

los
ren-
ques
da
de-
de
sa-
ón
ica
de-
ras

er-
li-
os
ez
ás
a
e
il
ez
o
h
p

EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES PARA UN USO Y GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA EN UNA CUENCA DEL CENTRO-SUR DE CÓRDOBA (ARGENTINA)

POR

DEGIOANNI, A., CAMARASA BELMONTE, A. Y MORENO SANZ, F.

Introducción

La producción agraria a nivel mundial tiene dos misiones básicas: abastecer de alimentos a la población y promover el desarrollo económico y social. Estas funciones revisten especial importancia en aquellas regiones cuyo desarrollo está fuertemente vinculado con la producción agraria. Sin embargo, es precisamente en estas zonas, donde una gestión sostenible del recurso presenta mayores problemas, por varios motivos, entre los que destacan: la disminución en la disponibilidad de tierras aptas para cultivos, el incremento de la degradación de las tierras en producción y las dificultades para el desarrollo y adopción de nuevas tecnologías de producción.

FAO (1995) propone una nueva concepción de la producción agraria como *la gestión optimizada de los recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de manera que asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras*. Esta filosofía lleva implícito el concepto de eficacia productiva, que consiste en obtener el máximo beneficio físico

Degioanni, A.; Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto (Argentina).

Camarasa Belmonte, A. y Moreno Sanz, F.; Departamento de Geografía. Universidad de Alcalá de Henares.

Estudios Geográficos, LXII, 243, 2001

y económico de los recursos naturales, manteniendo la capacidad productiva de los mismos y evitando su degradación para asegurar la sostenibilidad de la actividad en el futuro y contribuir a la estabilidad y mejoramiento de la calidad de vida de la población de una región (Cantero *et al.*, 1999). En consecuencia, las tareas de evaluación, uso y gestión de los recursos agrarios, que permitan alcanzar los principios de sostenibilidad y eficacia productiva, resultan fundamentales.

Actualmente, los sistemas de evaluación de tierras están evolucionando hacia métodos que permitan una mejor predicción del comportamiento productivo de los recursos agrarios ante el uso y gestión que el hombre hace de los mismos (Nakama, 1997). En este sentido, la evaluación de los recursos naturales para una gestión sostenible de la producción agraria ha emergido como una necesidad prioritaria, con el objetivo de asegurar la productividad de las tierras con el menor impacto adverso sobre el ambiente. Partiendo de que la *sostenibilidad* es una medida de la probabilidad de que un uso adecuado de la tierra perdure a través del tiempo, la gestión sostenible de los recursos naturales ha sido definida como la combinación de tecnologías, políticas y actividades centrada en la integración de principios socioeconómicos y ambientales tendentes a lograr el mantenimiento o mejora de la producción y servicios, la reducción de los riesgos de producción, la protección del potencial productivo de los recursos naturales, la prevención de su degradación, la viabilidad económica y la aceptación social (Dumansky *et al.*, 1991; Smith y Dumansky, 1994).

En este trabajo se propone una metodología para evaluar el potencial productivo de los recursos agrarios de la cuenca Santa Catalina, localizada en el Centro - Sur de la provincia de Córdoba (Argentina), con el fin de optimizar el uso y gestión de dichos recursos, bajo los principios de máxima eficacia ecológica y sostenibilidad. Para ello, tras dividir la cuenca en unidades espaciales homogéneas, se ha procedido a evaluar el potencial productivo agrario de cada una, en función del potencial ecológico de los recursos naturales, de la tecnología de producción disponible y de las características socioeconómicas del entorno productivo. Para cada unidad se han seleccionado varias opciones de uso, además de la actualmente vigente. Así mismo, se ha estimado la degradación ambiental asociada a cada una de ellas, con objeto de mantener el principio de sostenibilidad. Por último, se ha procedido a evaluar las diferentes alternativas de uso seleccionadas para cada unidad, con el ob-

jeto de establecer cuál de ellas resulta más eficaz. Dicho de otro modo, la metodología propuesta en este trabajo permite establecer, para cada unidad territorial, el sistema productivo que resulta más eficaz desde el punto de vista de la utilización del potencial ecológico y con el menor coste ambiental posible. Para llevar a cabo las tareas de representación cartográfica y análisis espaciales, los SIGs se han demostrado una eficaz herramienta de trabajo.

Bases conceptuales para una producción agraria sostenible

Se puede concebir la producción agraria como el resultado físico-económico obtenido a través del uso y gestión de los recursos agrarios (clima, suelos, genotipos vegetales y animales mejorados y tecnologías) para un determinado mercado y sociedad. Conceptualmente, el sistema productivo agrario está integrado por cuatro funciones básicas (Figura 1) que son la *Función de Producción Agraria*, la *Función de Degradación de los Recursos Naturales*, la *Función de Mejoramiento del Sistema Productivo* y la *Función Económica* (Cantero y Cantú, 1985).

La *Función de Producción Agraria* es la respuesta de los recursos naturales ante la aplicación de una determinada tecnología para la obtención de una determinada producción vegetal y animal (maderas, proteínas, harinas, aceites y fibras vegetales y proteínas animales y derivados). Dicha respuesta está definida, en primera instancia, por la calidad de los recursos clima, suelo y vegetación, los cuales establecen

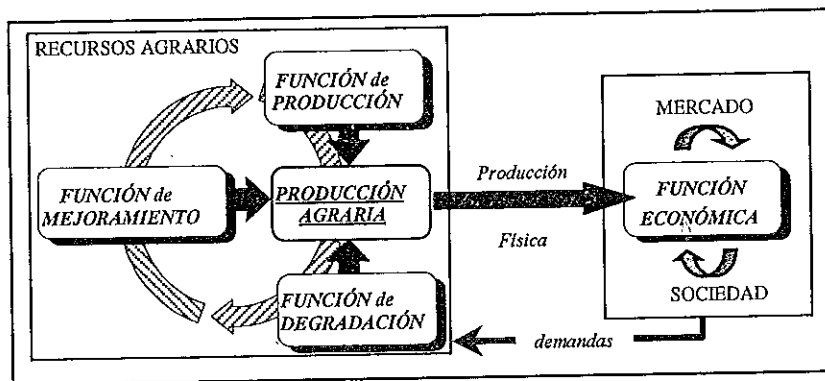


FIG. 1.—Esquema conceptual de la producción agraria.

una determinada *producción potencial*. Lograr que tales recursos se expresen en su máximo potencial ecológico dependerá de los medios tecnológicos disponibles y de la eficacia en la gestión de las tecnologías. En otros términos, los recursos naturales presentan una determinada «oferta ambiental» y el hombre, a través del conocimiento y la tecnología que dispone, tiene la posibilidad de hacer rendir al máximo lo que la naturaleza le brinda.

La *Función de Degradación de los Recursos Naturales* es un proceso que implica la disminución de la capacidad de producción de los recursos naturales o la extinción de los mismos. Dicha función es inherente a la *función de producción* y es una consecuencia del disturbio que provoca en el medio natural el inadecuado uso de las tecnologías de producción. Pueden ser funciones de degradación, entre otras, la erosión hídrica y eólica, las inundaciones, la salinización, la alcalinización o acidificación de los suelos, el agotamiento de nutrientes, las compactaciones, la contaminación de suelos y aguas y la pérdida de biodiversidad (FAO, 1980).

La *Función de Mejoramiento del Sistema Productivo* es la aplicación de un conjunto de acciones técnicas tendentes a revertir la degradación causada por la *función de producción* o para superar las limitaciones de productividad de los recursos, en la medida que se cuente con la tecnología apropiada y que sea social y económicamente viable de instrumentar. Esta función realimenta las decisiones sobre el régimen de uso y gestión de los recursos naturales para asegurar la sostenibilidad de la actividad en el tiempo. Algunas funciones de mejoramiento son: el control de la erosión, la regulación del régimen hidrológico, la creación de genotipos vegetales y animales, la protección de la flora y fauna silvestre, el mejoramiento de pastizales naturales, la regulación del balance de nutrientes del suelo, la rehabilitación de suelos hidrohalmórficos, etcétera.

La *Función Económica* es la valoración del resultado de la *función de producción* y permite analizar la escasez relativa de los insumos y productos en el proceso de producción para una determinada economía y sociedad. Los ingresos se perciben por la comercialización de los productos y los egresos (costos) se producen por el pago a los factores de producción involucrados. Son factores de la función económica el ingreso bruto, el margen bruto, el ingreso neto y la rentabilidad global de la empresa.

La base de la producción agraria sostenible reside en la articulación espacio-temporal de las funciones de *producción, degradación y mejoramiento*, con objeto de que cada unidad del territorio produzca su máximo potencial posible, con el mínimo deterioro ambiental.

Para seleccionar alternativas productivas bajo esta concepción teórica, es preciso espacializar el territorio en unidades ecológicamente homogéneas (FAO, 1976), determinar el tipo de uso general sobre la base de las limitaciones permanentes de los recursos y cuantificar las respectivas funciones de la producción, ya sea en términos energéticos, físicos, económicos o una combinación de ellos, con objeto de establecer parámetros comparativos que permitan seleccionar la actividad más adecuada. La decisión final sobre la elección de una alternativa preferente, puede apoyarse en la *Evaluación Multicriterio Discreta* (Barba Romero, S. y Pomerol, J., 1997).

Metodología

El esquema metodológico adoptado en este trabajo, se articula en las siguientes etapas: *selección del área de estudio, definición de unidades ecológicamente homogéneas, modelización de las funciones de producción y degradación y selección de alternativas productivas*. En la Figura 2 se presenta una síntesis del proceso metodológico.

Selección del área de estudio.—Se seleccionó como área de estudio la cuenca del arroyo Santa Catalina, localizado entre los paralelos 32° 53' 36" y 33° 11' 54" de latitud sur y entre los meridianos 64° 28' 40" y 64° 58' 36" de longitud oeste, en el Departamento de Río Cuarto, provincia de Córdoba (Argentina). Se trata de una zona representativa de este sector que abarca una superficie de 823 km² (Figura 3).

El área seleccionada constituye un sistema hidrogeomorfológico cuyas características físicas y productivas son representativas de dos áreas ecológicamente homogéneas de la región centro, sur de Córdoba: las llanuras bien drenadas, con una superficie de 27.760 km² y las sierras pie de monte, con una superficie de 3.800 km². Se caracteriza además por presentar el principal proceso regional de deterioro de los recursos naturales, la erosión hídrica (Cantero *et al.* 1986), y por poseer formaciones geomorfológicas típicas de otros ambientes regionales: áreas de

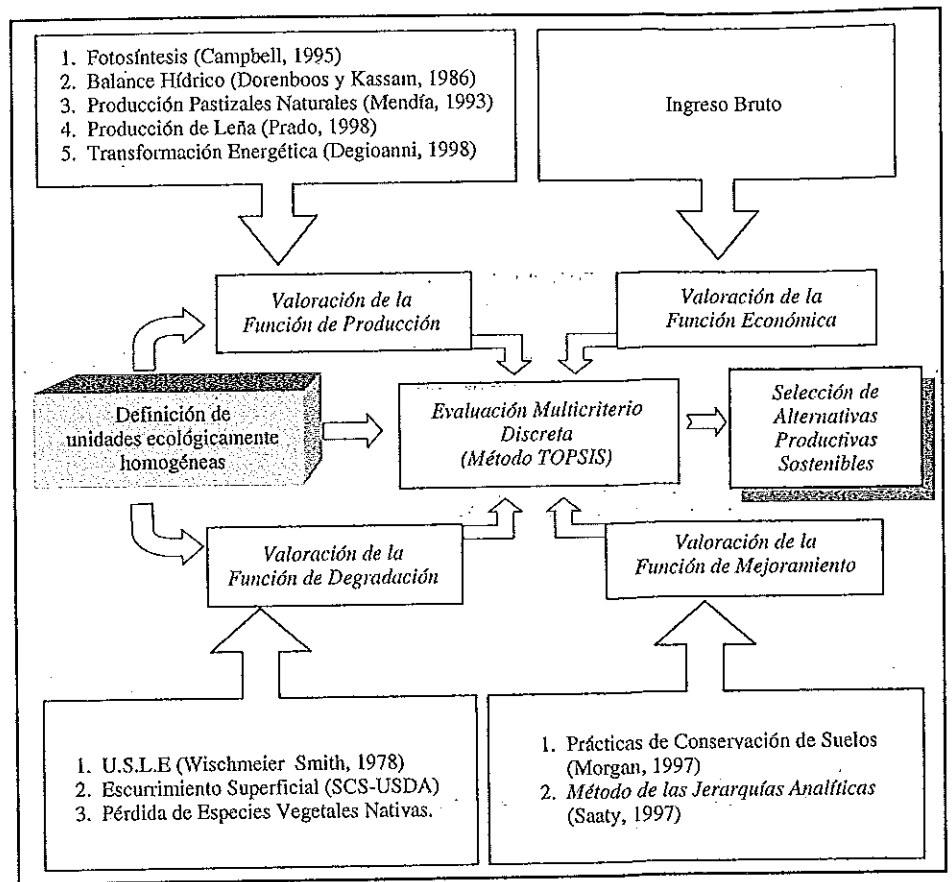


FIG. 2.—Esquema metodológico.

primidas y médanos. El clima predominante es de tipo subhúmedo con estación invernal seca y mesotermal (Cantero *et al.*, 1986). De acuerdo a la clasificación de Köppen corresponde al tipo BSk (Clima semiárido o de estepa, con precipitaciones en verano, y temperaturas medias anuales menores a 18 °C).

Por lo que respecta a la estructura social de la cuenca es netamente *rural* ya que sólo existen pequeñas poblaciones que no superan los 15 habitantes. En cuanto a la estructura económica del sistema productivo, en las sierras predominan los grandes establecimientos (superficie promedio de 3.500 ha), siendo la principal actividad productiva la ganadería

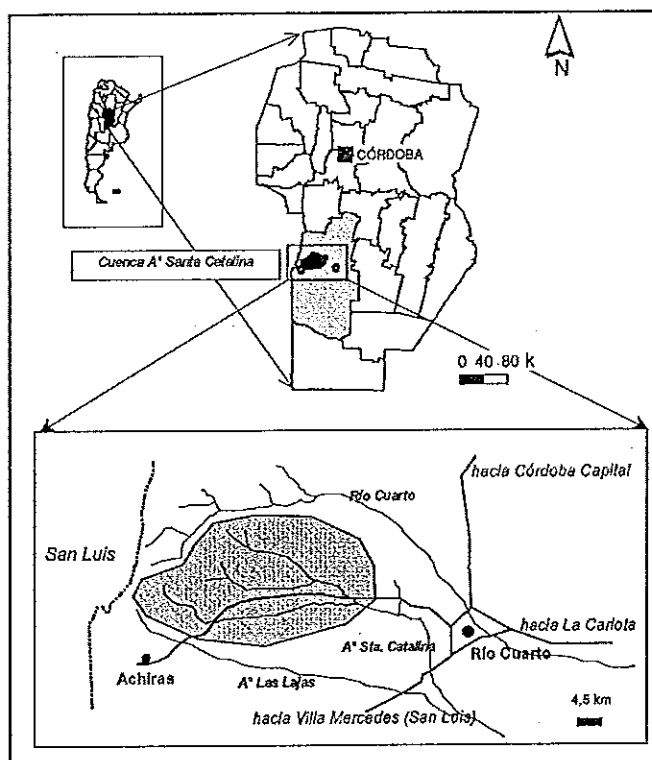


FIG. 3.—Localización de la cuenca A° Santa Catalina.

bovina de cría (producción de terneros) sobre los pastos naturales (ADESUR, 1996). En la llanura, los establecimientos son medianos a pequeños (superficie promedio 241 ha), con predominio de la producción mixta: ganadería y agricultura, siendo los tipos de producción más importantes el ganado bovino de carne, el ganado porcino y el maíz.

Uno de los principales problemas que atañen a la producción agraria es el bajo rendimiento alcanzado en todos los rubros productivos. Esto se debe a una inadecuada organización espacio-temporal de los tipos de producción y a una gestión técnica ineficaz (Freyre *et al.*, 1994). A esta situación hay que sumar un severo proceso de erosión hídrica. Entre los factores desencadenantes destacan: lluvias intensas en primavera-verano, con intensidades de más de 60 mm/h (Cantero *et al.*, 1986), relieves ondulados, suelos de textura franca arenosa muy fina y

baja estabilidad de agregados, suelos susceptibles a compactaciones superficiales y subsuperficiales y alta proporción de cultivos anuales que implican un mayor desmenuzamiento del suelo por labranzas y desprotección de la superficie ante el impacto de la gota de lluvia. Tampoco se utilizan técnicas de control de la erosión hídrica, todo lo cual conduce a una permanente pérdida de agua y suelos.

Definición de unidades ecológicamente homogéneas.—Para determinar las unidades ecológicamente homogéneas, se procedió a la espacialización de la cuenca del arroyo Santa Catalina a partir de la geomorfología, la topografía y los suelos. La información cartográfica de base utilizada fue la Zonificación y Descripción de las Tierras del Depto. Río Cuarto, escala 1:500.000 (Cantero *et al.*, 1986); Principales Asociaciones de Suelos de la Cuenca del Sistema Arroyo Santa Catalina-del Gato-Laguna del Tigre Muerto, escala 1:250.000 (Cantero *et al.*, 1981), hojas topográficas La Barranquita y Cuatro Vientos, escala 1:50.000 (IGM, 1968) y una imagen digital *Landsat 5 TM*.

El proceso para establecer las unidades homogéneas se basó en la división de la cuenca en grandes unidades, que, a su vez, se fueron subdividiendo progresivamente en unidades menores. El primer criterio de compartimentación del territorio es de base geomorfológica y consiste en dividir la cuenca en tres grandes unidades: (1) sector serrano (Sierras Comechingones en la zona occidental); (2) sector de pie de monte, en el contacto con la siguiente unidad (Cantero *et al.*, 1986); y (3) sector de llanura, correspondiente a la Llanura Periserrana Distal (INTA-MAGyRR, 1994), en la parte más oriental de la cuenca (Figura 4).

El área serrana está compuesta por rocas metamórficas e intrusiones graníticas, con desarrollo de suelos profundos sólo en los valles. En este sector de la cuenca se determinaron tres unidades homogéneas según la clasificación del gradiente de pendiente propuesta por Cantero *et al.* (1996): *valles* (0%-6%), *laderas suaves* (6,1%-15%) y *laderas moderadas* (15,1%-25%) (Figura 4).

El pie de monte se caracteriza por poseer sedimentos gruesos de origen aluvial y coluvial e intercalaciones eólicas de sedimentos arenosos y de relieve fuertemente ondulado. Este sector se espacializó en dos unidades homogéneas según el gradiente de pendiente: *relieve normal* (gradientes menores al 6%) y *relieve pronunciado* (6,1%-13%) (Figura 4). Las unidades homogéneas determinadas por la topografía se obtuvieron

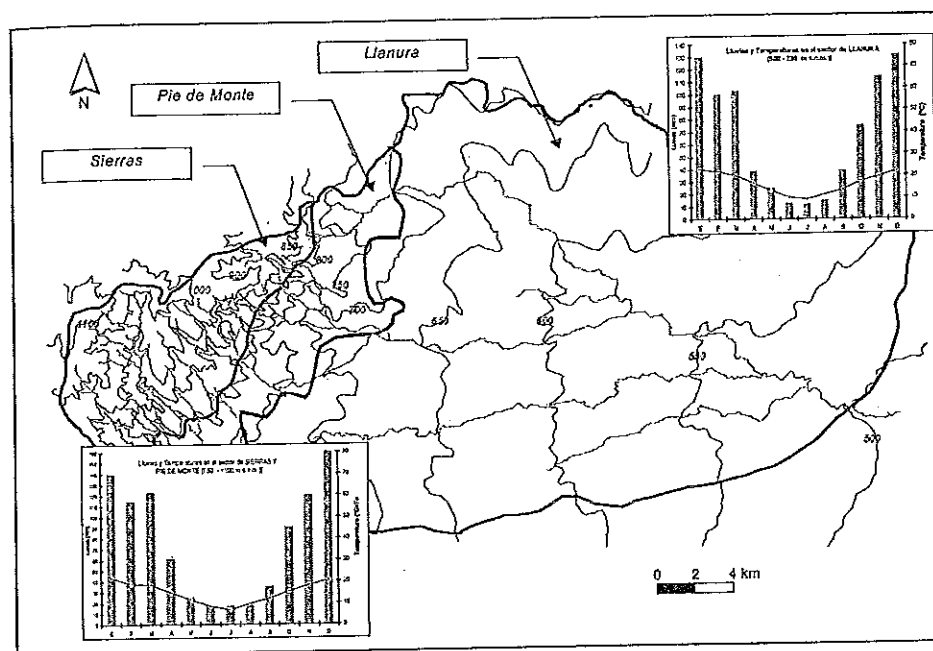


FIG. 4.—Características geomorfológicas y climáticas de la cuenca Santa Catalina.

con el software *Idrisi* (Eastman, 1995) mediante el desarrollo y clasificación del modelo digital de pendientes.

El área de llanura está desarrollada sobre una cubierta loésica espesa, de granulometría arenosa fina y muy fina, con relieves fuertemente ondulados a ondulados. Los suelos son Haplustoles énticos, Hapludoles típicos y Argiudoles típicos. Este sector fue espacializado en nueve unidades: 6 de aptitud de uso agrícola, delimitadas como *Asociaciones de Suelos* (Cantero *et al.*, 1981 y Cantero *et al.*, 1986) y 4 unidades no aptas para el cultivo, delimitadas por sus características geomorfológicas, mediante análisis visual de la imagen de satélite: *Médanos*, *Barrancos*, *Áreas Deprimidas* y *Afloramientos Graníticos* (Figura 5).

Se espacializaron en total 15 unidades ecológicamente homogéneas: 3 en el ambiente de sierra, 2 en el ambiente de pie de monte y 10 en el sector de llanura. Actualmente, estas unidades están siendo explotadas con usos poco diferenciados, como lo muestra el mapa de la Figura 5. En los ambientes de sierra y pie de monte predomina el uso ganadero bovino, mientras que el ambiente de llanura presenta mayor diversidad de

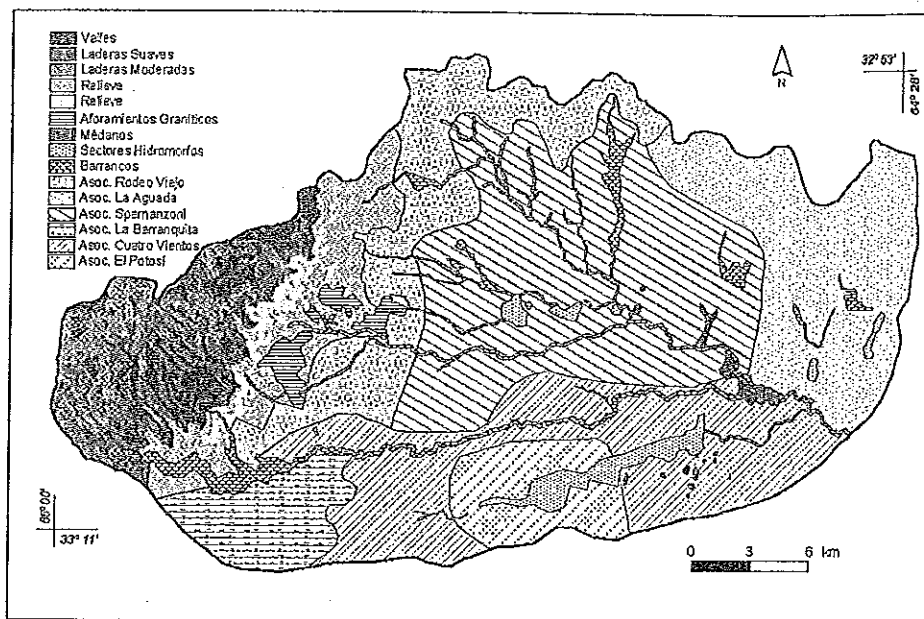


FIG. 5.—Mapa de Unidades Homogéneas de la cuenca del Arroyo Santa Catalina.

usos, pero con neto predominio de la ganadería bovina y agricultura base maíz (aunque, recientemente, se están generalizando los cultivos de soja y maní).

Modelización de las funciones para una producción agraria sostenible.—La primera fase de la metodología consiste en evaluar el potencial productivo (*función de producción*) de las unidades territoriales y estimar la susceptibilidad a la degradación ambiental (*función de deterioro*) asociada con la actividad productiva. Como toda actividad productiva genera un deterioro de los recursos naturales, es necesario además, definir soluciones técnicas para asegurar la sostenibilidad de la actividad en el tiempo (*función de mejoramiento*). Por último, como la producción tiene como destino un mercado es menester estimar su valor en términos monetarios (*función económica*) (Figura 2).

a) *La función de producción agraria:* esta función se compone de dos pasos: conocer qué se puede producir y estimar cuánto se puede producir, en función de los recursos disponibles.

En primer lugar se identificaron las especies vegetales de interés comercial que no tuviesen limitaciones climáticas y edáficas para la zona de estudio y por consiguiente fuese posible su cultivo. Para ello se utilizó el programa Ecocrop1 (FAO, 1996) que permite seleccionar sobre un total de 1720 especies aquellas que son capaces de vegetar y reproducirse bajo determinadas condiciones climáticas (heliofanía, temperatura y lluvias) y edáficas (profundidad, textura, drenaje y pH). Introduciendo los parámetros requeridos por el programa para las diferentes unidades territoriales delimitadas se estableció como marco teórico un total de 285 cultivos posibles para los suelos de aptitud agrícola y 180 cultivos para los suelos de aptitud no agrícola.

Establecidos los tipos de especies vegetales factibles de cultivar, el paso siguiente consiste en estimar su producción biológica a partir de un modelo matemático que relacione las variables físico-biológicas y el crecimiento y desarrollo vegetal. Dichas variables, en orden jerárquico, son: *la genética vegetal, la radiación solar, la temperatura, el balance hídrico y la disponibilidad de nutrientes* (FAO, 1981). Esta jerarquía explica que la primera limitación a la capacidad productiva de un genotipo la establece la radiación solar y la temperatura de una región. Una segunda limitación a la producción máxima posible queda determinada por la disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo y, por último, la disponibilidad de nutrientes establece un tercer nivel de definición del rendimiento biológico.

En este trabajo se utilizaron diferentes modelos matemáticos para estimar la producción biológica en función del tipo de unidad territorial, disponibilidad de datos y tipo de producto: cultivos agrícolas, cultivos forrajeros, maderas o productos animales.

El proceso de cálculo de la biomasa vegetal se inicia con la modelización del proceso de fotosíntesis (De Witz, 1965). Campbell (1995) propone un modelo para la fotosíntesis en su máxima tasa diaria como dependiente de la temperatura de la hoja y la densidad de flujo de la radiación fotosintéticamente activa mediante la siguiente formulación matemática:

$$P_n = 0,75 \cdot \left(\frac{P_{mt} \cdot G_r}{1 + \frac{K_l}{PAR \cdot K}} \right) + 2,2 \cdot LAI$$

siendo:

- Pn*: tasa de fotosíntesis neta ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- Pmlt*: máxima tasa de fotosíntesis de la especie ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- GT*: factor de temperatura de la hoja (adimensional)
- Kl*: factor de conversión de unidades de luz = 100 ($W\ m^{-2}$)
- PAR*: radiación fotosintéticamente activa ($W\ m^{-2}$)
- K*: fracción de intercepción (adimensional)
- LAI*: índice de área foliar.

La fotosíntesis neta diaria durante el ciclo vegetativo del vegetal define el volumen total de biomasa. Pero como el producto cosechable es sólo una fracción de la biomasa total (Índice de Cosecha), para calcular la producción potencial de materia seca cosechable se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y = \sum_N^I Pn \cdot IC$$

siendo:

- Y*: materia seca cosechable ($g\ m^{-2}$)
- Pn*: fotosíntesis neta ($g\ m^{-2}\ d^{-1}$)
- N*: período vegetativo del cultivo (días)
- IC*: índice de cosecha.

Cuantificada la producción de materia seca cosechable regulada por la genética de la especie, la radiación solar y la temperatura, la tercera variable que regula la función de producción es el balance hídrico (de Witz, 1958; Tanner y Sinclair, 1983). En este trabajo se utiliza el modelo de Doorenbos y Kassam (1986). La base teórica de este modelo reside en considerar que un cultivo no sufrirá reducción del rendimiento si sus necesidades de evapotranspiración a lo largo de su ciclo son plenamente satisfechas. Como esta situación frecuentemente es alterada por el factor suelo, factor cultivo o simplemente por la falta de agua, se ha establecido una relación entre la evapotranspiración máxima del cultivo (*ETc*) y la evapotranspiración potencial o de referencia (*ETr*) mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = k_c * Etr$$

El coeficiente empírico del cultivo (k_c) representa la relación entre la ETc y ETr cuando dicho cultivo crece y se desarrolla bajo condiciones óptimas de manejo tecnológico, libre de enfermedades y plagas y sin limitantes nutritivas. El efecto del suministro de agua sobre el rendimiento se cuantifica mediante el factor k_y , que relaciona la disminución del rendimiento relativo con el déficit de evapotranspiración relativa. Un déficit de agua puede tener lugar durante todo el ciclo biológico o en alguna de las etapas del mismo, situación que ha sido contemplada en la determinación del coeficiente k_y . La ecuación matemática que relaciona la reducción del rendimiento por posibles déficit hídricos es la siguiente:

$$1 - \left(\frac{Y}{Ym} \right) = k_y \left(1 - \frac{ETc}{ETr} \right)$$

siendo:

Y : producción de materia seca cosechable

Ym : producción máxima sin limitación de agua .

k_y : factor del efecto sobre el rendimiento

ETr : evapotranspiración potencial o de referencia

ETc : evapotranspiración máxima del cultivo.

El cálculo de la función de producción con esta metodología ha sido adoptado por FAO (1978), Dumanski y Stewart (1983) y Mingkui *et al.* (1995).

La siguiente limitación de la producción potencial es la disponibilidad de nutrientes. Según Bricchi *et al.* (1992), Cantero *et al.* (1986) y Cholaky *et al.* (1986) los suelos de aptitud agrícola de la cuenca no presentan limitaciones importantes para nutrientes vinculados a la fase mineral. En cuanto a los nutrientes vinculados a la fase orgánica, la respuesta a fertilizantes nitrogenados y fosfatados depende, en primera instancia, de la disponibilidad de agua (Cantero *et al.*, 1985; Castillo *et al.*, 1997) y si bien, en la mayoría de los casos existen respuestas a la fertilización, no siempre las diferencias son estadísticamente significativas o económicamente rentables (Cholaky *et al.*, 1986; Cantero *et al.*, 1985). En definitiva, se asume que no existen limitaciones nutritivas para los cultivos o que la misma puede superarse mediante la fertilización.

Para el cálculo de la *función de producción* para pastizales naturales se utilizó el modelo empírico de Mendía *et al.* (1993), aplicado por González *et al.* (1997) en los ambientes serranos de Córdoba.

$$PP = PPP \times fE \times fU \times fF$$

siendo:

PP: producción (kg/ha año)

PPP: productividad potencial primaria (calculada a partir del modelo de producción bruta de materia seca según radiación global recibida, período de crecimiento según temperatura y disponibilidad de humedad edáfica y eficacia energética de la comunidad herbácea)

fE: factor edáfico (empírico)

fU: factor utilización (empírico)

fF: factor forrajero (empírico)

Para calcular la *función de producción* de madera se utilizó la información generada mediante medidas directas en bosques implantados por Plevich *et al.* (1997) y el modelo propuesto por Prado *et al.* (1988) para estimar la producción de leña en bosques nativos, cuya formulación es la siguiente:

$$L = \left[(0,04 \cdot DB^2 \cdot NR \cdot HMF) - 0,086 \right] \cdot Pl$$

siendo:

L: producción de leña (kg/ha)

DB: diámetro basal medio (m)

NR: número de ramas mayores de 3 cm

HMF: altura máxima de las plantas (m)

Pl: número de plantas por hectárea.

Por lo que respecta a la función de producción animal fue calculada mediante el modelo teórico de conversión de la energía propuesto por Degioanni (1998). Los productos animales (carne, leche, huevos y lana) son el resultado de la transformación biológica de la energía solar acumulada en los tejidos vegetales, en energía acumulada en dichos productos. Conociendo la cantidad de alimento ofrecido, la calidad del mismo medida como la energía metabólica contenida por cada kg de ali-

mento, y la demanda diaria de la energía metabólica para fabricar un kg de producto animal, es posible modelizar la función de producción potencial con la siguiente ecuación:

$$Pl = \frac{A \cdot Ec \cdot EM}{Em}$$

siendo:

Pa: producto animal comercial (kg/ha)

A: alimento ofrecido (kg/ha)

Ec: eficacia de cosecha del alimento

EM: energía metabólica del alimento (Mcal/kg)

Em: energía metabólica diaria para hacer 1 kg de producto animal (Mcal)

b) La función de degradación de los recursos naturales debe intentar recoger aquellos procesos de deterioro ambiental que son significativos en la zona de estudio, en función, por una parte, de las características físicas de la misma y, por otra, de los usos a los que está sometida.

La diversidad de ambientes que presenta el Arroyo de Santa Catalina obliga a contemplar al menos dos funciones diferentes de degradación: una para las unidades de llanura y otra para las de sierra y pie de monte.

El proceso dominante en la llanura es la pérdida de suelo por erosión superficial del suelo y el modelo utilizado es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos *U.S.L.E* (Wischmeier y Smith, 1978). En cuanto a la sierra y el pie de monte, el escurrimiento superficial y la desaparición de especies vegetales nativas (pérdida de biodiversidad) son los principales procesos de degradación (Cantero *et al.*, 1996). Para estas unidades se seleccionaron como funciones de degradación el cálculo del escurrimiento superficial, mediante el modelo Número de Curva (*SCS USDA*), y la pérdida potencial de especies vegetales nativas.

c) La función de mejoramiento del sistema productivo significa la adopción de técnicas para controlar la función de degradación. Destacan aquí las técnicas de control de la erosión hídrica en las unidades homogéneas con aptitud agrícola, para mantener una pérdida tolerable de suelo, establecida en 15 t/ha año (Hudson, 1981; Schertz, 1983). Para las unidades de sierra y pie de monte, esta función se basa en otorgar mayor peso en la decisión de las alternativas productivas que

controlan el escurrimiento superficial y mantienen la biodiversidad vegetal nativa.

d) La *función económica* que se ha utilizado contempla el *Ingreso Bruto Potencial* que resulta de multiplicar el precio del producto a moneda constante por el rendimiento potencial de cada tipo de producción.

Selección de alternativas productivas.—Una vez definidas las *funciones de la producción agraria y de degradación ambiental*, se procedió a seleccionar y evaluar diferentes alternativas productivas para cada unidad territorial y decidir cuál de ellas se adecua más a los criterios de sostenibilidad anteriormente mencionados. Se concibe como *alternativa productiva* la obtención y distribución espacial de uno o más productos agrarios durante un año calendario en el ámbito territorial de una empresa agraria instalada en la cuenca.

El método de selección de alternativas productivas utilizado es la *Evaluación Multicriterio Discreta (EMC)*. Consiste en un conjunto de técnicas orientadas a asistir la toma de decisiones con el objetivo de analizar un número de alternativas de elección bajo la luz de múltiples criterios y prioridades en conflicto (Voogd, 1983). Si el número de alternativas es muy amplio, una estrategia reductora del conjunto es definir condiciones para una determinada actividad (Barredo Cano, 1996).

El procedimiento general de la EMC consiste en una serie de pasos metodológicos que se inicia con la definición de un objetivo a alcanzar por el decisor, establecer un número finito de alternativas para evaluar, formular, valorar y asignar pesos relativos a los criterios de evaluación y, por último, adoptar una regla de decisión que permita definir el nivel de preferencia que ha obtenido cada alternativa en una matriz de decisión.

En este trabajo, la selección de alternativas productivas mediante la EMC se realizó para las unidades territoriales agrupadas en dos categorías: unidades cuyos suelos son de aptitud agrícola (sector de llanura) y unidades cuyos suelos son de aptitud no agrícola (sector de sierras y pie de monte).

El objetivo de la EMC definido para las unidades de aptitud agrícolas es la selección de alternativas productivas que permitan lograr la mayor producción económica con un nivel de deterioro reversible de los recursos naturales, asegurando la sostenibilidad de la actividad en el

tiempo. Para las unidades de aptitud no agrícola se formuló como objetivo priorizar la conservación de los recursos naturales.

Definidos los objetivos perseguidos por el decisor, el segundo paso es establecer un número reducido de alternativas a evaluar ya que el número de alternativas posibles es muy amplio. A tal efecto, se formularon las siguientes condiciones:

- Preseleccionar tipos de producciones agrarias predominantes en la cuenca o en la región.
- Que los tipos de producciones que componen las alternativas sean factibles de adoptar con la tecnología disponible por los productores de la cuenca.
- Que sea posible cuantificar la producción potencial y el impacto sobre la degradación de alguno de los recursos naturales (suelo, vegetación nativa).
- Que los productos obtenidos sean económicamente viables en las actuales condiciones del mercado.

El establecimiento de estas condiciones permitió seleccionar 6 alternativas productivas ganaderas agrícolas para las unidades de aptitud agrícolas y 3 alternativas (dos ganaderas y una forestal) para las unidades de aptitud no agrícola.

Establecidas las alternativas productivas, se definieron como criterios de evaluación las *funciones de producción agraria*: a) la *función de producción*, cuya valoración indica producción física en Mcal/ha para todas las unidades; b) la *función económica*, que expresa un valor monetario del producto en \$/ha; c) la *función de deterioro*, que valora la pérdida de suelos para las unidades de aptitud agrícola mediante la USLE y el escurrimiento medio anual y pérdida de biodiversidad vegetal para las unidades de aptitud no agrícola, y d) la *función mejoramiento*, que formula y cuantifica la acción técnica necesaria para revertir el deterioro causado por la actividad (prácticas de conservación de suelos para las unidades de aptitud agrícola y prácticas de control del escurrimiento y menor impacto negativo sobre la biodiversidad en las unidades de aptitud no agrícola).

La importancia de los criterios se determinó mediante *Tasación Simple*, el cual consiste en asignar el peso directamente de acuerdo a una escala arbitraria en función del conocimiento o perspectiva del

problema que posea el centro decisor y el *Método de las Jerarquías Analíticas* (Saaty, 1997), que establece una matriz de comparación entre pares de criterios y el decisor determina la importancia relativa entre los mismos. En tal sentido, y acorde a los objetivos de la EMC formulados anteriormente, para las unidades de aptitud agrícola el peso del criterio *función de producción* se estableció en 0,3, para la *función económica* 0,5 y para las *funciones de degradación y mejoramiento* 0,1. Para las unidades de aptitud no agrícola se asignó el 0,3 como peso de las *funciones productiva y económica* y 0,7 para el criterio *función de degradación y mejoramiento*.

La regla de decisión que se utiliza es el método de aproximación al punto ideal: *TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)*, que es un método compensatorio donde se asume que la preferencia de una alternativa en un criterio puede compensarse por su rendimiento en otro u otros criterios. Este método, según la métrica utilizada, que representa una medida de la proximidad en las preferencias, permite determinar un orden excluyente en las preferencias de las alternativas por unidad territorial o establecer un orden indistinto de las preferencias de las alternativas para una unidad territorial.

Resultados y Discusiones

Producción agraria potencial de los recursos naturales de la cuenca.—A los efectos de evaluar la capacidad productiva de los recursos naturales se calculó la producción potencial para los principales productos agrarios que obtienen en la cuenca. En el Cuadro I se presentan los resultados de dicho cálculo solo para las unidades de aptitud agrícola.

La producción potencial se calculó para condiciones climáticas medias y se indica como potencial máximo los resultados obtenidos en la unidad de mayor capacidad productiva (Spermanzoni) y como potencial mínimo los resultados de la unidad de menor capacidad productiva (La Barranquita). Estos valores teóricos se comparan con rendimientos reales promedios obtenidos por empresas agrarias instaladas en la cuenca y con rendimientos experimentales logrados en condiciones de óptimo uso de las tecnologías de producción y que sirven como medio de verificación de los valores teóricos calculados.

CUADRO I

RENDIMIENTOS EN kg/ha

Producto	Potencial máximo	Potencial mínimo	Experimental	Real
Maíz	11.840	7.600	11.832	2.900
Soja	9.170	5.880	10.124	1.200
Girasol	5.380	3.540	4.150	1.200
Maní	6.517	4.407	8.500	2.000
Carne bovina	793	350	970	121

En primer lugar, los valores experimentales muestran, al menos para estos productos, una aproximación satisfactoria de la metodología de cálculo de la producción potencial teórica. Por otra parte, los valores reales registrados en las empresas agrarias confirman de manera elocuente la subutilización de la capacidad productiva de los recursos naturales del ambiente de llanura.

Esta situación también se observa en el sector de sierra donde la producción potencial promedio registrada es de 23 kg/ha año de ternero en pie para bovinos y 131 kg/ha año para cabritos. La producción real del área serrana registra valores promedios de 20,1 kg/ha año y 5 kg/ha año de terneros y cabritos, respectivamente. Resulta evidente que la producción *real* está muy por debajo de la producción *potencial* (excepto la producción de terneros en las Sierras).

Estos contrastes indican, por un lado, el elevado potencial de producción de los recursos naturales de la cuenca y, por el otro, la subutilización de los mismos por parte de los gestores del sistema productivo a nivel de las empresas agrarias.

Alternativas productivas en las unidades de aptitud agrícola.—Siguiendo las restricciones establecidas previamente, los sistemas de producción preseleccionados para las unidades con aptitud agrícola son los siguientes: 1) bovinos de carne ciclo completo, porcinos y maíz; 2) bovinos de carne invernada, porcinos y maíz; 3) bovinos de carne ciclo completo, porcinos, maíz y girasol; 4) bovinos de carne ciclo completo, porcinos y maíz y soja; 5) bovinos de carne ciclo completo y maíz, y 6) bovinos de carne ciclo completo, bovinos de leche y maíz.

Cada sistema de producción constituye una alternativa posible de ser incorporada en cualquier empresa agropecuaria instalada en las diferentes unidades territoriales del sector de llanura de la cuenca. Los resultados obtenidos en el cálculo de las funciones de la producción agraria (Cuadro II) indican que el máximo y mínimo valor de la producción física y económica anual corresponde a la misma alternativa para todas las unidades y esto se explica por la jerarquía en el potencial ecológico de las mismas. Las mejores unidades son Spernanzoni y El Potosí pues cuentan con los suelos más productivos. Por otra parte, el mayor rendimiento físico corresponde a las alternativas con mayor participación de cultivos agrícolas (alternativas 3 y 4) y esto se debe a la mayor eficacia productiva de la agricultura frente a la producción ganadera. Por último, se observa que el mayor ingreso económico potencial reside en la alternativa 6 que es la actividad que incluye la producción lechera.

En lo referente a la *función de degradación*, se estableció como umbral máximo de pérdida de suelo 15 t/ha año (Hudson, 1981; Schertz, 1983). Para mantener esta pérdida dentro del umbral establecido, es menester adoptar una práctica de conservación de suelo en el marco de la *función de mejoramiento* que controle la erosión. La correcta selección de la práctica dependerá de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica y de la agresividad de la actividad productiva. Los resultados de la *función de degradación* muestran pérdidas por debajo del umbral admitido para todas las unidades como producto de seleccionar la práctica de conservación adecuada mediante la modelización con la USLE. Para valorar la *función de mejoramiento* se estableció una escala cualitativa ordinal según el grado de complejidad de implementación de la técnica y luego fue transformada a valores cuantitativos a través del *Método de las Jerarquías Analíticas*.

Valorados, normalizados y direccionados los criterios de evaluación se procedió a establecer la ponderación o peso de los criterios mediante el método de *Tasación Simple*, en función de los criterios ponderados según los pesos especificados con anterioridad. Por último, se obtuvo la matriz de evaluación final mediante el método *TOPSIS* aplicando varias métricas a los efectos de contar con alternativas equivalentes para una misma unidad territorial (Cuadro III).

CUADRO II

VALORES DE LAS FUNCIONES DE LA PRODUCCIÓN AGRARIA
PARA LAS UNIDADES AGRÍCOLA

Unidad Homogénea	Alternativa productiva	f. producción (Mcal/ha año)	f. económica (\$/ha año)	f. degradación (t/ha año)	f. mejoramiento
Rodeo Viejo	1	5.906,3	561,95	14,3	<i>cult. franjas</i>
	2	7.251,34	804,64	14,3	<i>cult. franjas</i>
	3	10.055,68	726,51	11,4	<i>cult. franjas</i>
	4	10.964,42	773,79	12,2	<i>cult. franjas</i>
	5	8.110,16	440,34	15	<i>cult. nivel</i>
	6	5.673,39	1.173,45	11,4	<i>cult. franjas</i>
La Aguada	1	6.404,21	611,69	8,6	<i>cult. franjas</i>
	2	7.886,51	879,15	8,6	<i>cult. franjas</i>
	3	10.900,29	786,39	13,7	<i>cult. nivel</i>
	4	11.766,31	832,55	14,6	<i>cult. nivel</i>
	5	8.716,14	468,23	15	—
	6	6.128,22	1.268,71	13,7	<i>cult. nivel</i>
Speranzoni	1	8.134,23	778,59	14,2	<i>cult. nivel</i>
	2	10.035,13	1.121,58	14,2	<i>cult. nivel</i>
	3	13.792,29	1.007,99	11,3	<i>cult. nivel</i>
	4	14.959,85	1.070,27	12	<i>cult. nivel</i>
	5	11.396,66	656,95	13	—
	6	8.005,61	1.731,15	11,3	<i>cult. nivel</i>
La Barranquita	1	5.155,52	487,3	14,9	<i>cult. franjas</i>
	2	6.486,94	727,53	14,9	<i>cult. franjas</i>
	3	8.805,72	629,64	11,9	<i>cult. franjas</i>
	4	9.482,04	664,93	12,7	<i>cult. franjas</i>
	5	6.957,79	355,95	8,2	<i>cult. franjas</i>
	6	4.845,22	958,24	11,9	<i>cult. franjas</i>
Cuatro Vientos	1	5.966,33	568	12,7	<i>cult. franjas</i>
	2	7.139,88	779,75	12,7	<i>cult. franjas</i>
	3	10.166,76	731,42	10,2	<i>cult. franjas</i>
	4	10.966,6	773,8	10,8	<i>cult. franjas</i>
	5	8.100,53	428,91	14	<i>cult. nivel</i>
	6	5.678,31	1.159,56	10,2	<i>cult. franjas</i>
El Potosí	1	7.383,83	709,79	11,8	<i>cult. nivel</i>
	2	9.136,98	1.026,12	11,8	<i>cult. nivel</i>
	3	12.545,17	910,39	15	—
	4	13.613,58	967,68	10	<i>cult. nivel</i>
	5	1.0119	561,65	10,8	—
	6	7.152,99	1.523,79	15	—

Cuadro III

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS
EN LA LLANURA

Unidad	Nivel de preferencia de cada alternativa					
	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Rodeo Viejo	5	4	6	3	2	1
La Aguada	6,4,5	4	3,6,2	2,3,6	2,3,5	1
Speranzoni	5	4	6	3	2	1
La Barranquita	4	6,3,5	6,3,2	2	5	1
Cuatro Vientos	6,4,5	4	3	2,3,6	2	1
El Potosí	6	4,3,6	3	2,3,4	2	1

El resultado de esta matriz indica, en primer lugar, que la alternativa 1 (que es la predominante actualmente en la cuenca) es la más ineficaz tanto desde el punto de vista físico como económico y que las alternativas 6 y 5 son las más eficientes pues se posicionan en los primeros lugares de preferencia. Por otra parte, también indica que hay alternativas que son equivalentes en las preferencias. Esta característica en los resultados, que no es una inestabilidad del método sino que ha sido generada a propósito, permite aumentar las posibilidades de opciones a la hora de sugerir a las empresas agrarias que adopten un sistema de producción más eficaz en el uso del potencial ecológico de los recursos naturales.

Alternativas productivas en las unidades de aptitud no agrícola.— Los sistemas de producción preseleccionados para las unidades de aptitud no agrícola en sierras y pie de monte son tres: 1) Ganadería Bovina de Cría (producción de terneros); 2) Ganadería Caprina (producción de cabritos), y 3) Forestación con *Pinus sp.* En cuanto a los criterios que componen la EMC se optó por la *función de producción y económica* (expresado en el ingreso bruto) y la *función de degradación* (escurrimiento potencial y pérdida potencial de especies vegetales nativas) (Cuadro IV).

La función de producción para las alternativas productivas del pie de monte está compuesta por la actividad forestal con *Pinus sp.* y la pro-

CUADRO IV

VALORES DE LAS FUNCIONES ECONÓMICA Y DEGRADACIÓN
(ESCURRIMIENTO) EN SIERRAS

Unidad	Terneros \$/ha año	Cabritos \$/ha año	Madera \$/ha año	Escurrem. anual ¹ (%)	Escurrem. anual ² (%)
Laderas Moderadas	7	58,5	204	50	23
Laderas Suaves	22	174,7	283	36	19
Valles	40,2	318,7	441	23	13

Formación vegetal: ¹ pastizal.² bosque implantado (sin pastoreo).

ducción de leña valorada conjuntamente con la producción de terneros y cabritos (Cuadro V).

CUADRO V

VALORES DE LAS FUNCIONES ECONÓMICA Y DEGRADACIÓN
EN EL PIE DE MONTE

Unidad	Ternero- leña \$/ha año	Cabrito- leña \$/ha año	Madera \$/ha año	Escurrem. anual ¹ (%)	Escurrem. anual ² (%)
Pendiente ≤6%	22,7	98	283	23	13
Pendiente >6%	13	82	283	30	15

Formación vegetal: ¹ monte.² bosque implantado (sin pastoreo).

Para la valoración de la *función de degradación* pérdida potencial de especies vegetales, se asignó el valor 0 (reemplazo total de especies) para la alternativa Forestal, y 1 para la alternativa Ganadería Bovina de Cría. Para la alternativa Ganadería Caprina se estableció una escala cualitativa del impacto de degradación sobre la biodiversidad vegetal y mediante el *Método de las Jerarquías Analíticas* se realizó la valoración cuantitativa, siendo las unidades de Laderas las más susceptibles a la pérdida de especies nativas, seguida por las unidades del Pie de Monte y por úl-

timo las unidades de Valles. El peso relativo de cada criterio se estableció priorizando las funciones de degradación y económica. Normalizados y direccionados los valores de los criterios de nuevo se obtuvo una matriz de decisión de preferencia de actividades con el método *TOPSIS*.

CUADRO VI
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS
EN SIERRAS Y PIE DE MONTE

	Unidad	Alternativa
Sierras	Laderas moderadas	forestal
	Laderas suaves	caprinos
	Valles	caprinos
Pie de Monte	Pendiente $\leq 6\%$	forestal
	Pendiente $> 6\%$	forestal

El resultado de la matriz de evaluación excluye la actividad ganadería bovina de cría para todas las unidades, pues se trata de una actividad de muy baja eficacia productiva, aún más notoria cuando se la ubica en un ambiente de bajo potencial de producción. La actividad forestal es la alternativa que mejor se posiciona en las laderas moderadas y en el pie de monte y se acompaña de la actividad Ganadería Caprina en las unidades de valles y laderas suaves.

Por último para las unidades de Llanura y Pie de Monte de aptitud no agrícola, al ser áreas vinculadas directamente a procesos de degradación, se han definido sistemas de producción compatibles con la estabilización y recuperación de estos ambientes:

- *Barrancos*: forestación con *Salix sp.* o *Populus sp.* en las márgenes de cursos permanentes y con *Ulmus sp.*, *Eucaliptus sp.* o *Acacias* en la red de drenaje de circulación intermitente.
- *Áreas deprimidas*: ganadería bovina (cría o invernada) sobre forrajeras cultivadas de «agropiros» o forestación con *Populus sp.*
- *Médanos*: ganadería bovina de cría sobre forrajeras nativas y producción de leña con especies nativas (*chañar*, *espinillo*, *acacias*).
- *Afloramientos graníticos*: ganadería bovina de cría o caprina sobre forrajeras nativas.

Seleccionadas y evaluadas las alternativas productivas para todas las unidades homogéneas de la cuenca Santa Catalina se ha logrado pasar de 3 a 11 usos posibles (Cuadro VII y Figura 6) bajo el criterio de plena utilización del potencial ecológico de los recursos agrarios y de sostenibilidad de la actividad productiva en el tiempo.

CUADRO VII

TIPOS DE PRODUCCIÓN PARA LOS USOS SELECCIONADOS

Usos	Tipos de producción
FORESTAL 1	<i>Forestación con Acacias, Olmos o Eucaliptos.</i>
FORESTAL 2	<i>Forestación con Pinos.</i>
FORESTAL 3	<i>Forestación con Sauces o Álamos.</i>
GANADERO 1	<i>Caprinos sobre forrajeras nativas.</i>
GANADERO 2	<i>Bovinos (cría o invernada) sobre forrajeras cultivadas (Agropiros).</i>
GANADERO 3	<i>Bovinos (cría) sobre forrajeras nativas.</i>
SILVO-GANADERO	<i>Leñosas nativas y Bovinos (cría) sobre forrajeras nativas.</i>
GANADERO-AGRÍCOLA 1	<i>Bovinos (invernada) y Maíz (Alternativa 5).</i>
GANADERO-AGRÍCOLA 2	<i>Bovinos (cría, invernada y leche), Porcinos, Girasol, Soja y Maíz (Alternativas 4,5,6)</i>
GANADERO-AGRÍCOLA 3	<i>Bovinos (cría, invernada y leche) y Maíz (Alternativa 6)</i>
GANADERO-AGRÍCOLA 4	<i>Bovinos (cría, invernada y leche), Porcinos, Soja y Maíz (Alternativa 4)</i>

Conclusiones

La evaluación de los recursos naturales de la cuenca Santa Catalina ha permitido corroborar que existe una elevada subutilización del potencial ecológico debido a la marcada diferencia entre la producción potencial y la producción real obtenida por las empresas agrarias. A su vez, dado que los valores teóricos calculados son similares a los experimentales, esto nos permite concluir que es posible incrementar los niveles de producción real con una mejor gestión de los recursos tecnológicos de cara a mejorar la rentabilidad de las empresas agrarias.

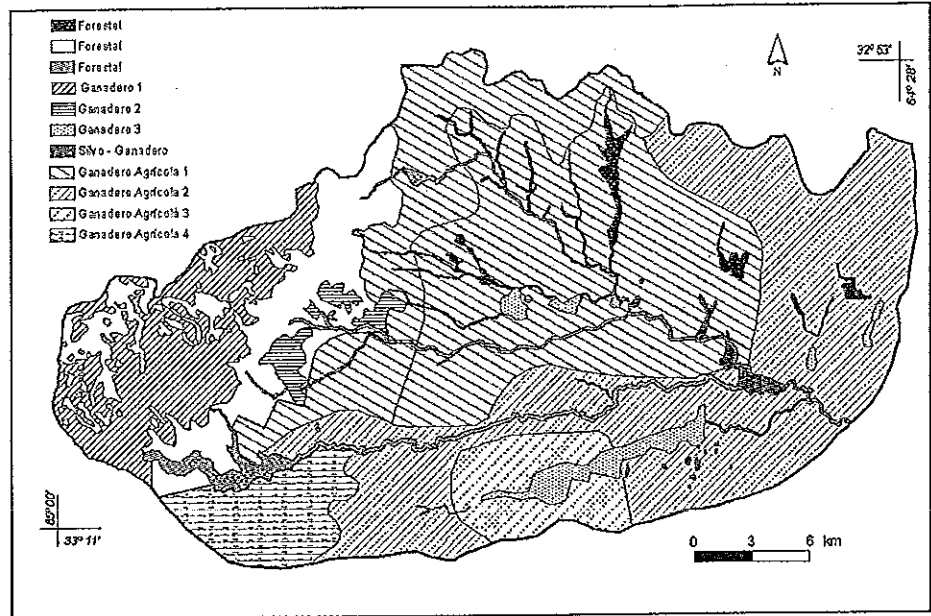


FIG. 6.—Mapa de usos propuestos para la cuenca Santa Catalina.

Por otra parte, se ha logrado diseñar un nuevo modelo de utilización del territorio diversificando los productos agrarios y seleccionando alternativas de producción con criterios de sostenibilidad y eficacia productiva. Ello permite suponer que para mejorar la eficacia de utilización de los recursos naturales de la cuenca, se deberían proponer cambios sobre la actual estructura productiva, ya sea por reemplazo de los sistemas de producción actuales o por modificaciones parciales en la estructura de producción de los mismos o por una mejor gestión técnica de la actividad.

Por último, con la evaluación cuantitativa de la capacidad productiva y de la degradación de los recursos naturales es posible seleccionar alternativas productivas ecológicamente eficientes, sostenibles y tecnológicamente viables para estabilizar el deterioro ambiental e incrementar la producción física en las actuales condiciones socioeconómicas del sector productivo regional.

BIBLIOGRAFÍA

- ADESUR Asociación Institucional para el Desarrollo del Sur de Córdoba: «Plano Director» 1996. Ed. Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina.
- BARBA ROMERO, S. y POMEROL, J.: «Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Práctica». Colección de Economía. 1997 Universidad de Alcalá de Henares. España.
- BARREDO CANO, J.: «Evaluación Multicriterio y SIG». Ed. RA-MA. 1996. Madrid.
- BRICCHI, E., CANTERO, A. y E. BONADEO.: «Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranzas en el sur oeste de Córdoba». *Actas III Jornadas Científico Técnico FAV - UNRC*. 1992. Argentina.
- CAMPBELL, G.: «Introducción a la biofísica ambiental». Traducción de Rabie Uauy, E., Valenzuela Aviles, A. y J.M. Villar Mir. De. EUB. 1995. Barcelona.
- CANTERO, A., CANTÚ, M., BRICCHI, E., HAMPP, E., BECERRA, V., BONADEO, E., MORENO, I. y I BERNARDO.: «Principales Asociaciones de Suelos en la Cuenca del Sistema Arroyo Santa Catalina-del Gato-Laguna del Tigre Muerto. Inédito: Manejo de suelos en una cuenca representativa del área de influencia de la UNRC» 1981. Inédito. Argentina.
- CANTERO, A., BRICCHI, E., BECERRA, V., CISNEROS, J. y H. GIL.: «Zonificación y Descripción de las Tierras del Departamento Río Cuarto (Córdoba)». Universidad Nacional de Río Cuarto. 1986 Inédito. Argentina.
- CANTERO, A. y M. CANTÚ.: «Manejo Integrado de los Recursos Naturales para la Optimización de su Productividad en el Centro Sur de Córdoba (Argentina)». *Revista UNRC* 4:2, 1985, 179-213.
- CANTERO, J; CISNEROS, J; GONZALEZ, J; NUÑEZ, C; PRETYNA, L. y C. CHOLAKY: «Ordenamiento y manejo integrado de los recursos naturales suelos, aguas y vegetación en la Sierra de Comechingones, Córdoba». Informe programa de investigación. 1996 UNRC. Argentina.
- CASTILLO, C., ESPÓSITO, G., BONGIOVANI, M., GESUMARÍA, J. y G. TELLERÍA.: «Respuesta a la fertilización del cultivo de maíz en sistema de siembra directa bajo distintas condiciones ambientales». 1997. Inédito. Convenio UNRC-CREA.
- CHOLAKY, L., CANTERO, A., GIAYETTO, O., BONADEO, E. y E. NEUMAN.: «Fertilización nitrogenada y modelos de siembra en soja de hábito determinado». *Revista UNRC* 6:2, 1986, 133-166.
- DEGIOANNI, A.: «Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina)». Tesis Doctoral. 1998 Universidad de Alcalá de Henares. España.
- DE WITZ, C.: «Transpiration and Crop Yield». 1958 Versl. Landbouk Onderz. Wageningen.
- DE WITZ, C.: «Photosynthesys of leaf canopies». *Agricultural Research Reports*. 1965, 44-49.
- DOORENBOS, J. y H. KASSAM.: «Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos». FAO *Serie Riego y Drenaje* N° 33. 1986. Roma.
- DUMANSKI, J. y R. B. STEWART.: «Crop production potentials for land evaluation in Canada». 1983. Land Resource Research Institute. Ottawa.
- DUMANSKY, J., ESWARAN, H. y M. LATHAM.: «A proposal for an international framework for evaluating sustainable land management in IBSRAM». *Proceeding of an Interna-*

- tional Workshop on Evaluation of Sustainable Land Management in the Developing World*. Vol II, 1991, 25-49
- EASTMAN, J.: «IDRISI for Windows». 1998 Clark University. Worcester, Mass.
- FAO: «A framework for land evaluation». Soils Bulletin N° 29, 1976. Rome.
- FAO: «Report of de Agro-ecological Zones Project: Results for Southwest Asia». World Soil Resources. Volume 2, 1978 Report 48/2.
- FAO: «Report of de Agro-ecological Zones Project: Metodology and Results for South and Central America». World Soil Resources. Volume 3, 1981, Report 48/3.
- FAO: «Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos». 1980 Roma.
- FAO: «Nuevas Orientaciones para el Sector Agrícola, Forestal y Pesquero. Estrategias para la Agricultura y el Desarrollo Rural Sostenibles». 1995. Roma.
- FAO: «Ecocrop1: Crop Environmental Requirements Database». Land Resources Management Conservation Service. 1996. Roma
- FREYRE, V., SALMINIS, J., ISSALY, L. y M. VILLABERDE.: «Caracterización de Establecimientos Agropecuarios de las Colonias: La Aguada, La Piedra, Rodeo Viejo y Costa del Tambo». Departamento Economía Agraria. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. 1994.
- GONZÁLEZ, J., CISNEROS, J. y J. CANTERO: «Evaluación de tierras para fines múltiples en la cuenca arroyo La Tapa. Depto. de Río Cuarto. Argentina». *Actas IV Jornadas Científico Técnicas FAV - UNRC*. 1997, 123-125.
- HUDSON, N.: «Soil Conservation». 1981 London.
- INTA-MAGyRR. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables de la Provincia de Córdoba. «Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3366 - 18 Alpa Corral». Plan Mapa de Suelos 1994.
- MENDÍA, J., IRRISARRI, J. y J. FERRER.: «Evaluación de la capacidad de pastoreo de las tierras en la Pcia. de Neuquén». 1993 Inédito. Universidad Nacional del Comahue. Argentina.
- MINGKUI, C.; SHIJUN, M. y H. CHUNRU: «Potential Productivity and Human Carrying Capacity of an Agro-Ecosystem: An Analysis of Food Production Potential of China». *Agricultural System* 47, 1995, 387-414.
- MORGAN, R. P. C.: «Erosión y Conservación del Suelo». 3.^{ra} edición. 1997. Vers. española de Urbano Terrón, P. y J. M. Urbano López de Menesses.
- NAKAMA, V.: «Mesa redonda sobre evaluación de tierras». Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 1997 Boletín Informativo Nro 72.
- PLEVICH, O., GIL, H. y O. BAROTTO: «Evaluación preliminar de la producción forestal del sector SO de las sierras Comechingones. Córdoba. Argentina». 1997 Informe Técnico. Depto. de Producción Vegetal. UNRC.
- PRADO, D., INFANTE, P., ARRIAGADA, M. y S. AGUIRRE.: «Funciones de biomasa para siete especies arbustivas en la IV Región». 1998. Documento N° 14. Corporación Nacional Forestal - Naciones Unidas - FAO. Chile.
- SAATY, T.: «A scaling method for priorities in hierarchical structures». *Journal of Mathematical Psychology*. 5; 1997, 234-281.
- SCHERTZ, D.: «The basis for soil loss tolerance». *Journal of Soil and Water Conservation*. 38, 1983, 10-14.
- SEILER, R., FABRICIUS, R., ROTONDO, V. y M. VINOCUR.: «Agroclimatología de Río Cuarto. 1974/1993» 1995. UNRC.

- SMYTH, A. y J. DUMANSKY: «Progress toward an International Framework for Evaluating Sustainable land Management (FELSM)». *Proceedings 15th World Congress of Soil Science*. 1994, 373-378.
- TANNER, C. y T. SINCLAIR: «Efficient water use in crop production: Research or Reasearch?» *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production.*, 1983, 1-27.
- VOOGD, H.: "Multicriteria Evaluation of Urban and Regional Planning" 1983. Pion. Londres.
- WISCHMEIER, W. H. y D. D. SMITH: «Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning». 1978. USDA Agriculture Handbook No. 537.

RESUMEN: El desarrollo económico y social del centro - sur de la provincia de Córdoba (Argentina) depende de la producción agraria. Uno de los principales problemas de la actividad deriva de la baja rentabilidad de las empresas, fundamentalmente por subutilización de la capacidad productiva y degradación de los recursos naturales. Esta situación supone un alto coste económico y ambiental para la producción agraria, lo que plantea serios interrogantes al principio de sostenibilidad de la actividad.

Este trabajo evalúa el potencial productivo de los recursos naturales de la cuenca Santa Catalina con el fin de optimizar el uso y gestión de los mismos. La producción potencial supera más del 300% a la producción real y la cuenca presenta una elevada susceptibilidad a la erosión hídrica. Se propone una nueva estructura de uso y gestión sostenible de los recursos naturales de la cuenca, incrementando de tres a once las alternativas de producción.

PALABRAS CLAVE: producción agraria, desarrollo sostenible, degradación ambiental.

ABSTRACT: *Assessment of the Natural Resources of a Basin in the Center-South of Cordoba (Argentina) for a More Sustainable Use and Management of the Agricultural Production.* The economical and social development in the Center-South of Cordoba, (Argentina) depends on the agriculture. However, due to low production and severe soil erosion, the farms are not longer economically feasible. This situation implies that the agriculture in the region might not be sustainable in the long run.

This study assessed the potential production of the natural resources in the Santa Catalina basin, in order to improve their use and management. The estimated potential production is 300 % higher than the actual production. In addition, the basin is severely affected by water erosion. A new and more sustainable production structure was proposed for the basin, which increases from tree to eleven the production alternatives.

KEYWORDS: agricultural production, sustainable development, environmental deterioration.

RESUMÉE: *Évaluation des Ressources Naturelles pour le Ménagement Soutenable de la Production dans un Basin Représentatif du Centre-Sud de Córdoba (Argentine).* Le développement économique et social de la région du centre-sud de Córdoba (Argentine) est directement rattaché à la production agraire, laquelle constitue l'activité économique

plus importante de la zone. Cependant, actuellement, la rentabilité des entreprises agraires est très petite, au même temps que la dégradation de l'environnement est de plus en plus importante. Donc, les principes de développement soutenable sont assez difficiles d'achever avec le système de production agricole actuel.

Ce travail valorise le potentiel productive des ressources naturelles dans le bassin versant de Santa Catalina (représentatif de la situation au centre-sud du Córdoba) pour optimiser le ménagement de la production agricole sous principes d'exploitation soutenable: c'est à dire, production maximum avec minimum dégradation de l'environnement. Les résultats obtenus nous permettent proposer once alternatives de production rentables et soutenables, au lieu des trois options actuelles, pas du tout soutenables.

MOTS CLÉS: production agricole, développement soutenable, dégradation de l'environnement.