métodos muestran que las condiciones de uso actual están entre las opciones “elegidas”.

Los resultados son consistentes con las tendencias observadas de intensificación en el uso de las tierras en los últimos años, en respuesta a claros estímulos económicos de corto plazo, y reforzarían la necesidad de implementar políticas de estímulo/desestímulo, promoción y concienciación de los decisores para aplicar usos sustentables, conservación de suelos y ordenamiento hidrológico en la cuenca, dada la creciente gravedad de los problemas ambientales que tienen lugar en la región.

Estos resultados preliminares requieren de análisis de sensibilidad más profundos, exploración de otro tipo de métodos (probablemente multicriterio continuo), y de dar precisión a la serie de indicadores usados (en especial económicos y sociales). De esta forma se podría mejorar la capacidad de generación, análisis y, llegado el caso, de selección de alternativas de ordenamiento territorial en la cuenca.

La falta de participación de los decisores en el proceso de diseño, análisis y selección de alternativas es otro de las limitaciones del presente trabajo en relación con las condiciones reales de implementación de políticas en la cuenca.

En futuros análisis se debería ampliar el número de criterios, alternativas y servicios ecosistémicos a considerar, en vista de la fuerte interacción en el comportamiento (ambiental, social y económico) que implica cada nueva alternativa. A modo de ejemplo, algunas variables a incorporar serían: efectos de las alternativas sobre los caudales base de los cursos, efectos del uso agrosilvopastoril (ASP) sobre la hidrología superficial y subterránea de la cuenca, efectos sobre biodiversidad, definición de actuaciones en el sector serrano, e incluir y modelar la alternativa de ordenamiento hidrológico en base a grandes embalses multipropósito (retención, regulación, recreación, riego) en la porción alta y baja de la cuenca.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por: Programa "Bases para un modelo de gestión sustentable de las tierras del sur de Córdoba" financiado por la SECYT - Universidad Nacional de Río Cuarto y Proyecto Semilla "Elaboración de un modelo matemático para la selección de alternativas de ordenación integral de la cuenca La Colacha (Córdoba, Argentina)", Universidad Politécnica de Madrid-Universidad Nacional de Río Cuarto.

BIBLIOGRAFÍA

- Antoine, J., G. Fischer y M. Makowski. 1997. Multiple criteria land use analysis. *Applied Mathematics and Computation* 88:195-215.
- Antón, J.M., J.B. Grau y E. Sánchez. 2006. Compromise Programming Calibration for financial analysis of firms of a common sector of business, case study for a set of Spanish banks in 1995. *Applied Financial Economics*. UK.
- Abu-Taleb, M.F. y B. Mareschal. 1995. Water resources planning in the Middle-East: application of the PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research* 81:500-511.
- Agrell, P.J., A. Stam y G.W. Fischer. 2004. Interactive multiobjective agro-ecological land use planning: The Bungoma region in Kenya. *European Journal of Operational Research* 158:194-217.
- Barba-Romero, S. y J. Pomerol. 1997. Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. Colección de Economía Universidad de Alcalá. Pp. 420.
- Bolte, J.P., D.W. Hulse, S.V. Gregory y C. Smith. 2006. Modelling biocomplexity-actors, landscapes and alternative futures. *Environmental Modeling and Software* 22:570-579.
- Brans, J.P., Ph. Vincke y B. Mareschal. 1986. How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method. *European J. of Operational Research* 44(1):138-228.
- Cantero, J.J. y C. Bianco. 1986. Las plantas vasculares del suroeste de la Provincia de Córdoba. Parte III. Catalogo preliminar de las especies. *Rev. UNRC* 6:5-52.
- Cantero, A., M. Cantú, J. Cisneros, J. Cantero, M. Blarasin, et al. 1998. Las tierras y aguas del sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable. Universidad Nacional de Río Cuarto. Pp. 119.
- Cisneros, J.M., J.D. de Prada, A. Degioanni, A. Cantero Gutiérrez, H. Gil, et al. 2004. Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos. Argentina.
- Cisneros, J.M., G.A. Cantero, H.A. Gil, V.H. Becerra, M.A. Reynero, et al. 2005. Identificación de los focos activos de erosión hídrica lineal y programa de control de erosión en la cuenca media y alta del Arroyo Santa Catalina (arroyos La Barranquita, Cipión y La Colacha). Informe Final Protocolo Específico de Cooperación Dirección Provincial de Agua y Saneamiento (DIPAS) – UNRC/FAV. Pp. 20 y anexos (catálogo de prácticas y cartográfico).
- Cisneros, J.M., G.A. Cantero, A. Degioanni, A. Angeli, J.G. González, et al. 2008b. Uso del suelo, erosión y deterioro de caminos rurales: el caso de la cuenca Suco-Moldes-Mackenna (Córdoba). XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes (San Luis), 13-16 Mayo 2008. En Actas.

- Cisneros, J.M., A. Cantero, A. Degioanni, V.H. Becerra y M.A. Zubrzycki. 2008a. Producción, Uso y Manejo de las Tierras. Pp. 31-44 en: de Prada, J.D. y J. Penna (eds.). Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. Instituto de Economía y Sociología INTA.
- Cisneros, J.M., J.D. de Prada, A. Degioanni, A. Cantero Gutiérrez, H. Gil, et al. 2004. Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Argentina. Actas del Congreso. Trabajo completo en CD.
- Dabney, S.M., K.C. Mc Gregor, D.V. Wilson y R.F. Cullum. 2009. How management of grass hedges affects their erosion reduction potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:241-254.
- Degioanni, A., A. Camarasa Belmonte y F. Moreno Sanz. 2000. Bases Metodológicas para la Evaluación, Uso y Gestión Sostenible de los Recursos Agrarios. Aplicación a la cuenca Santa Catalina (Argentina). *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible*. Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá 2000:290-311.
- de Prada, J.D., T.S. Lee, A.R. Angeli, J.M. Cisneros y G.A. Cantero. 2008. Análisis multicriterio de la conservación de suelo: Aplicación a una cuenca representativa del centro Argentino. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica* 9:45-59. www.redibec.org/IVO/rev9_04.pdf (último acceso: 12/11/2010).
- de Prada, J.D., J. Boretto, M. Ferrando, A. García, J. Olmos, et al. 1994. Proyecto de conservación y ordenamiento de tierras General Deheza, Master of Art, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- Dorner, S., J. Shi y D. Swayne. 2007. Multi-objective modeling and support using a Bayesian network approximation to a non-point source pollution model. *Journal of Environmental Modeling and Software* 22:211-222.
- ESRI. 1999. Arcview 3.2. User manual.
- Geneletti, D. 2007. An approach based on spatial multicriteria analysis to map the nature conservation value of agricultural land. *Journal of Environmental Management* 83:228-235.
- Gil, H.A., J.D. de Prada, J. Hernández, C. Pereyra y A.R. Angeli. 2008. Análisis de la Percepción del Productor sobre la Problemática Ambiental. Pp. 57-73 en: de Prada, J.D. y J. Penna (eds.). Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. Instituto de Economía y Sociología INTA.
- Giupponi, C., J. Mysiak, A. Fassio y V. Cogan. 2004. MULINO-DSS: a computer tool for sustainable use of water resources at the catchment scale. *Mathematics and Computers in Simulation* 64:13-24.
- Giupponi, C. y P. Rosato. 2002. Multi-criteria analysis and decision-support for water management at the catchment scale: an application to diffuse pollution control in the Venice Lagoon. *Nota di lavoro* 31.2002. www.feem.it/getpage.aspx?id=977&sez=Publications&padre=73 (último acceso: 10/11/2010).
- Gómez Orea, D. 1999. Evaluación de Impacto Ambiental. Editorial Agrícola Española, Mundi Prensa. Pp. 701.
- Gómez-Limón, J. A, J. Berbel y M. Arriaza. 2003. Chapter 6. MCDM farm system analysis for public management of irrigated agriculture. Pp. 93-114 en: Weintraub, A., C. Romero, T. Bjorndal y R. Epstein (eds.). *Handbook on Operations Research in Natural Resources*, Springer.
- Goncalvez, J.M., L.S. Pereira, S.X. Fang y B. Dong. 2007. Modeling and multicriteria analysis of water saving scenarios for an irrigation district in upper Yellow River Basin. *Agricultural Water Management* 94:93-108.
- Grau, J.B., J.M. Antón, A.M. Tarquis y D. Andina. 2008. Election of water resources management entity using a multi-criteria decision (MCD) method in Salta province (Argentina), *Proceedings WMSCI 2008 vol. I*, Orlando, Florida, EE.UU. Pp. 30-35.
- Henig, M.I. y A. Weintraub. 2006. A dynamic objective-subjective structure for forest management focusing on environmental issues. *J. Multi-crit. Decis. Anal.* 14:55-65.
- Hill, M.J., R. Braaten, S.M. Veitch, B.G. Lees y S. Sharma. 2005. Multi-criteria decision analysis in spatial decision support: the ASSES analytical hierarchy process and the role of quantitative methods and spatially explicit analysis. *Journal of Environmental Modeling and Software* 20:955-976.
- Janssen, R. 2001. On the use of multi-criteria analysis in environmental impact assessment in The Netherlands. *J. Multi-crit. Decis. Anal.* 10:101-109.
- Janssen, R., H. Goosen, M.L. Verhoeven, J.T.A. Verhoeven, A.Q.A.Omtzigt, et al. 2005. Decision support for integrated wetland management. *Journal of Environmental Modeling and Software* 20:215-229.
- Jobbágy, E.G., M.D. Noretto, C.S. Santoni y G. Baldi. 2008. El desafío ec hidrológico de las transiciones entre sistemas leñosos y herbáceos en la llanura Chaco-Pampeana. *Ecología Austral* 18:305-322.
- Koo, B.K. y P.E. O'Connell. 2006. An integrated modeling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 2. A case study for a chalk catchment in England. *Science of the Total Environment* 358:1-20.
- Lakshminarayan, P.G., S.R. Johnson y A. Bouzaher. 1995. A multi-objective approach to integrating agricultural economic and environmental policies. *Journal of Environmental Management* 45:365-378.

- Lasage, R. 2007. A multi criteria analysis of water management strategies in Kitui, Kenya. Research paper 4 within the WatManSup project. Report W-07/14. Vrije Univesiteit Amsterdam.
- Llach, J., M. Harriague y E. O'Connor. 2004. La generación de empleo en las cadenas agroindustriales, documento de la Fundación Producir Conservando, Buenos Aires.
- Lomas, P.L., B. Martín, C. Louis, D. Montoya, C. Montes, et al. 2005. Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas. Serie Monografías N° 1. Publicaciones de la Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez.
- Macleod, C.J.A., D. Scholefield y P.M. Haygarth. 2007. Integration for sustainable catchment management. *Science of the Total Environment* 373:591-602.
- Manuel-Navarrete, D., G. Gallopin, M. Blanco, M. Díaz-Zorita, D. Ferraro, et al. 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad brechas de conocimiento e integración de políticas. CEPAL. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. Santiago de Chile.
- Marttunen, M. y M. Suomalainen. 2005. Participatory and multiobjective development of water course regulation-creation of regulation alternatives from stakeholders preferences. *J. Multi-crit. Decis. Anal.* 13:24-49.
- Mendoza, G. A y H. Martins. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resources management. A critical review of methods and new modeling paradigms. *Forest Ecology and Management* 230:1-22.
- Morgan, R.P.C. y R.J. Rickson. 1995. Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach. www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TC8-4C9BVRJ-2&_user=10&coverDate=07/31/1995&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_sort=d&docanchor=&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=4d98126c4f551ae61a441c74721b785c&searchtype=a (último acceso: 10/11/2010). *E&FN Spon.* Pp. 274.
- Munafo, M., G. Cecchi, F. Baiocco y L. Mancini. 2005. River pollution from non-point sources: a new simplified method of assessment. *Journal of Environmental Management* 77:93-98.
- Munda, G., M. Parruccini y G. Rossi. 1998. Multicriteria evaluation methods in renewable resource management: integrated water management under drought conditions. Pp. 79-94 en: Beinart, E. y P. Nijkamp (eds.). *Multicriteria analysis for land use management*. Kluwer Academic Publishers. Pp. 369.
- Muñoz-Carpena, R. y J.E. Parsons. 2005. VFSMOD-W Vegetative filter strips hydrology and sediment transport modeling system. Model documentation and user manual. *Ag. & Bio. Eng., U. of Florida and Bio & Ag. Engineering-NC State University*. abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/.../vfsmod/VFSMOD_UsersManual_v2d3.pdf (último acceso: 10/11/2010).
- Mysiak, J., C. Giupponi y P. Rosatto. 2005. Towards the development of a decision support system for water resource management. *Environmental Modeling and Software* 20:203-214.
- Romero, C. 1993. Teoría de la Decisión Multicriterio. Conceptos técnicas y aplicaciones. Madrid, Alianza Editorial. España.
- Roy, B. 1985. *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*. Economica, Paris.
- Saaty, T. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, Mac Graw-Hill, New York. EE.UU.
- Schwab, G.O., D.D. Fangmeier, W.J. Elliot y R.K. Frevert. 1993. *Soil and Water Conservation Engineering*. John Willey & Sons, Inc., 4th edition. New York, NY. EE.UU.
- Smakhtin, V.U. 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240:147-186.
- Servicio de Agrometeorología UNRC. 2004. Estadísticas climáticas.
- Sparovek, G. y E. Schnug. 2001. Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1479-1486.
- Srdjevic, B. 2007. Linking analytic hierarchy process and social choice methods to support group decision-making in water management. *Decision Support Systems* 42:2261-2273.
- USACE (US Army Corp of Engineers). 2008. HEC-HMS Hydrologic model System, V 3.2. Abril 2008. www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/ (último acceso: 15/11/2010).
- USDA-ARS. 2008. Science Documentation revised universal soil loss equation Version 2. fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm (último acceso: 12/11/2010).
- Verstraeten, G. y J. Poesen. 2002. Regional scale variability in sediment and nutrient delivery from small agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* 31:870-879.
- Zerkland, S. y H. Boughanmi. 2007. Chapter 5. Modeling the interactions between agriculture and the environment. Pp. 69-92 en: Weintraub, A., C. Romero, T. Bjorndal y R. Epstein (eds.). *Handbook on Operations Research in Natural Resources*, Springer.